



**TRESCA**  
ENGINEERING SOLUTIONS



INSTITUTO  
DE LA INGENIERIA  
DE ESPAÑA

**CÁTEDRA**  
**RAFAEL MARINO**  
**DE NUEVAS TECNOLOGÍAS**  
**ENERGÉTICAS**





CATEDRA  
RAFAEL MARIÑO  
DE NUEVAS TECNOLOGÍAS  
ENERGÉTICAS



# El amoníaco como vector energético para transporte y almacenamiento de hidrógeno

Amoníaco (H<sub>2</sub> - 2.0)

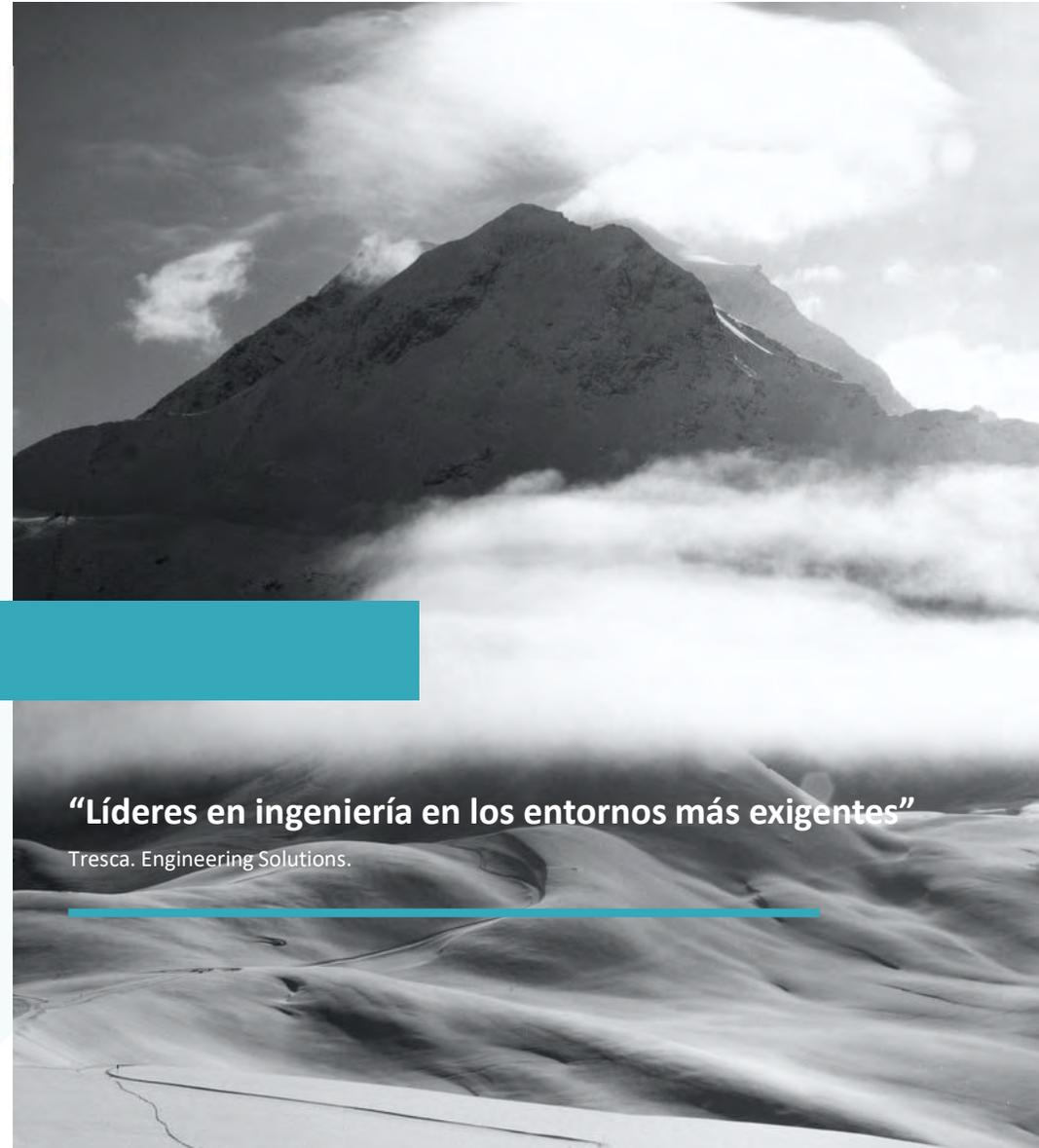
Francisco Carro De Lorenzo

Dr. Ingeniero industrial

Director General

Tresca Ingeniería S.A.

23 de febrero de 2022



“Líderes en ingeniería en los entornos más exigentes”

Tresca. Engineering Solutions.

# El amoniaco

## 1. El contexto

### INDICE El amoniaco

1. **El contexto**
2. Un poco de historia para entenderlo
3. ¿Cómo es?
4. Ayer y hoy
5. Cómo se hace (año 1 después de HB)
6. Cómo se hará (post HB)
7. La economía asociada
8. Fundamentos para nuevos usos
9. Nuevas aplicaciones
10. Transporte marítimo
11. El papel de Tresca
12. Conclusiones y referencias

## La descarbonización – El contexto

La descarbonización es el proceso de **reducción de emisiones** de carbono, sobre todo de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), a la atmósfera. Su objetivo es lograr una economía global con bajas emisiones de CO<sub>2</sub> que consiga la **neutralidad climática** a través de la **transición energética**.

## Un catalizador llamado COVID

La crisis sanitaria provocada por la COVID-19 ha puesto de manifiesto la necesidad de acelerar la **transición ecológica**, como elemento clave en la fase de reconstrucción. Así, se ha desarrollado el marco para elaborar los planes de Recuperación, Transformación y Resiliencia que comporta un importante volumen de inversión pública y privada en los próximos años. Dicho impulso inversor necesario para relanzar la economía española y **acelerar la transformación** del modelo productivo hacia un **crecimiento sostenible e inclusivo** se financiará con los fondos del Plan Next Generation EU, el Fondo de Recuperación europeo.



# La descarbonización El Plan

## HITOS (2020-2030-2050):

- Aumentar el uso de **Energías Renovables**:

16% ⇒ 42% ⇒ 97%

- Aumentar la Producción de **Electricidad Renovable**:

37% ⇒ 74% ⇒ 100%

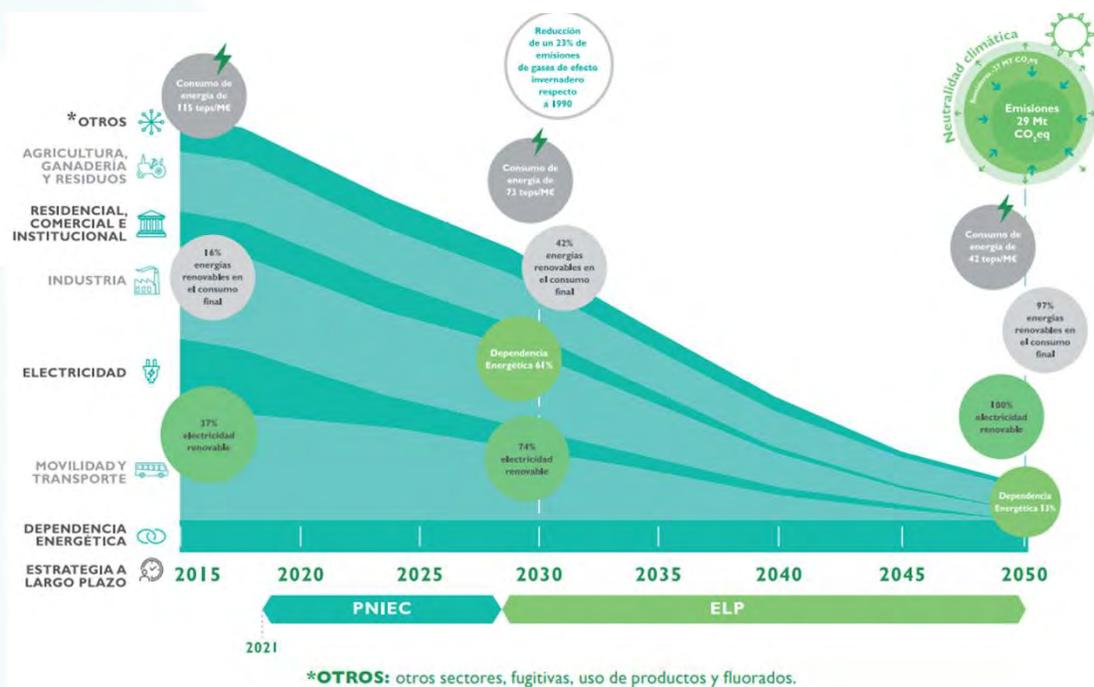
- Reducción de la **dependencia energética**

75% ⇒ 61% ⇒ 13%

- Reducción de **Emisiones de CO<sub>2</sub>** respecto a 1990

6% ⇒ 23% ⇒ 90% (-sumideros) = **100%**

EL HIDRÓGENO SE PERFILO COMO UN ELEMENTO MUY IMPORTANTE EN LAS POLÍTICAS DE DESCARBONIZACIÓN DE LA UE



\*OTROS: otros sectores, fugitivos, uso de productos y fluorados.  
Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020

Reducir Emisiones de CO<sub>2</sub> + Aumentar Absorción de CO<sub>2</sub> = Neutralidad Climática

# La Palanca del Cambio



NUEVA FISCALIDAD

AYUDAS PÚBLICAS

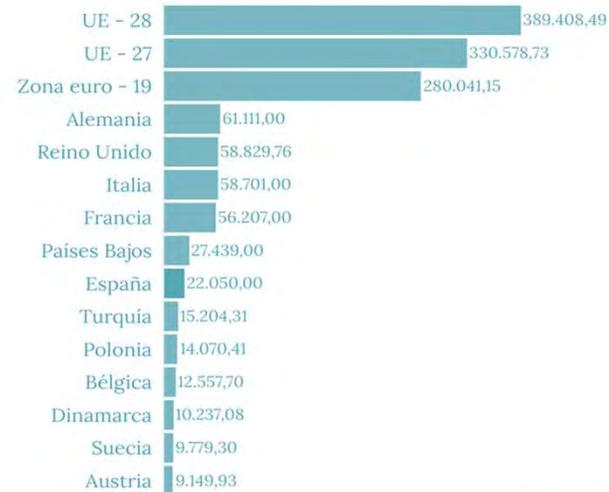
REGULACIÓN

## NUEVAS FIGURAS FISCALES

- Derechos de emisión de CO<sub>2</sub>
- Plásticos
- Vertidos
- Huella de Carbono

## INGRESOS POR FISCALIDAD AMBIENTAL

Comparativa con la UE. En millones de euros



LA INFORMACIÓN  
Fuente: Eurostat.



## ¿Qué resuelve el Hidrógeno verde?

- Combustión exenta de CO<sub>2</sub>
- Alternativa a los combustibles fósiles en procesos termo-intensivos
- Producción combinada de H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>
- Producción propia de combustible a partir de energía eléctrica renovable
- Reducción de emisiones en industrias que usan el H<sub>2</sub> como materia prima



# ¿Por qué considerar al amoniaco en esta historia?

El **Amoniaco** es un producto muy conocido, sin problemas para su producción en masa y manejo en condiciones de seguridad, con redes de comercialización (transporte y almacenamiento) establecidas a nivel mundial y que además tiene **una densidad energética considerable y no emite CO<sub>2</sub> en su combustión**.

Formato	Cantidad de H <sub>2</sub> equivalente
H2 en 1m3 a 30 Bar	2,66 kg
H2 en 1m3 a 100 Bar	8,47 kg
H2 en 1m3 a 250 Bar	19,27 kg
H2 en 1m3 a 500 Bar	33,52 kg
H2 en 1m3 a 750 Bar	44,48 kg
H2 en 1m3 Líquido	70,00 kg
H2 en 1m3 Tolueno	47,00 kg
H2 en 1m3 Dibencil tolueno	57,00 kg
H2 en 1m3 Metanol	100,00 kg
H2 en 1m3 Amoniaco	121,00 kg

	Amoniaco 100%	H2 a 350 bar	H2 líquido	Metanol	Biometano líquido	Diesel Sintético
Temperatura de Ebullición (°C)	-33	N/A	-253	65	-162	200-385
Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)	18,8	120	120	19,92	50	45
Densidad Energética (MJ/l)	12,7	3,8	8,5	15,5	20,3	36
Emisiones directas de CO2 (kg CO2/GJ)	0	0	0	36-46	56	17-109
Octanaje (RON)	130	-	-	119	120	N/A
Temperatura Adiabática de Llama (°C)	1577	2110	2110	1637	1950	2300
Velocidad de llama (m/s)	0,07	3,51	3,51	0,36	0,38	0,86
Complicaciones para su Almacenamiento y Transporte	Menores	Mayores	Mayores	Menores	Ninguna	Ninguna

INDESEABLE	PROBLEMÁTICO	ACEPTABLE	BUENO
------------	--------------	-----------	-------

# El amoniaco

## 2. Un poco de historia para entenderlo

### INDICE El amoniaco

1. El contexto
2. **Un poco de historia para entenderlo**
3. ¿Cómo es?
4. Ayer y hoy
5. Cómo se hace (año 1 después de HB)
6. Cómo se hará (post HB)
7. La economía asociada
8. Fundamentos para nuevos usos
9. Nuevas aplicaciones
10. Transporte marítimo
11. El papel de Tresca
12. Conclusiones y referencias

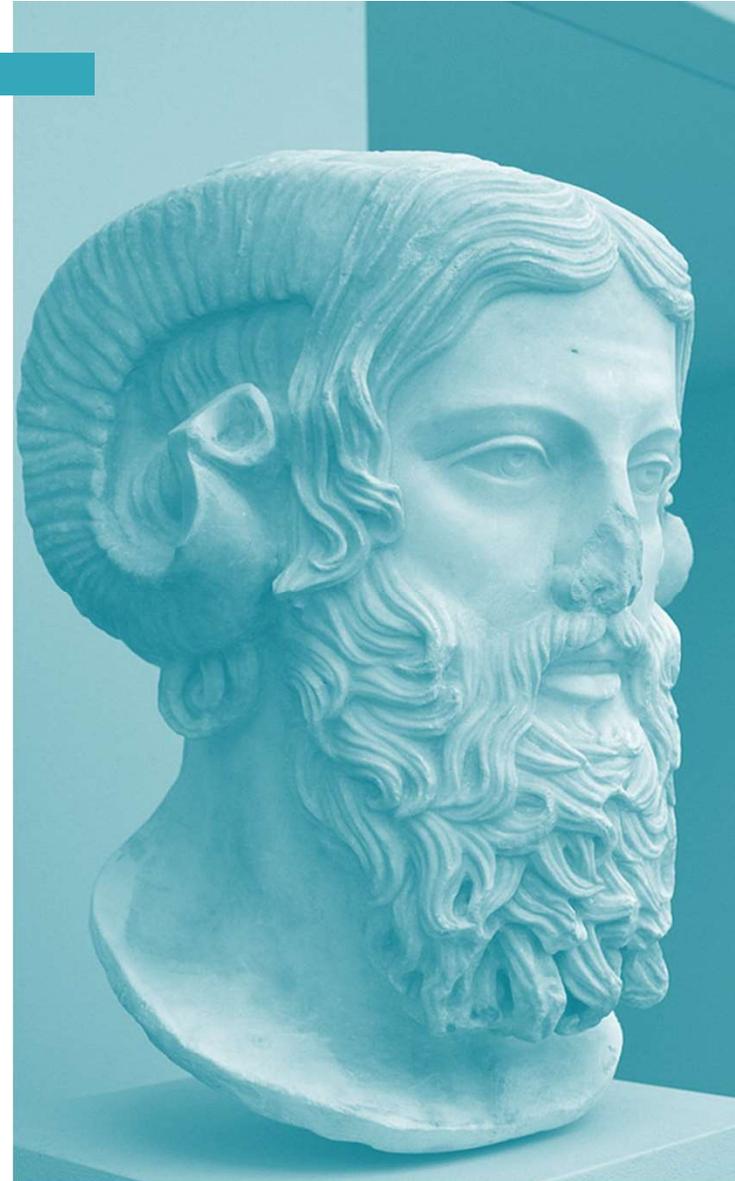
## ¿Papel del Amoniaco en la historia?

**Roma:** Plinio (Hammoniacus sal) ⇒ Sales de  $\text{ClNH}_4$  obtenidas de depósitos cerca del templo de Ammon en Libia

**Edad Media:** Alquimistas y Tintoreros ⇒ Orina fermentada para alterar el color de los tintes vegetales

**Siglo XVIII:** Joseph Priestley (aísla el Amoniaco gaseoso) y Claude Louis Berthollet (determina su composición:  $\text{NH}_3$ )

**Siglo XX:** Fritz Haber y Carl Bosch ⇒ Desarrollan un proceso de síntesis del Amoniaco para ser usado como explosivo (1ª GM)



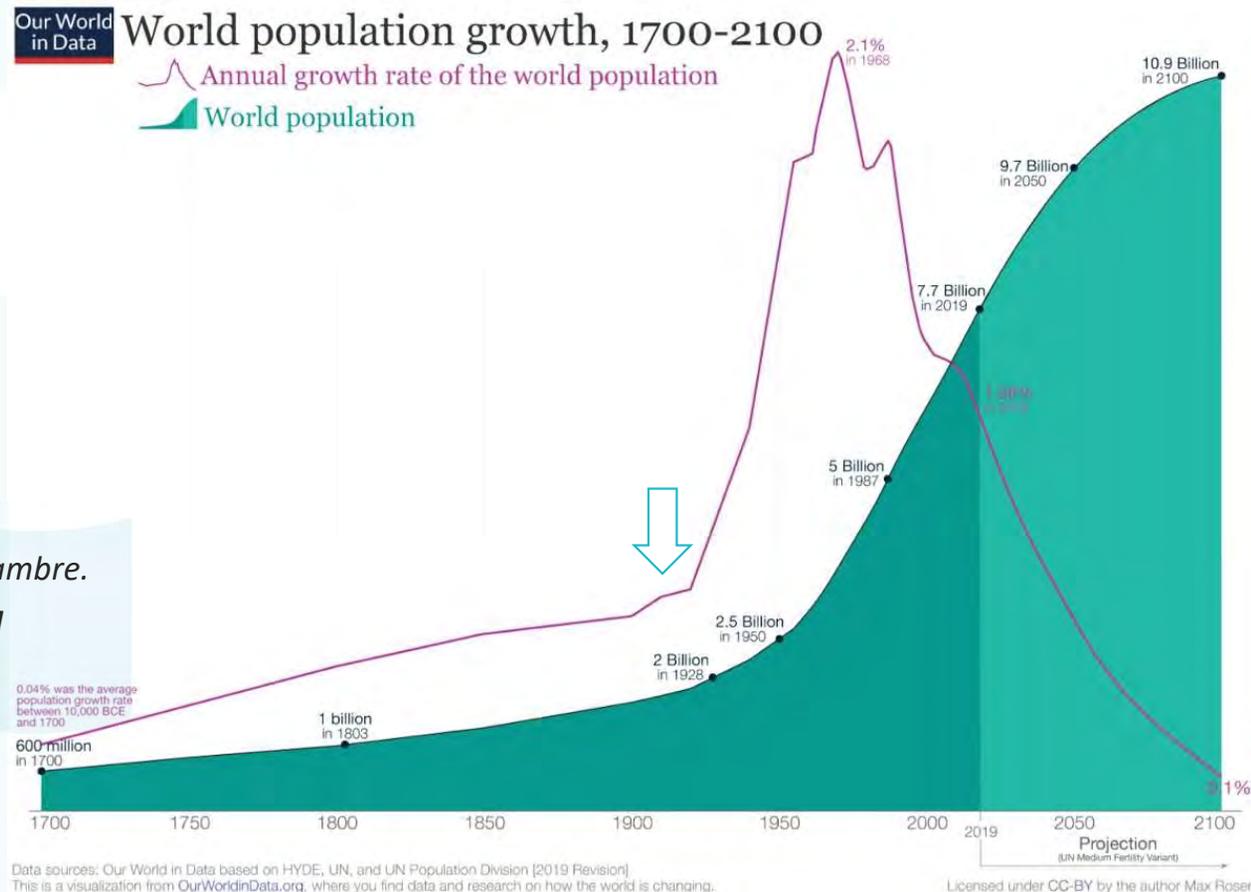
# ¿Papel del Amoniaco en la historia?

A partir de 1930 ⇒ Industrialización del proceso ⇒ El amoníaco se convierte en el principal método de **fabricación de fertilizantes** en el mundo ⇒

↑ **Productividad** de las cosechas ⇒

**Boom demográfico**

*“En el siglo XX el amoníaco resolvió el problema del hambre.  
En el siglo XXI, ¿podría resolver el problema del almacenamiento y transporte de la energía?”*



# El amoniaco

## 3. ¿Cómo es?

### INDICE El amoniaco

1. El contexto
2. Un poco de historia para entenderlo
- 3. ¿Cómo es?**
4. Ayer y hoy
5. Cómo se hace (año 1 después de HB)
6. Cómo se hará (post HB)
7. La economía asociada
8. Fundamentos para nuevos usos
9. Nuevas aplicaciones
10. Transporte marítimo
11. El papel de Tresca
12. Conclusiones y referencias

# Características del amoniaco

## FISICOQUÍMICA

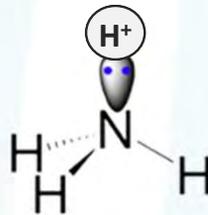
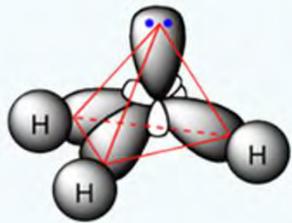
- Gas incoloro
- Soluble en agua
- Menos denso que el aire
- Tiene un olor repulsivo característico

## INTERACCIONES

- Es muy reactiva
- Es una sustancia corrosiva
- Es un compuesto **peligroso** para la salud
- Reacciona **violentamente** con ácidos, oxidantes fuertes y halógenos

## TERMODINÁMICA

- Arde con dificultad
- Es difícilmente inflamable (18-25% en aire)
- A 400-450°C se **descompone** en  $N_2$  e  $H_2$



	Concentración en masa (m/m)	Clasificación
Amoniaco acuoso	5-10%	Irritante
Amoniaco acuoso	10-25%	Corrosivo
Amoniaco acuoso	25-88%	Corrosivo y peligroso para el medio ambiente
Amoniaco anhidro		Corrosivo y peligroso para el medio ambiente



# Propiedades del amoniaco

## Almacenamiento y transporte

En solución no es una sustancia explosiva, pero en fase gaseosa pueden llegar a **explotar** ( $RI = 18-28\%$  fracción molar en aire).

Es un material muy **reactivo** (con ácidos, oxidantes fuertes, halógenos, ...), PERO **NO** SE DIFUNDE A TRAVÉS DE LOS MATERIALES (como le pasa al  $H_2$ ).

### PRECAUCIONES:

- Mantenerlo alejado de fuentes de calor.
- Elegir materiales adecuados para recipientes.
  - Incompatible con: cobre, cinc, níquel.
- Reglamentos especiales de diseño y documentos MTDs:**
  - ITC MIE-APQ 1: Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles.
  - ITC MIE-APQ 4: Almacenamiento de amoníaco anhidro.
  - ITC MIE-APQ 7: Almacenamiento de líquidos tóxicos.

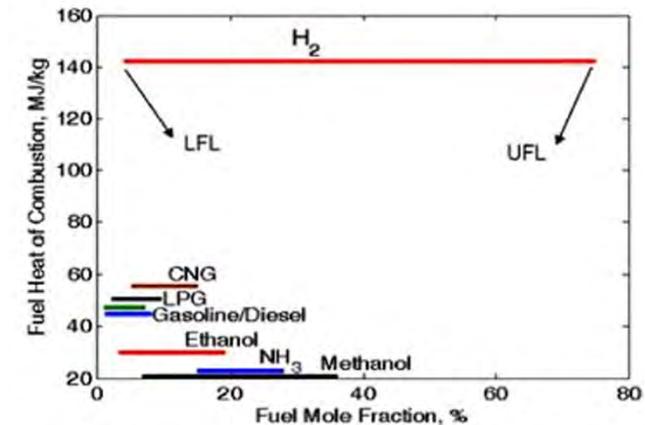
Serie Prevención y Control Integrados de la Contaminación (PPC)  
Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea  
Industria Química inorgánica de gran volumen de producción (Amoníaco, ácidos y fertilizantes)  
Documento BREF



Table 4

Material compatibilities of ammonia as in [55], Chemical Compatibility Database Copyright © Cole-Parmer. A: excellent; B: good- minor effect, slight corrosion or discoloration; C: fair- moderate effect, not recommended for continuous use, with softening or loss of strength, swelling may occur; D: severe- not recommended; N/A: information not available. Courtesy of © Cole-Parmer.

ABS plastic	D	CPVC	A	Polycarbonate	D
Acetal (Delrin ®)	D	EPDM	A	PEEK	A
Aluminium	A	Epoxy	A	Polypropylene	A
Brass	D	Fluorocarbon (FKM)	D	Polyurethane	D
Bronze	D	Hastelloy-C ®	B	PPS (Ryton ®)	A
Buna N (Nitrile)	B	Hypalon ®	D	PTFE	A
Carbon graphite	A	Hytrel ®	D	PVC	A
Carbon Steel	B	Kalrez	A	PVDF (Kynar ®)	A
Carpenter 20	A	Kel-F ®	A	Silicone	C
Cast iron	A	LDPE	B	Stainless Steel 304	A
Ceramic Al2O3	N/A	Natural Rubber	D	Stainless Steel 316	A
Ceramic magnet	N/A	Neoprene	A	Titanium	C
ChemRaz (FFKM)	B	NORYL ®	B	Tygon ®	A
Copper	D	Nylon	A	Viton ®	D



# Propiedades del amoniaco

## Precauciones de manejo

Corrosivo e irritante, exige **precauciones a la hora de su manejo**.

Tóxico para el medio acuático, exige fuertes precauciones para **evitar derrames** al medio acuático o la intoxicación de seres vivos.

Presenta una **alta reactividad**:

- **Reacción exotérmica con:** aldehídos, bario, bromo, ácido bromhídrico, cloruro de hidrógeno anhidro, cloratos, óxidos nítricos.
- **Riesgo de explosión con:** yodo, ácidos, plata, oxígeno, peróxido de hidrógeno, mercurio, calcio, compuestos de mercurio, compuesto de plata, aziduros (azidas), cloro, percloratos, cloritas, comburentes, metal pesado.
- **Evitar exposición a altas temperaturas:** emisiones de gases tóxicos, explosiones.



Substance	Health	Flammability	Reactivity
Ammonia	3	1	0
Hydrogen	0	4	0
Gasoline	1	3	0
LPG	1	4	0
Natural Gas	1	4	0
Methanol	1	3	0

**0=No hazard, 4=Severe hazards**

### EFFECTOS NOCIVOS

- **Inhalación:** A concentraciones elevadas se produce irritación de garganta, inflamación pulmonar, daño vías respiratorias, y ojos. A medida que aumenta la concentración puede llegar a producir edema pulmonar.
- **Contacto con la piel:** el amoniaco gaseoso puede producir irritación de la piel, sobre todo si la piel se encuentra húmeda. Se puede llegar a producir quemaduras y ampollas en la piel.
- **Ingestión:** puede causar destrucción de la mucosa gástrica, provocando severas patologías digestivas; pudiendo causar inclusive la muerte.

Ficha de datos de seguridad  
Ammonia en solución NH3/AH3O 30 % p.p. ACS  
Número de artículo: 0747

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1. Identificación del producto

1.2. Usos permitidos identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

1.3. Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

1.4. Textos de emergencia

# El amoniaco

## 4. Ayer y hoy

### INDICE El amoniaco

1. El contexto
2. Un poco de historia para entenderlo
3. ¿Cómo es?
4. **Ayer y hoy**
5. Cómo se hace (año 1 después de HB)
6. Cómo se hará (post HB)
7. La economía asociada
8. Fundamentos para nuevos usos
9. Nuevas aplicaciones
10. Transporte marítimo
11. El papel de Tresca
12. Conclusiones y referencias

# Usos no energéticos del Amoniaco



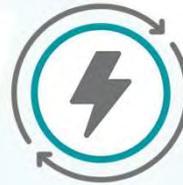
# La situación el Amoniaco en España y en el mundo



Es el 2º producto sintético más producido en el mundo



Más del 70% es usado para fertilizantes nitrogenados



Consumes el 2% de la Energía



Produce el 1,8% de las emisiones de CO<sub>2</sub>

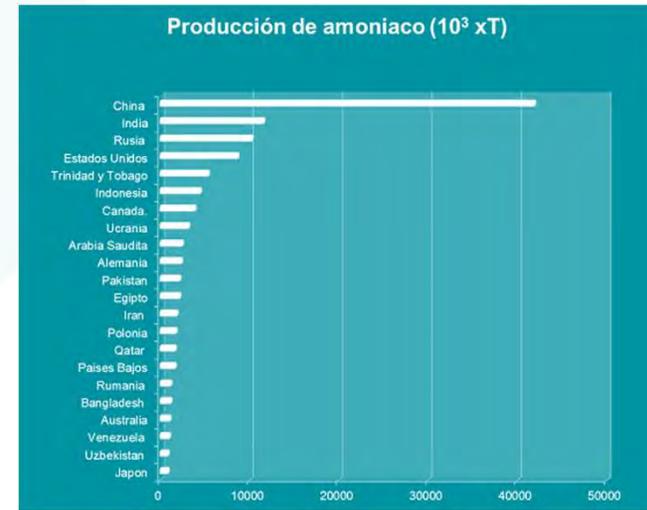
## CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN MUNDIAL

109M Ton en 2003 a 232M Ton en 2022.

Se transporta entre países el **10%** de la producción mundial.

La variación de los principales productores y consumidores **no ha variado** en los últimos años.

El consumo se ha disparado en **Oriente Medio, África y Rusia** y se ha estancado en la **UE, Estados Unidos y Sudamérica**.



# La situación el amoniaco en **España** y en el **mundo**

## Combustibles empleados para hacer Amoniaco en el mundo en 2020

Gas Natural: 170 billones de m<sup>3</sup> = 1.661 TWh

Carbón: 75 millones toneladas = 610 TWh

Petróleo = 24 TWh

Electricidad = 121 TWh

~ 72% → Reformado de vapor con gas natural

~ 26% → Gasificación del carbón

~ 1% → Productos del petróleo

~ 1% → Electrólisis del agua

### Uso de la energía en el mundo en 2020

9% Producción de acero

3% Producción de cemento

2% Producción de amoniaco

En España se producen 1,5 MT/año (0,6 MT/año **Fertiberia**)  
y se consumen 2,5MT/año.

En España existen puertos con capacidad para la carga y  
descarga de NH<sub>3</sub> (Huelva o Sagunto).

24/07/2020

With an investment of 150 million euros, it will contribute to the decarbonisation of the industrial sector and will be operational in 2021

Iberdrola and Fertiberia launch the largest plant producing green hydrogen for industrial use in Europe



HUELVA

## Fertiberia adaptará sus instalaciones de Palos para la producción de amoniaco verde

## Cómo se producía antes – Fijación del N



ESTIÉRCOL



GUANO



NITRATO DE CHILE  
MINERÍA

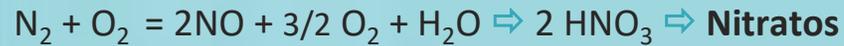


GASES DE HORNOS DE  
COQUE (Subproducto:  
Sulfato Amónico)

### CANTIDADES LIMITADAS

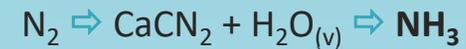
#### PROCESO BIRKELAND-EYDE: ARCO ELÉCTRICO

(E. Hidroeléctrica – Cataratas del Niágara // Noruega ⇌ Planta 25 kW en Perú)



**400 GJ/t NH<sub>3</sub>**

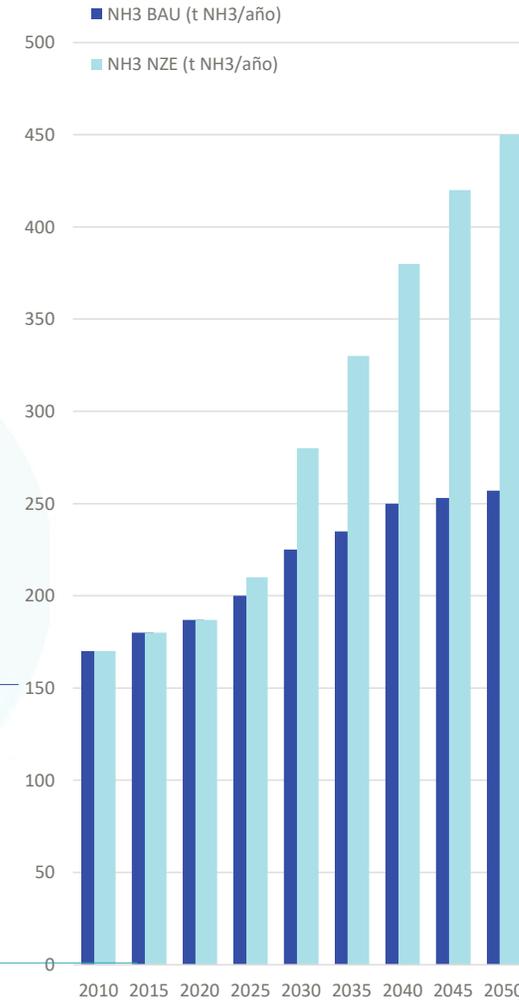
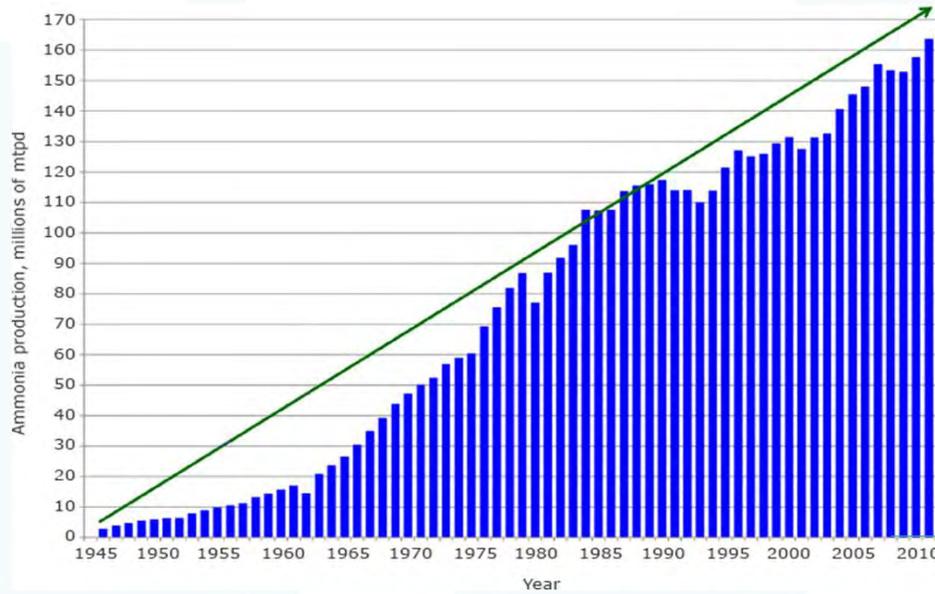
#### PROCESO CIANAMIDA:



Cianamida Cálcida



# Demanda mundial de amoniaco

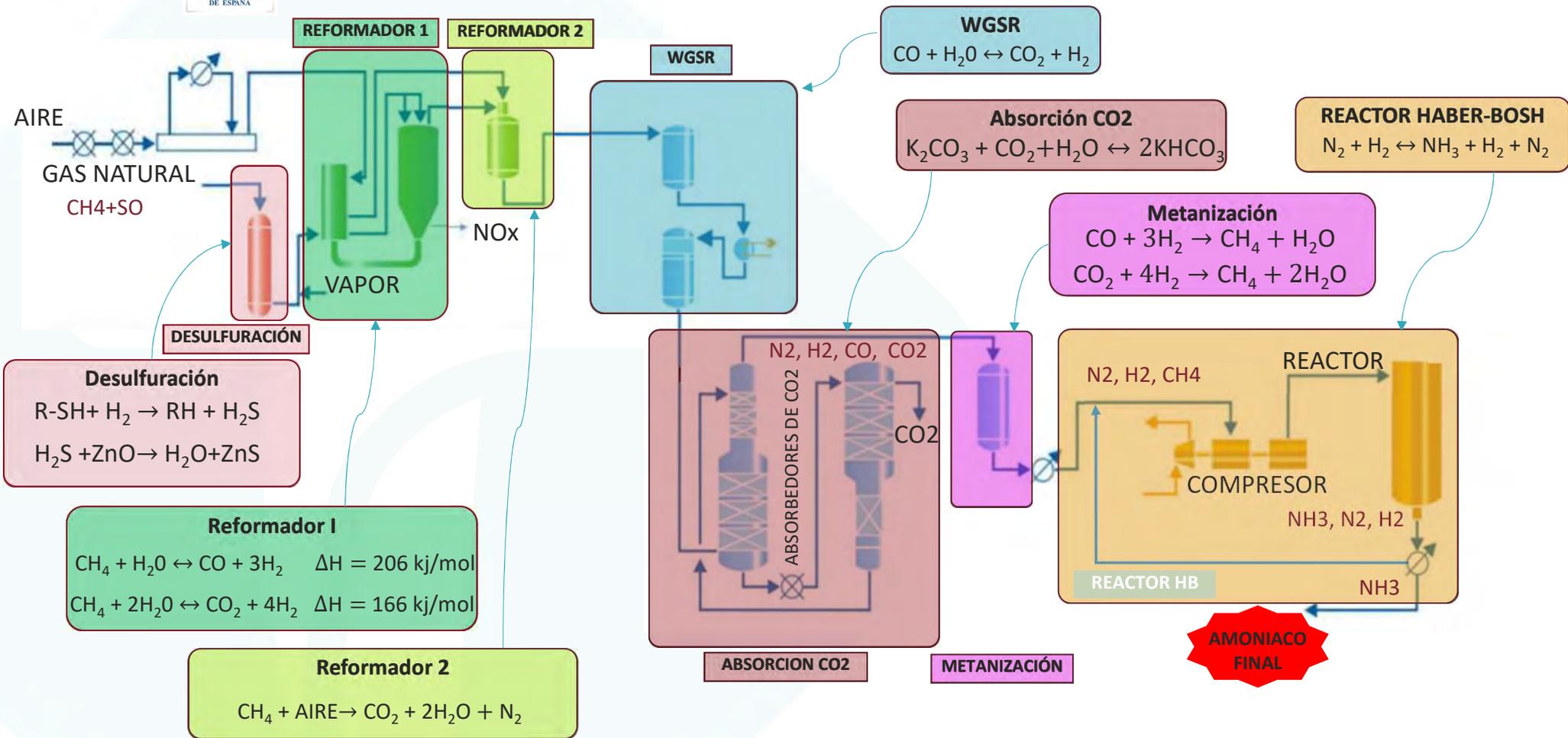


# El amoniaco

## 5. Cómo se hace (año 1 después de HB)

### INDICE El amoniaco

1. El contexto
2. Un poco de historia para entenderlo
3. ¿Cómo es?
4. Ayer y hoy
5. **Cómo se hace (año 1 después de HB)**
6. Cómo se hará (post HB)
7. La economía asociada
8. Fundamentos para nuevos usos
9. Nuevas aplicaciones
10. Transporte marítimo
11. El papel de Tresca
12. Conclusiones y referencias



# Cómo se produce hoy – Preparación de MMPP

Las materias primas utilizadas: **gas natural\*/carbón y vapor de agua** como fuente de H<sub>2</sub> y **aire** como fuente de N<sub>2</sub>

*\*Opcionalmente: nafta, LPG, gas de refinería, fracciones de hidrocarburos pesados.*

## REFORMADO CON VAPOR a partir de Gas Natural

### Reformado 1º: NiO a 800°C



### Reformado 2º: Aire a 1.000°C

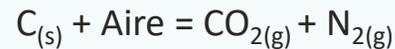


N<sub>2</sub> (12,7%), H<sub>2</sub> (31,5%), CO (6,5%), CO<sub>2</sub> (8,5%),

CH<sub>4</sub> (0,2%), H<sub>2</sub>O(40,5%), Ar (0,1%)

## OXIDACIÓN PARCIAL a partir de Carbón

**A 600°C** Carbón al rojo superficial  
(calentamiento)



**A 800°C** Carbón al blanco  
(enfriamiento)

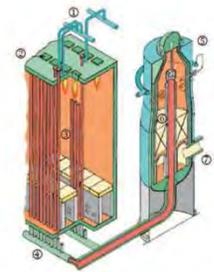
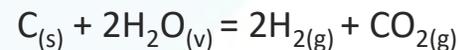
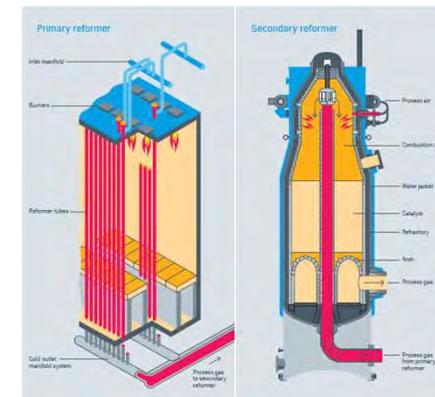


Figura 4: Ejemplo de una sección radiante de un reformador y un reformador secundario. (1) Colector de entrada, (2) Quemadores, (3) Tuberías del reformador, (4) Colector de salida, (5) entrada de aire de proceso, (6) Lecho catalizador, (7) Salida de gas.



# Cómo se produce hoy

## Cómo se puede producir mañana

Table 1.2 Energy needs to produce one tonne of ammonia for each route using BAT

Production route	Energy intensity (GJ/t)						Direct CO <sub>2</sub> intensity (t CO <sub>2</sub> /t)
	Feedstock	Fuel	Electricity	Steam	Gross	Net	
Natural gas SMR	21.0	11.1	0.3	-4.8	32.4	27.6	1.8
Natural gas ATR	25.8	2.1	1.0	0.0	28.9	28.9	1.6
Coal gasification	18.6	15.1	3.7	-1.3	37.4	36.1	3.2
SMR with CCS	21.0	11.1	1.0	-3.1	33.1	30.0	0.1
ATR with CCS	25.8	2.1	1.5	0.0	29.4	29.4	0.1
Coal with CCS	18.6	15.1	4.9	2.6	38.6	41.2	0.2
Electrolysis	0.0	0.0	36.0	-1.6	36.0	34.4	0.0
Biomass gasification	18.6	16.5	1.4	0.0	36.5	36.5	0.0
Methane pyrolysis	40.5	0.0	8.4	-1.6	48.9	47.3	0.0

1,8-3,2 Ton CO<sub>2</sub> /Ton NH<sub>3</sub>

EL MODO DE PRODUCCIÓN  
ACTUAL ES  
**INSOSTENIBLE**

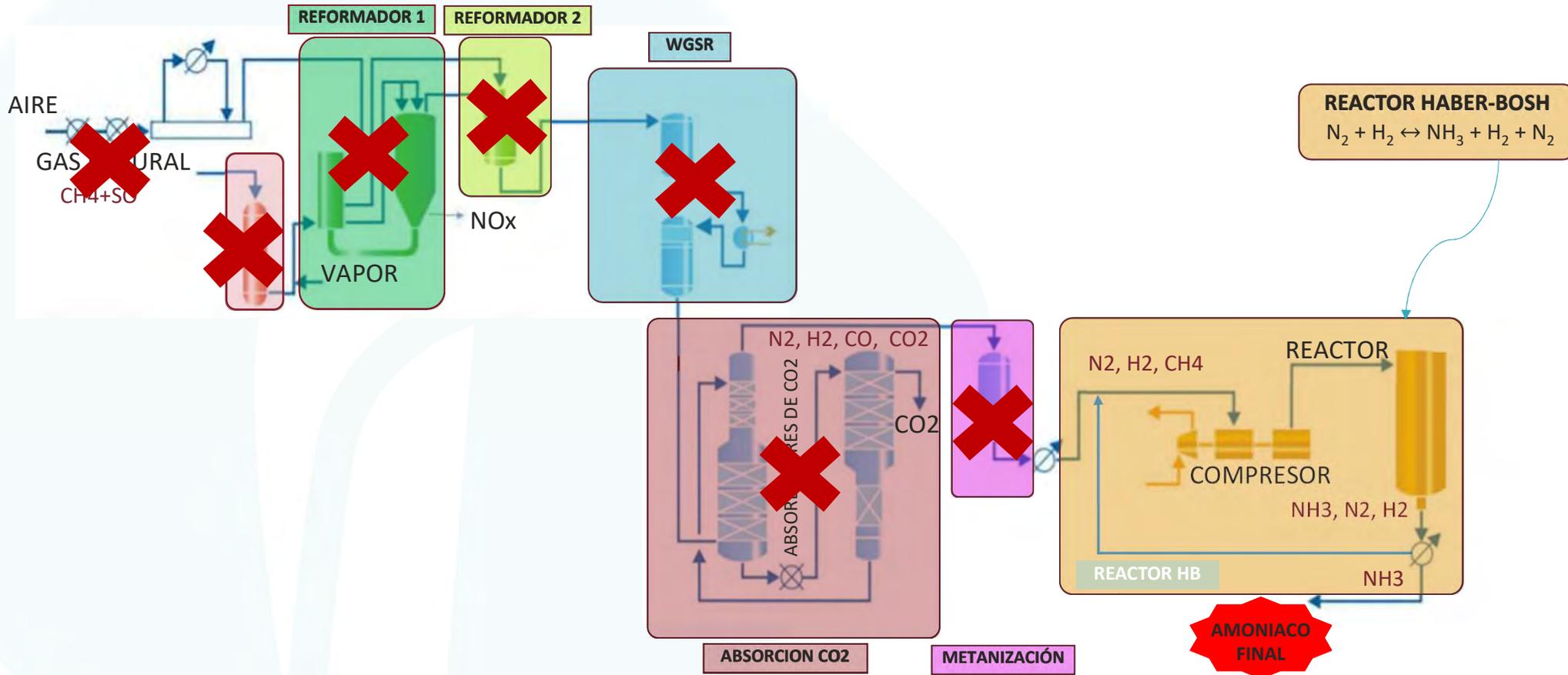
# El amoniaco

## 6. Cómo se hará (post HB)

### INDICE El amoniaco

1. El Contexto
2. Un poco de historia para entenderlo
3. ¿Cómo es?
4. Ayer y hoy
5. Cómo se hace (año 1 después de HB)
6. **Cómo se hará (post HB)**
7. La economía asociada
8. Fundamentos para nuevos usos
9. Nuevas aplicaciones
10. Transporte marítimo
11. El papel de Tresca
12. Conclusiones y referencias

# Cómo se producirá mañana



# Cómo se producirá mañana

## Modificaciones al proceso de HB

### Desarrollo de catalizadores para:

- Sintetizar  $\text{NH}_3$  a baja  $T^{\text{a}}$

### Desarrollo de adsorbentes para:

- Separar  $\text{NH}_3$  y poder trabajar a menor P



Solar Power



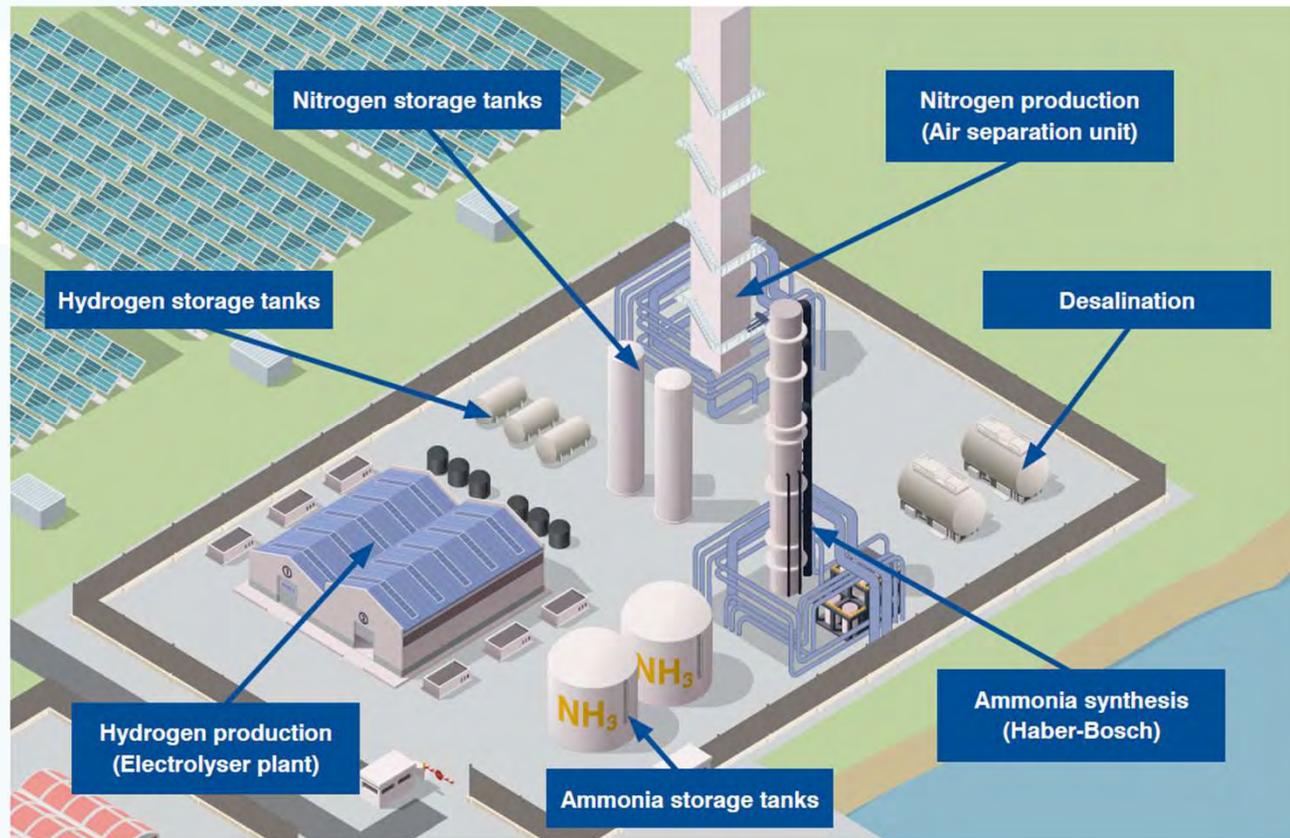
Hydro Power



Wind Power

# Cómo se producirá mañana Síntesis de Haber Bosch

**EMPLEO DE  
ELECTROLIZADORES  
PARA PRODUCIR H<sub>2</sub>**  
 NH<sub>3</sub> x Electrólisis:  
 Consume ~8 MWh/tNH<sub>3</sub>  
 Energía del NH<sub>3</sub> =5,2  
 MWh/tNH<sub>3</sub>  
 →  $\eta = 65\%$



# El amoniaco

## 7. La economía asociada

### INDICE El amoniaco

1. El contexto
2. Un poco de historia para entenderlo
3. ¿Cómo es?
4. Ayer y hoy
5. Cómo se hace (año 1 después de HB)
6. Cómo se hará (post HB)
- 7. La economía asociada**
8. Fundamentos para nuevos usos
9. Nuevas aplicaciones
10. Transporte marítimo
11. El papel de Tresca
12. Conclusiones y referencias

# La economía del amoníaco (CAPEX)

## Planta tipo 2.400 t/día (Mio €)

- Renovable – Electricidad
- Destilación de agua
- H<sub>2</sub> - Electrolizador
- N<sub>2</sub> - ASU
- Haber Bosch – Reactor
- Almacenamiento

SMR

1.470

ATR con CCS

1.629

PAVe\* 2022

1.810

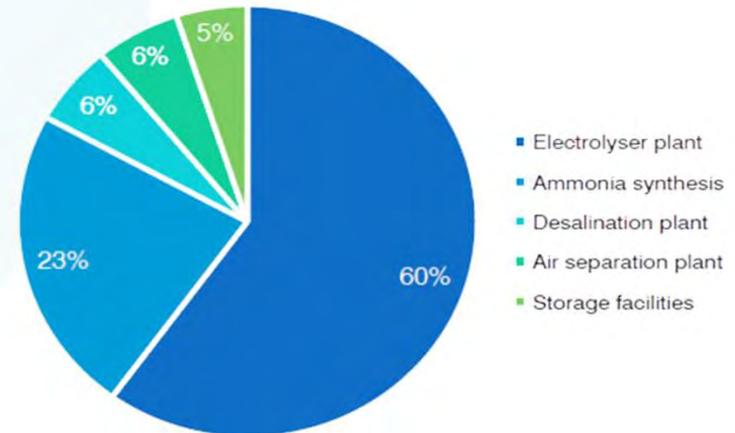
PAVe 2030

1.100

TAMAÑO PLANTA DE ELECTROLIZADORES 800 MW (si el factor de capacidad eléctrico es del 50% para la planta de 2.400 t/día hay que construir 1.200 MW de electrolizadores (x 0,9 Mio €/MW)  
→ 1.200 Mio € → Planta en su conjunto = 1.800 Mio €

Suponiendo en 2030 una rebaja del 66% en el precio de las plantas de generación de H<sub>2</sub>

## Proportion of capital costs for a Green ammonia plant



\*PAVe = Planta de amoníaco verde utilizando electrolizadores

# La economía del amoníaco (OPEX)

Planta tipo 2.400 t/días (Mio €/año)	Situación 2020		Situación 2030	
	SMR	PAVe 2020	SMR	PAVe 2030
• Costes fijos	44	57	44	57
• Consumo de gas natural	99	0	469	0
• Generación de vapor	-7	-2	-7	-2
• Consumo de electricidad	5	525	2	276
• Derechos de emisión	16	0	158	0
<b>TOTAL ESPECÍFICO (€/t NH<sub>3</sub>) (con amortización)</b>	<b>245</b>	<b>745</b>	<b>828</b>	<b>428</b>

Situación de precios del año 2020:

Gas natural: 13 €/MWh  
Electricidad: 60 €/MWh  
Derechos de emisión 10 €/t CO<sub>2</sub>

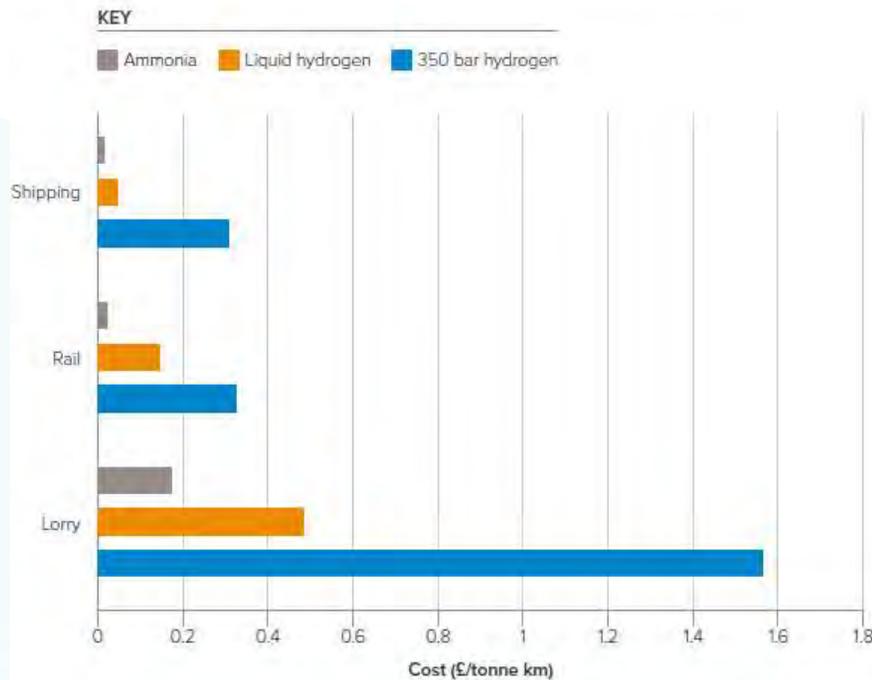
Situación de precios del año 2030:

Gas natural: 60 €/MWh  
Electricidad: 32 €/MWh  
Derechos de emisión 100 €/t CO<sub>2</sub>

# La economía del amoniaco

## Coste de transporte

Estimated costs for transport of hydrogen and ammonia by lorry, rail and ship<sup>34</sup>



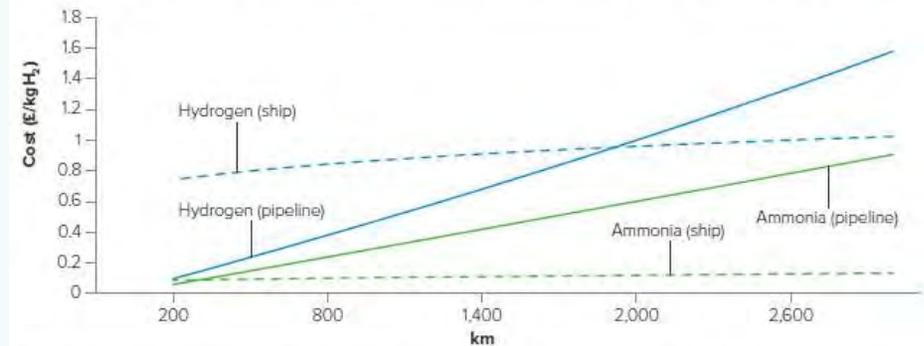
## Coste del almacenaje (€/kg H<sub>2</sub>):

### Como hidrógeno líquido

### Como amoniaco líquido

1 día	0,71	0,03
15 días	1,78	0,05
182 días	13,48	0,49

Cost estimates for transport of energy as hydrogen or ammonia by ship and pipeline<sup>35</sup>



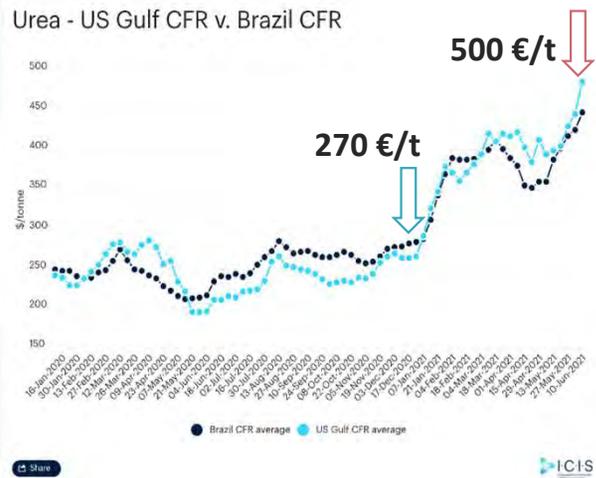
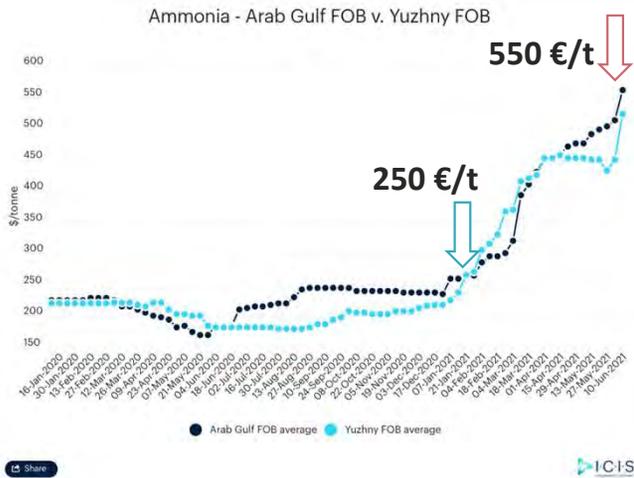
Note: Hydrogen transported via pipeline is gaseous and liquefied for shipping. Costs include both the transport and storage required; not the conversion, distribution or reconversion.

*Salvo casos especiales (consumo local y existencias de minas de Sal), el almacenamiento y transporte de energía como NH<sub>3</sub> es más barato que como H<sub>2</sub>.*

# El LCOA y su evolución

SITUACIÓN	Precio GN (€/MWh)	Precio E Eléctrica (€/MWh)	Precio Derechos Emisión (€/ton CO2)	COSTE €/ton NH3			COSTE €/MWh en el NH3			Precio Diesel (€/MWh)	Precio Diesel (€/l)
				SMR	SMR con CCS	Electrolisis	SMR	SMR con CCS	Electrolisis		
2020	13	60	10	245	380	745	47	73	143		
2022	79	152	78	967	1.023	1.661	185	196	318	111,4	1,114
2030 Red	60	88	100	833	832	997	160	159	191	177,6	1,78
2030 Isla	60	32	100	828	808	428	159	155	82	177,6	1,78

# El amoniaco y la alimentación



## Dutch TTF Gas Futures



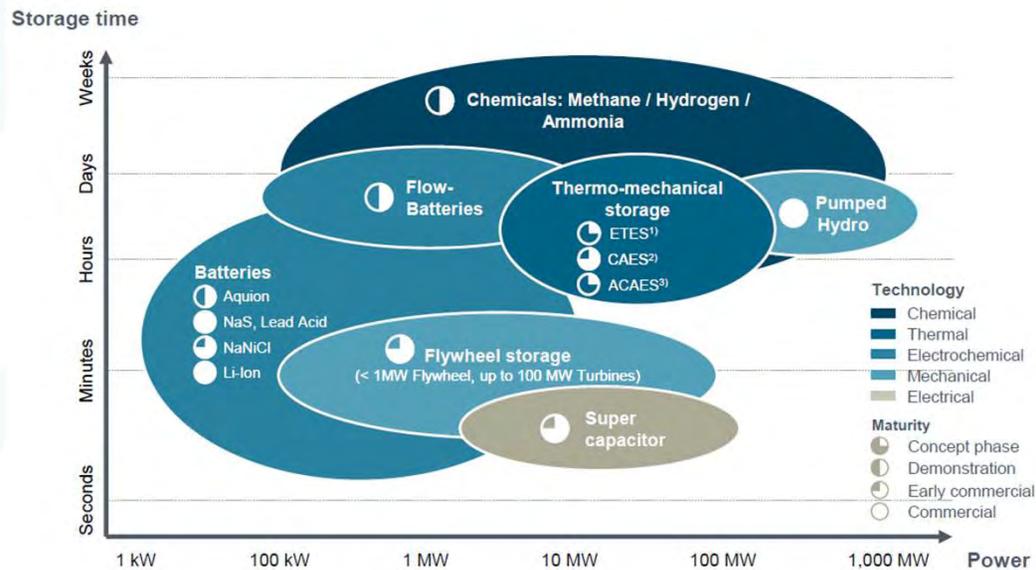
# El amoniaco

## 8. Fundamentos para nuevos usos

### INDICE El amoniaco

1. El contexto
2. Un poco de historia para entenderlo
3. ¿Cómo es?
4. Ayer y hoy
5. Cómo se hace (año 1 después de HB)
6. Cómo se hará (post HB)
7. La economía asociada
- 8. Fundamentos para nuevos usos**
9. Nuevas aplicaciones
10. Transporte marítimo
11. El papel de Tresca
12. Conclusiones y referencias

# Fundamentos del amoniaco como **carrier energético**



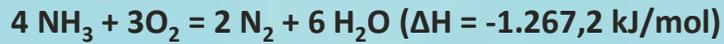
- Densidad energética (50% más de H<sub>2</sub> en el NH<sub>3</sub> que en el propio H<sub>2</sub> líquido)
- Estabilidad a largo plazo
- Manipulación controlada y conocida
- Ausencia de emisiones de CO<sub>2</sub>
- Facilidad transporte y almacenamiento (LOGÍSTICA EXISTENTE)

⇒ **ES EL MEJOR CARRIER ENERGÉTICO POSIBLE**

# Fundamentos de la combustión

El **amoníaco** ya fue utilizado durante la **Segunda Guerra Mundial** como combustible para camiones en Bélgica o en los motores de reacción XLR99.

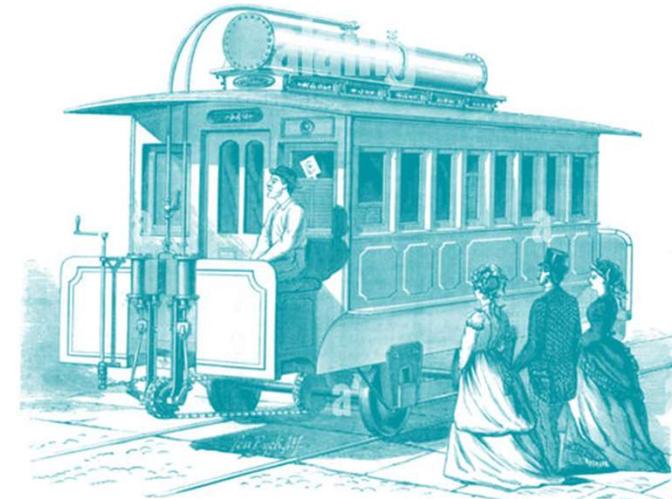
$\text{NH}_3 + \text{O}_2$  forma una llama color verde amarillento pálido.



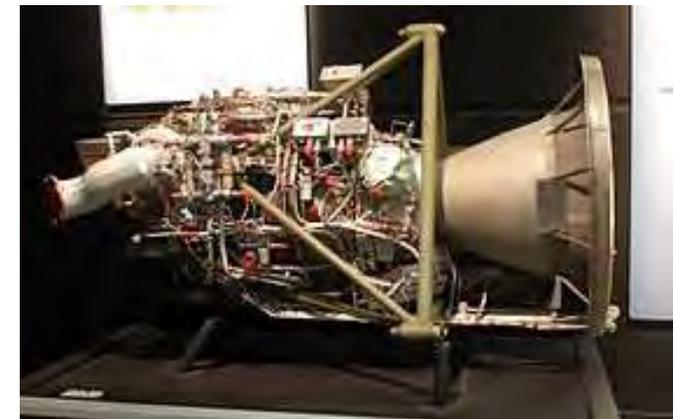
Problemas de estabilidad de la llama  $\Rightarrow$  La llama se apaga

La velocidad de propagación de la llama es baja.

Debido a su **mayor densidad energética** es una alternativa que considerar como combustible para largas distancias de **aeronaves** o **barcos de gran tonelaje**.



AMMONIA ENGINE FOR STREET CARS.



# Fundamentos de la combustión

## Medio ambiente

Ambientalmente el Amoniaco presenta muchas ventajas:

- Gas libre de C / S → Sin emisiones de SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> o partículas.
- El Amoniaco verde se produce íntegramente a partir de electricidad, agua y aire renovables (MMPP ilimitadas).
- Se metaboliza en el medio ambiente y no se bioacumula, salvo aplicaciones en exceso sobre cultivos (eutrofización, producción de NO<sub>2</sub> (GEI))

Contaminante	HFO MGO	LNG	Amoniaco
SO <sub>2</sub> y Metales	Se produce	No se produce	No se produce
CO / Hidrocarburos	Se produce	Se produce	No se produce
VOCs y PAHs	Se produce	Reducido	No se produce
NO <sub>x</sub>	Controlado con SCR	Controlado sin SCR	Controlado con SCR
Partículas	Se produce	Reducido	Reducido
NH <sub>3</sub>	Controlado con catalizador	No se produce	Controlado con catalizador

PROBLEMA AMBIENTAL: **PRODUCCIÓN DE NO<sub>x</sub>**

# Fundamentos de la **desnitrificación**

**SOLUCIÓN:** utilizar amoníaco (o urea) para reducir las emisiones de  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$

Reducción Catalítica Selectiva (SCR)  $\Rightarrow$  Usan catalizadores metálicos o de zeolita a 200-400°C:  $\eta = 85\text{-}90\%$ .

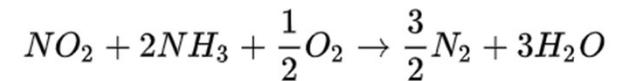
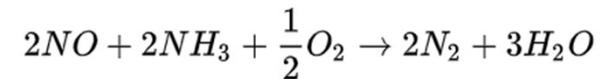
Reducción Catalítica No Selectiva (SNCR)  $\Rightarrow$  Inyección directa a 800-900°C:  $\eta = 60\%$ .

## DIFERENCIAS:

CAPEX SCR > CAPEX SNCR

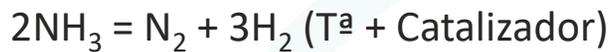
OPEX SNCR ~ OPEX SCR (Consumo de  $\text{NH}_3$  vs Pérdidas de carga y posibilidad de atascos)

Riesgo de emisiones de  $\text{NH}_3$  si se opera fuera de la ventana de Tª



# Fundamentos para conversión a H<sub>2</sub>

## Cracking termo-catalítico



(E<sub>mínima necesaria</sub> = 7% de la energía contenida en el NH<sub>3</sub>)

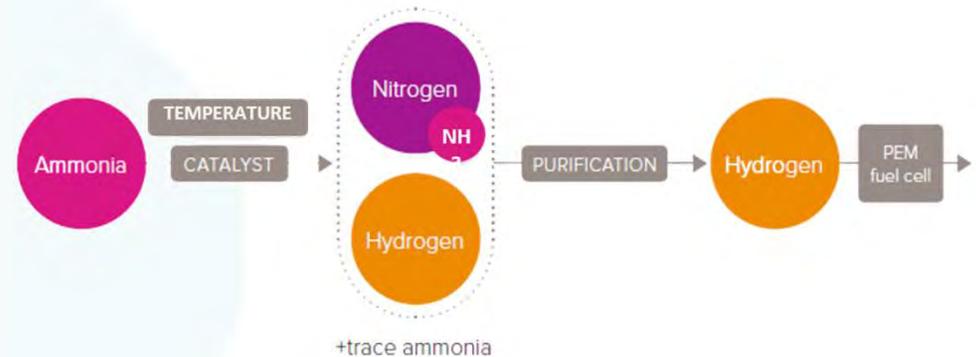
A + 700°C → Catalizador: Hierro.

A T<sup>as</sup> menores → Catalizador: Rutenio

A nivel de R&D (TRL 2-4)

- 450 - 500°C → Catalizador: Amida (-NH<sub>2</sub>) e Imida (-NH)

Cracking ammonia to hydrogen to be used in a Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cell.



Uso del H<sub>2</sub> en pilas de combustibles PEM ⇒ Necesidad de eliminar las trazas de NH<sub>3</sub> (<1 ppm)

⇒ Desarrollo de membranas y sistemas basados en la absorción de NH<sub>3</sub>.

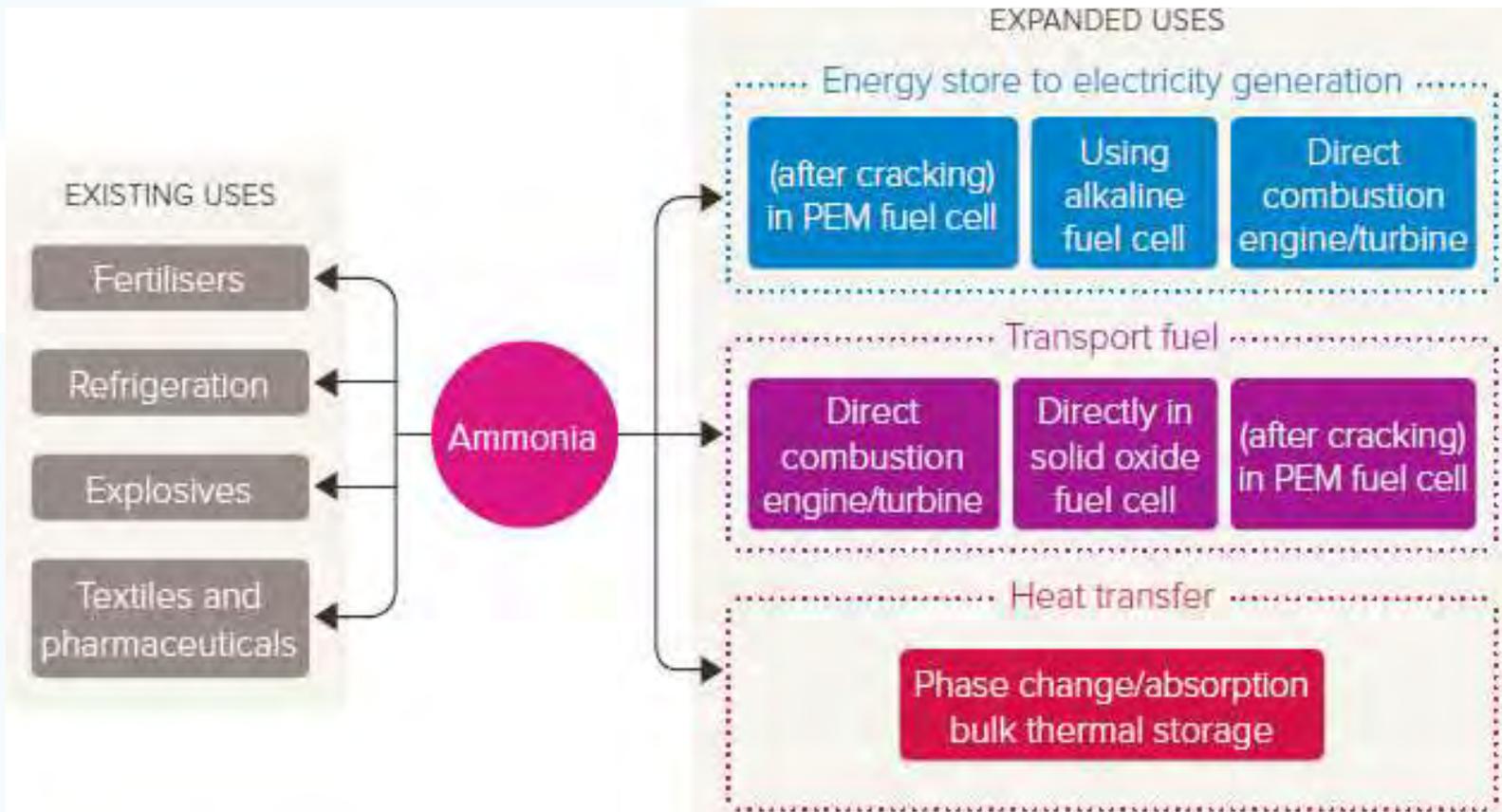
# El amoniaco

## 9. Nuevas aplicaciones

### INDICE El amoniaco

1. El contexto
2. Un poco de historia para entenderlo
3. ¿Cómo es?
4. Ayer y hoy
5. Cómo se hace (año 1 después de HB)
6. Cómo se hará (post HB)
7. La economía asociada
8. Fundamentos para nuevos usos
- 9. Nuevas aplicaciones**
10. Transporte marítimo
11. El papel de Tresca
12. Conclusiones y referencias

# Nuevos usos



# El amoniaco en los motores alternativos

Octanaje  $\text{NH}_3$ : ~130  $\Rightarrow$   $\uparrow$  Presión trabajo  $\Rightarrow$   $\uparrow$  Eficiencia y suavidad

Corrosión e incompatibilidades: evitar materiales (Bronce, Cobre)

Problemas de combustión: necesidad  $\uparrow T^a$ ,  $\uparrow V_{\text{compresión}}$   $\Rightarrow$   $\uparrow \uparrow \text{NO}_x$  //

Problemas de rendimiento y control.

## ¿Cómo mejorar los rendimientos?:

- $\uparrow E_{\text{activación bujías}}$  /  $\uparrow$  Ratio de compresión: **No**
- Combustible dual ( $\text{NH}_3$  + Fósiles o  $\text{H}_2$  craqueado del  $\text{NH}_3$ ) O
- Llama piloto:
  - solución probada, fiable, flexibilidad de cambio de combustible.
  - posibilidad de actualizar los motores existentes a esta tecnología.

Se espera desarrollo de esta tecnología en el sector marítimo.

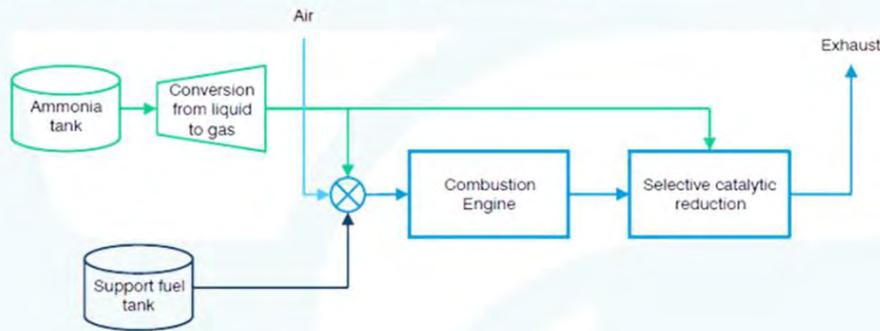
Se están probando en motores para transportes por carretera.

El motor de amoniaco de Trafigura para buques estará listo en 2024

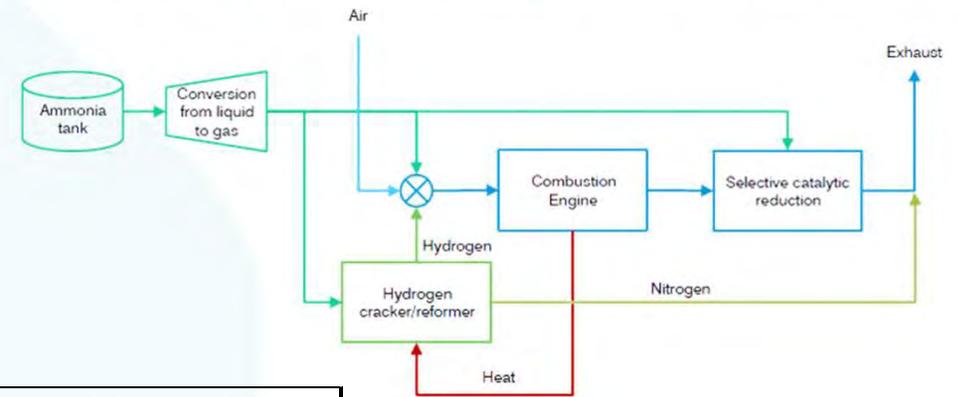


# El amoniaco en los motores alternativos

Process diagram of an ammonia combustion engine



Process diagram of an ammonia combustion engine with hydrogen cracking system



$\eta = 30 - 40\%$  // Mejora el rendimiento si se suministra parcialmente descompuesto en forma de H<sub>2</sub>

Tecnología robusta establecida para mezclas de Amoniacio con otros combustibles

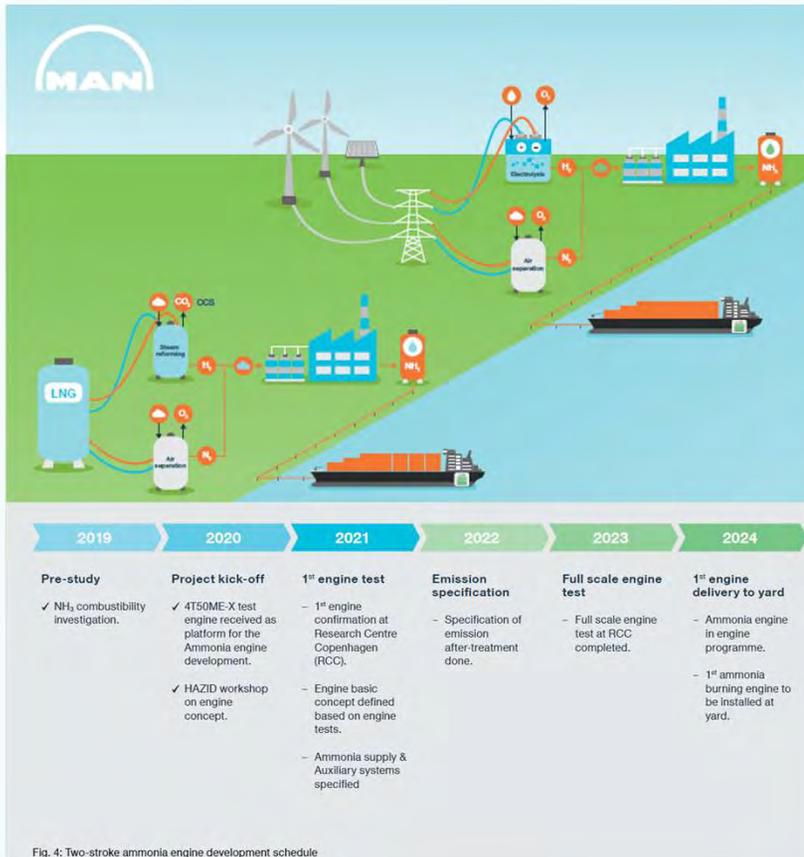
Válido para grandes potencias

**Problema de emisiones de Nox**

**Baja eficiencia**

I+D: Mejorar la combustión completa de la mezcla y en desarrollo construcción de motores que solo usen amoniaco

# El amoniaco en los motores alternativos



## Wärtsilä desarrolla motor de combustión de hidrógeno y amoniaco verde



World's first full scale ammonia engine test - an important step towards carbon free shipping

Wärtsilä Oceanpower. Tests green ammonia. 03 June 2020 at Wärtsilä LTD UK



The technology group Wärtsilä, in close customer cooperation with Knutsen OAS Shipping AS and Repsol, as well as with the Sustainable Energy Catapult Centre, will commence the world's first long term, full-scale, testing of ammonia as a fuel in a marine four-stroke combustion engine. The testing is made possible by a 20 MNOK grant from the Norwegian Research Council through the DEMO 2000 programme.

## El amoníaco en procesos Captura de CO<sub>2</sub>

En el camino hacia la **descarbonización**, será preciso mantener mucha industria emisora de CO<sub>2</sub> mientras se invierte en nuevas instalaciones **NZE**.

Los procesos **CAUC** para atrapar CO<sub>2</sub> deben desarrollarse y mejorarse para ser implementados en las industrias actualmente en funcionamiento.

Estos procesos utilizan metanolamina (**MEA**) como elemento de captura, pero se está planteando el uso de **mezclas NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O** como fluido que mejora la eficiencia, el costo y la capacidad de regeneración del fluido.

	MEA	NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O
Eficiencia de captura (%CO <sub>2</sub> )	90	95-98
Eficiencia de captura (kg CO <sub>2</sub> /kg fluido)	0,36	0,9
Coste (€/t fluido)	75,79	59,04
Bajar la Tª de la corriente para capturar CO <sub>2</sub> sin evaporar el NH <sub>3</sub> Mejorar el control de proceso de captura	RETOS	



# El amoníaco en las pilas de combustible

En lugar de crackear  $\text{NH}_3$  a  $\text{H}_2$ , una opción puede ser utilizar directamente el  $\text{NH}_3$  en Pilas de Combustible de  $\text{NH}_3$ .

Estos procesos requieren altas  $T^a$  y aunque sus resultados en cuanto a rendimiento para ser usados comercialmente son prometedores, están aún en TRL bajos (1-3).

## Pcomb Óxido Sólido $\text{NH}_3$ ( $\eta = 48\%$ at 760 C) vs $\text{H}_2$ ( $\eta = 45\%$ at 760 C)

El rendimiento de las pilas de combustible de  $\text{NH}_3$  junto a la densidad energética del  $\text{NH}_3$  supone un posible camino para su aplicación en vehículos ligeros o incluso para la aviación ( $\eta$  similar a los LPG).

## Tecnologías de Pcomb\* que pueden usar amoníaco:

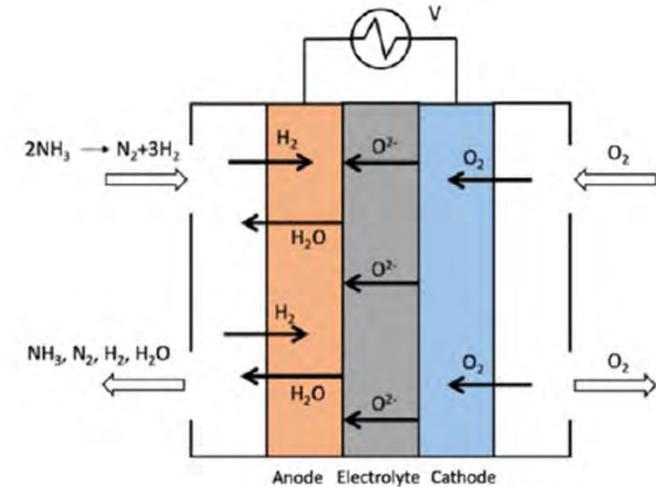
Pcomb Alcalinos

**Pcomb Óxido Sólido**

Pcomb Ácido Fosfórico

Pcomb Carbonato fundido

Pcomb PEM (en forma de  $\text{H}_2$  puro)



Diseño Conceptual: Pcomb Óxido Sólido

## El amoniaco en las turbinas de gas

La aplicación del amoniaco en turbinas cuenta con los siguientes retos:

- Baja velocidad de transmisión de llama
- Baja inflamabilidad
- Reacción lenta ⇒ Bajo caudal de aire ⇒ Baja turbulencia ⇒ Mala relación de mezcla con aire.

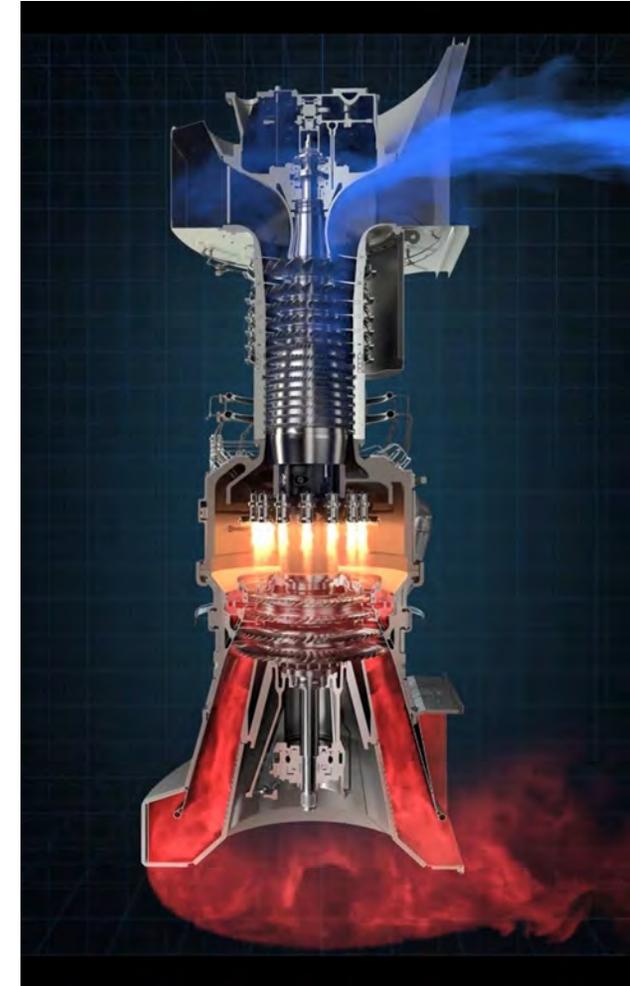
Usando  $\text{NH}_3$  parcialmente descompuesto y mejorando los diseños de quemadores todas estas limitaciones mejoran considerablemente permitiendo su uso en turbinas de gas.

Uso de nuevos quemadores de turbulencia y boquillas para mejorar las mezclas.

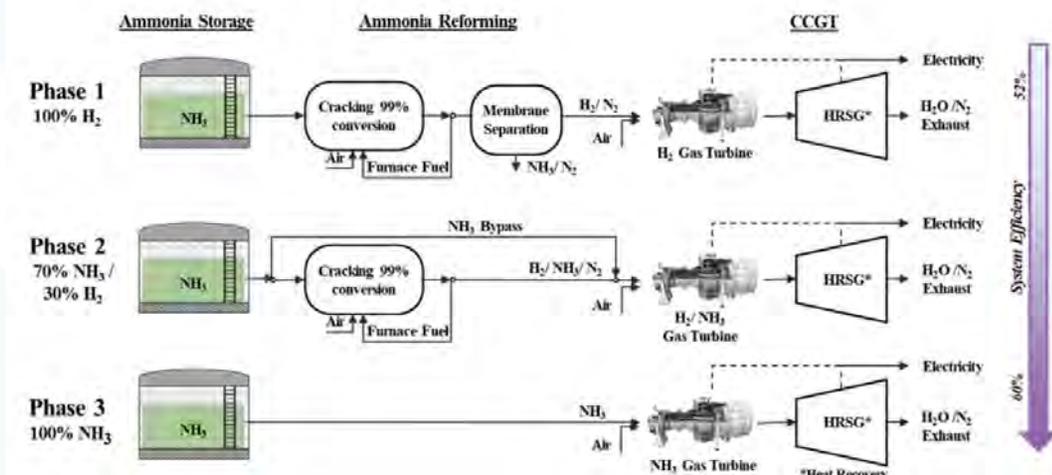
Existen experiencias en las que se usan compuestos porosos (CSi) en los quemadores para aumentar la velocidad de llama, aumentando la  $T^a$  de llama y mejorando la cinética y el rendimiento de la combustión.



Experiencia en la Universidad de Cardiff: 62%  $\text{NH}_3$ , 38%  $\text{CH}_4$  Relación aire / fuel 1,31.



# El amoniaco en las turbinas de gas



$\eta = 55-60\%$  // Mejora el rendimiento si se suministra parcialmente descompuesto

Desarrollado el ciclo Rankine completo

Válido para grandes potencias

Combustión incompleta del amoniaco → Fugas de NH<sub>3</sub>

Problema de emisiones de NO<sub>x</sub>

I+D: Mejorar el combustor, el sistema de eliminación de NO<sub>x</sub> y aplicación en una fábrica de ciclo combinado para 2030



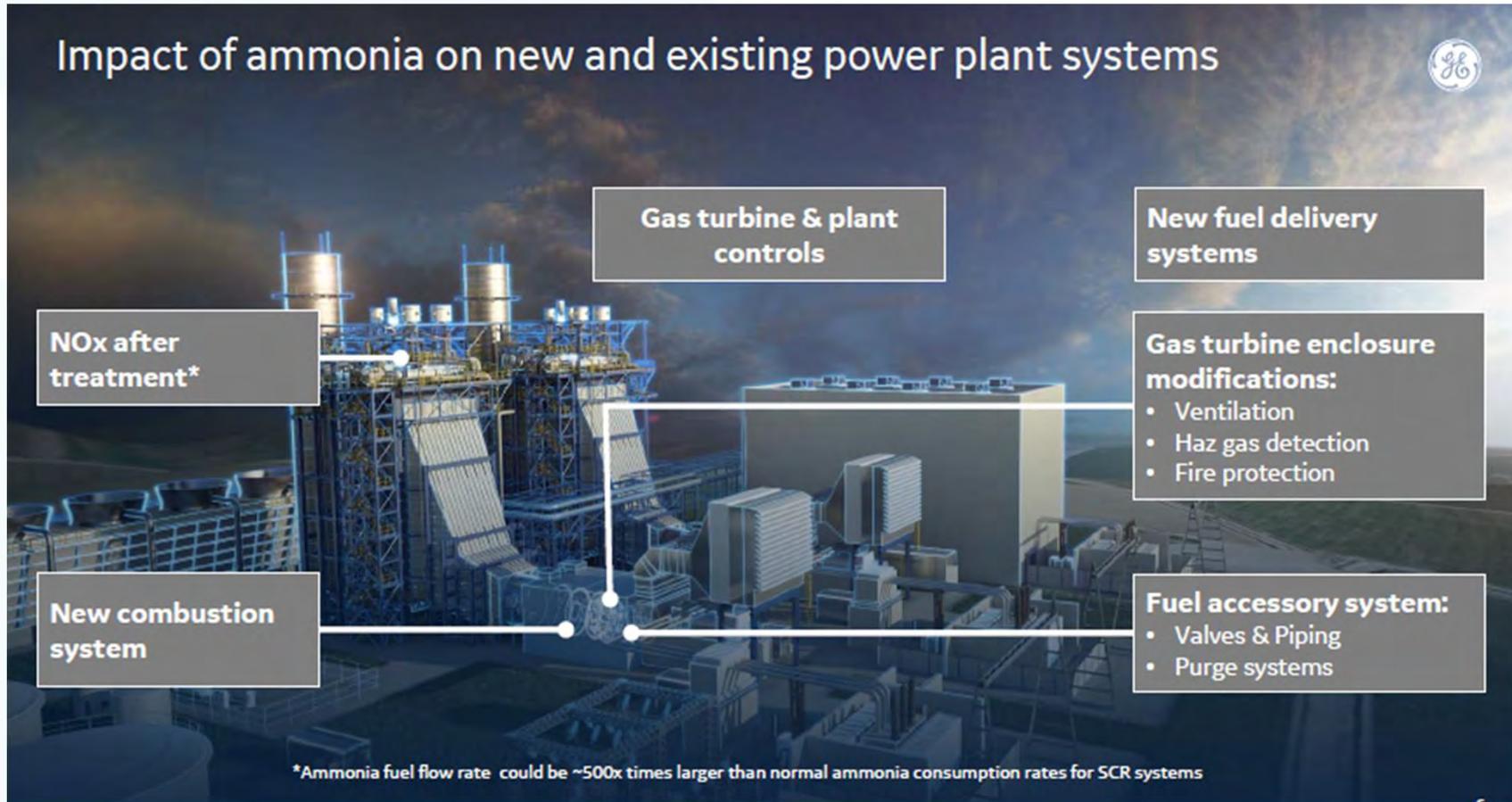
## Mitsubishi Power kicks off ammonia-fueled 40MW gas turbine development

The company aims to commercialise the turbine by 2025.

To increase global focus on decarbonisation efforts, energy sector technology and solutions provider Mitsubishi Power has started the development of a 40 MW gas turbine fueled by 100% ammonia.

According to a media release, Mitsubishi Power is eyeing commercialisation by 2025, after combustion and other testing.

# El amoniaco en las turbinas de gas



# El amoniaco en calderas

$\eta = 85-90\%$  // Sin necesidad de pretratamiento

Tecnología robusta, establecida para mezclas de amoniaco con otros combustibles (hasta 20%<sub>(p)</sub> de NH<sub>3</sub>).

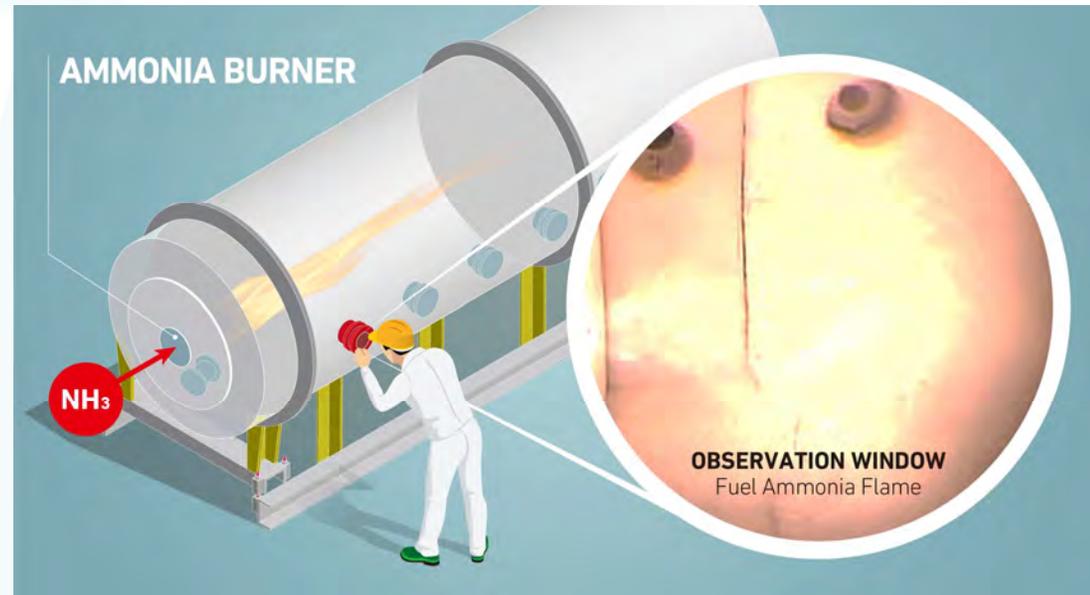
Válido para grandes potencias

Problemas de corrosión por atmósferas agresivas

Problemas de fugas de NH<sub>3</sub> por combustiones incompletas

Problema de emisiones de Nox: eliminados con restos de amoniaco en determinadas ventanas de temperatura

I+D: mejorar sistemas de inyección de NH<sub>3</sub>, sistemas de distribución de la mezcla NH<sub>3</sub>/O<sub>2</sub> y aplicación de nuevos materiales



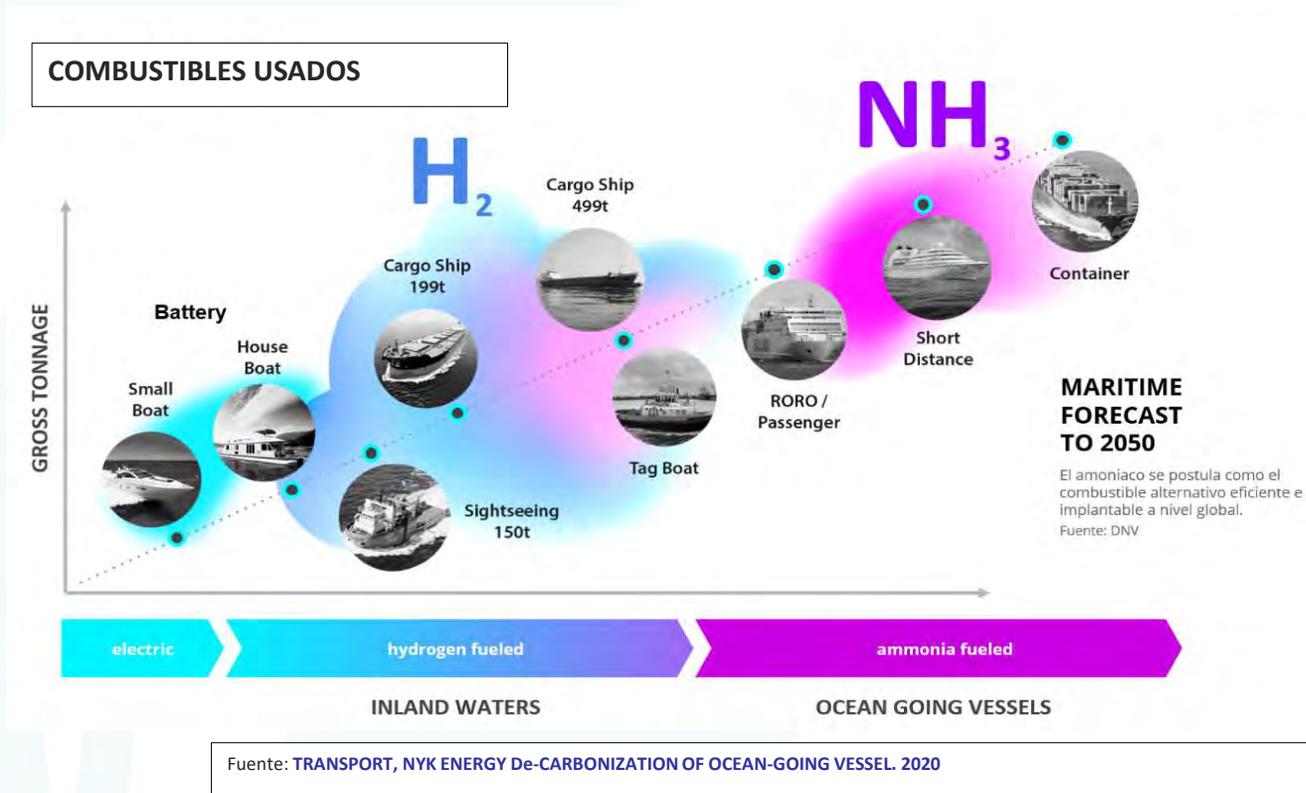
# El amoniaco

## 10. Transporte marítimo

### INDICE El amoniaco

1. El contexto
2. Un poco de historia para entenderlo
3. ¿Cómo es?
4. Ayer y hoy
5. Cómo se hace (año 1 después de HB)
6. Cómo se hará (post HB)
7. La economía asociada
8. Fundamentos para nuevos usos
9. Nuevas aplicaciones
- 10. Transporte marítimo**
11. El papel de Tresca
12. Conclusiones y referencias

# El amoníaco en el transporte marítimo



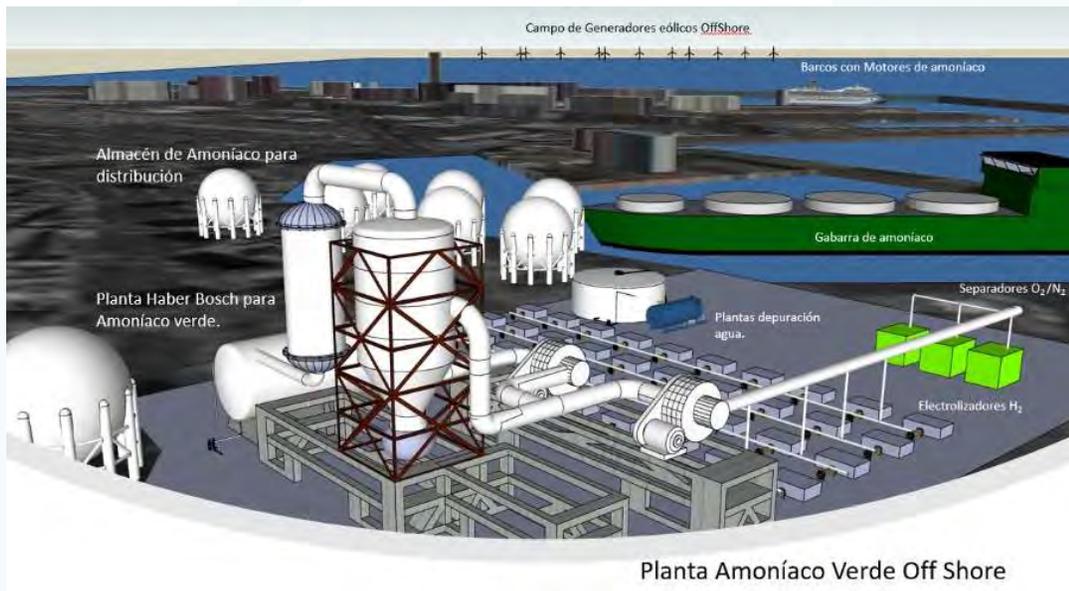
**ES EL COMBUSTIBLE ZERO-CO<sub>2</sub> ADECUADO PARA TRANSPORTES DE BARCOS GRANDES A LARGAS DISTANCIAS**

# El amoniaco en el transporte marítimo

MAN Energy Solutions adapta los actuales motores marinos de GNL para que funcionen con **Amoniaco** (KIT de adaptación + desarrollo de motores duales NH<sub>3</sub>/GNL)



Foto: **Motores marinos MAN**



Planta Amoniaco Verde Off Shore

# El amoníaco en el transporte marítimo

Capacidad de producción: 230 Mt NH<sub>3</sub>/año.  
Solo para el 30% del transporte marítimo → + 130 Mt NH<sub>3</sub>/año

## Comparación NH<sub>3</sub> verde vs MGO

Emisiones nulas de CO <sub>2</sub>	Problemas de espacio (x3)
Bajas emisiones de otros elemento tóxicos (SO <sub>x</sub> , metales, PM10, PAH)	Corrosividad: evitar determinados materiales
Bajo riesgo de incendio	Toxicidad: riesgo de seguridad y ambiental
Usado en motores y en pilas de combustibles	Control sobre emisiones de NO <sub>x</sub> similar a los MGO
Bajas emisiones de NO <sub>x</sub> en pilas de combustibles a baja T <sup>a</sup>	

## Comparación NH<sub>3</sub> verde vs H<sub>2</sub>

Commodity con infraestructuras para producción, transporte y almacenaje	Necesidad de combustible de ignición o para mantener la llama
Mayor densidad energética (apropiado para viajes largos)	Corrosividad: Evitar determinados materiales
Almacenado a temperaturas razonables	Toxicidad: Riesgo de seguridad y ambiental
Menor riesgo de incendio (rango de inflamabilidad y T <sup>a</sup> de ignición)	Control sobre emisiones de NO <sub>x</sub> superiores al H <sub>2</sub>
Usado en motores y en pilas de combustibles	

# El amoniaco

## 11. El papel de Tresca

### INDICE El amoniaco

1. El contexto
2. Un poco de historia para entenderlo
3. ¿Cómo es?
4. Ayer y hoy
5. Cómo se hace (año 1 después de HB)
6. Cómo se hará (post HB)
7. La economía asociada
8. Fundamentos para nuevos usos
9. Nuevas aplicaciones
10. Transporte marítimo
- 11. El papel de Tresca**
12. Conclusiones y referencias

# Un nuevo concepto de SERVICIOS DE CONSULTORÍA E INGENIERÍA

Tresca es una compañía de servicios que contribuye al desarrollo de proyectos industriales y energéticos aportando una visión de conjunto a la solución.

30+

Países

78

Profesionales

2001

Fundación de Tresca

2005

1<sup>os</sup> proyectos de ingeniería

2006

1<sup>os</sup> proyectos de energía

2014

División de consultoría

2015

1<sup>os</sup> contratos internacionales

2016

Departamento de I+D

2019

1<sup>os</sup> proyectos de hidrógeno



# TRESCA

Más de 30 proyectos de  
**HIDRÓGENO**  
por toda España hasta 2021



# Un nuevo concepto de SERVICIOS DE CONSULTORÍA E INGENIERÍA asociados al $H_2$ y el $NH_3$



## Desarrollo propio nuevas anatomías de plantas de H<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>

Planta de generación  
de H<sub>2</sub> verde  
**150 MW**

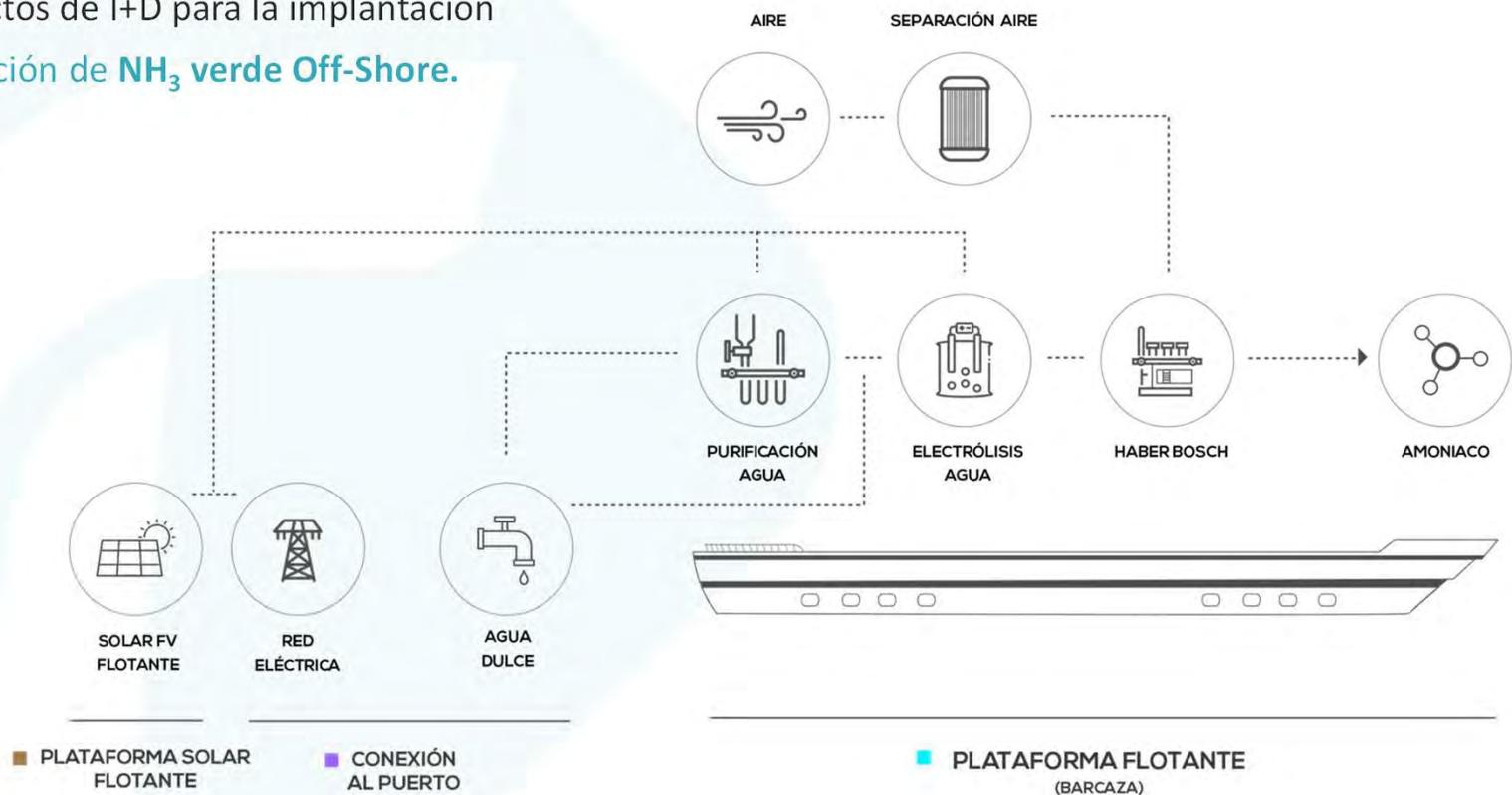
**780 000 Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/día**  
**390 000 Nm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>/día**

## Socio para desarrollo de proyectos I+D NH<sub>3</sub>-Offshore

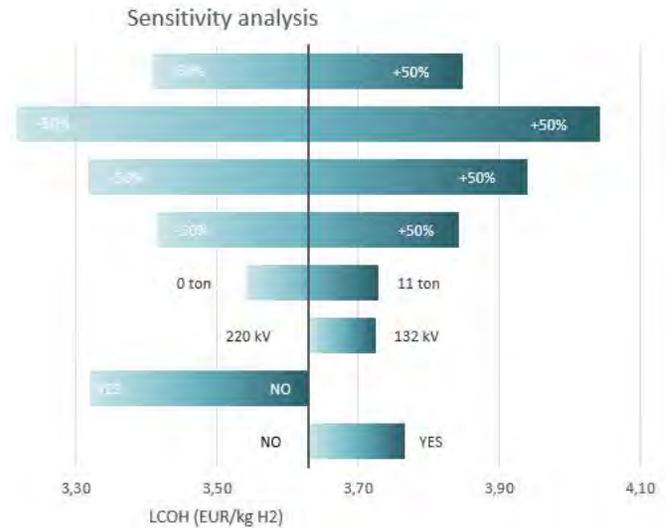
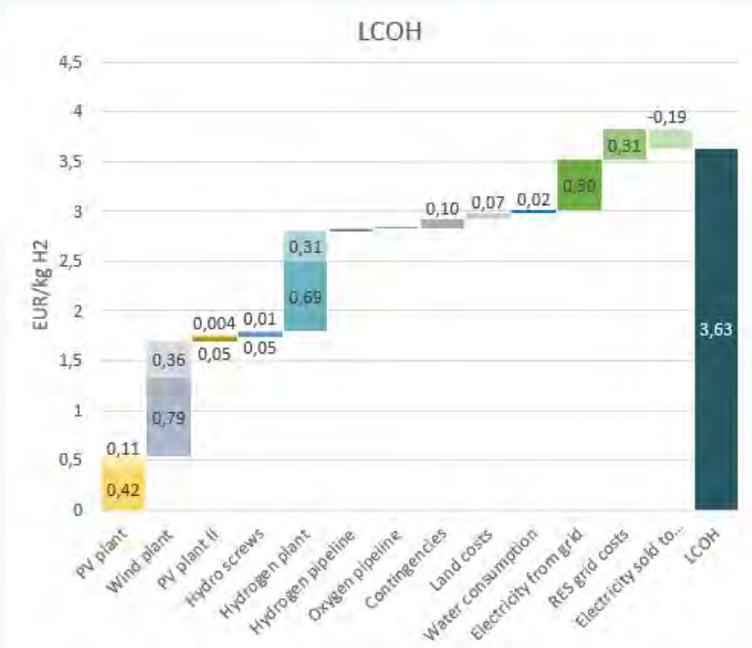
Participación en Proyectos de I+D para la implantación de procesos de producción de **NH<sub>3</sub> verde Off-Shore**.



PROYECTO BAHIA NH<sub>3</sub>



# Herramientas propias de optimización de la cadena de valor del H<sub>2</sub> y el amoniaco





# SERVICIOS DE CONSULTORÍA E INGENIERÍA

## Ciclo de vida del proyecto



# El amoniaco

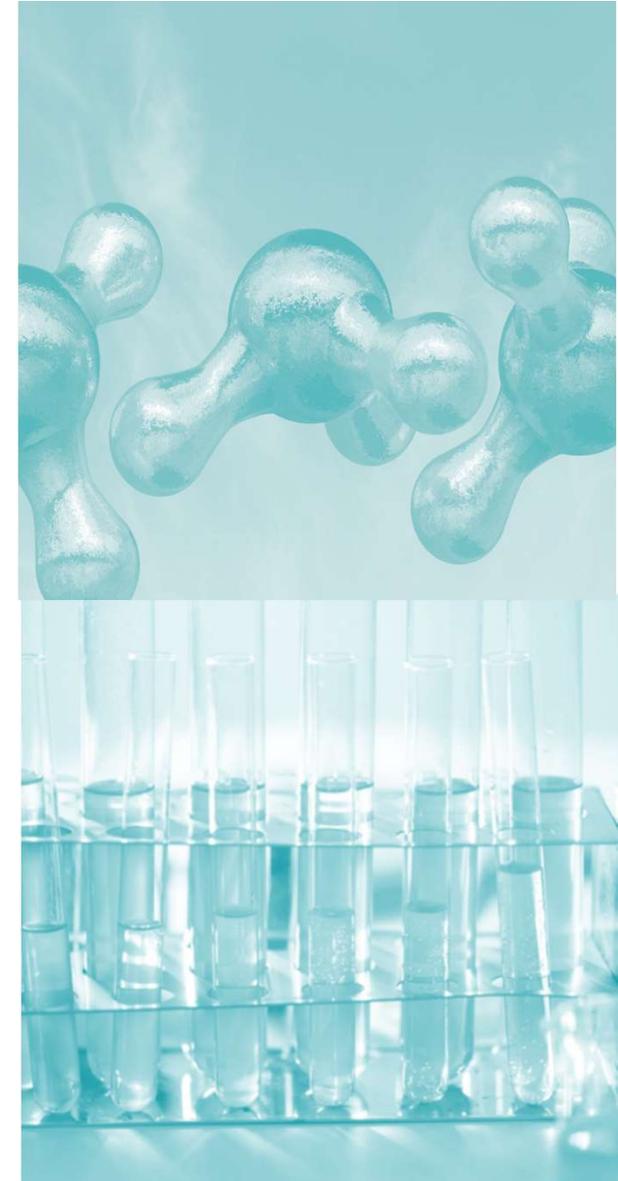
## 12. Conclusiones y referencias

### INDICE El amoniaco

1. El contexto
2. Un poco de historia para entenderlo
3. ¿Cómo es?
4. Ayer y hoy
5. Cómo se hace (año 1 después de HB)
6. Cómo se hará (post HB)
7. La economía asociada
8. Fundamentos para nuevos usos
9. Nuevas aplicaciones
10. Transporte marítimo
11. El papel de Tresca
12. **Conclusiones y referencias**

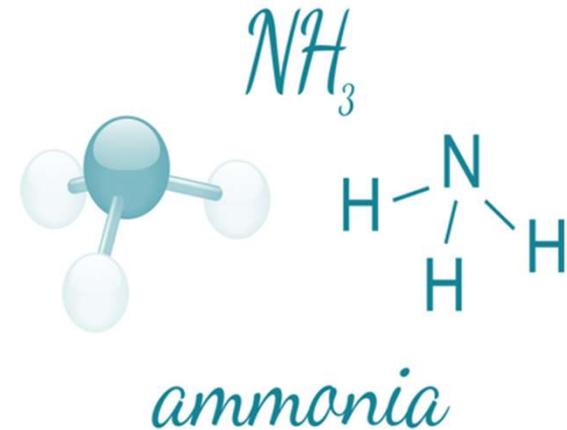
## Conclusiones I

- Vivimos en un rápido cambio de paradigma en la economía y la **energía**.
- El **cambio** se va a producir independientemente de nuestra opinión.
- El hidrógeno se presenta como el siguiente paso en la **evolución** de los combustibles y vectores energéticos.
- Hemos de ver el **amoniaco** como un nuevo formato del H<sub>2</sub> más adecuado en algunos aspectos.
- El amoniaco es importante en la economía actual y más importante en la economía **futura**.



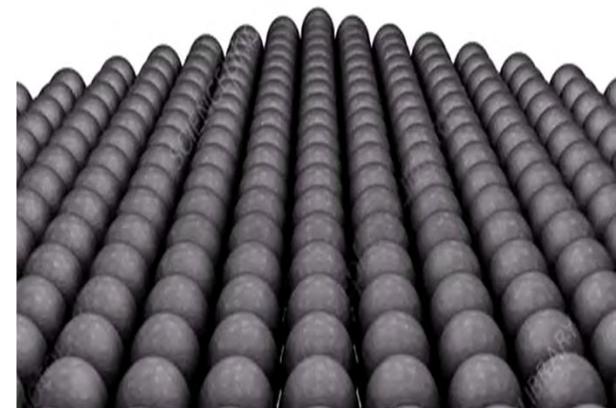
## Conclusiones II

- El amoníaco para usos **tradicionales** aumentara en la medida que aumentan los fertilizantes.
- Habrá de cambiar la **geoestrategia** del amoníaco.
- Aparecerá una gran producción de amoníaco asociada a usos **energéticos**.
- Aparecerán paulatinamente **nuevos usos** y aplicaciones.
- La tecnología del amoníaco es **madura** y no presenta riesgos tecnológicos.



## Conclusiones III

- Aparecerán **nuevos actores** asociados a la economía del amoniaco.
- Aparecerán una gran cantidad de proyectos asociados al amoniaco.
- El amoniaco actual ha de ir migrando al **amoniaco verde**.
- El amoniaco presenta una gran **oportunidad** de negocio e inversión tanto en su producción, como en su uso.
- **Tresca** es el socio ideal para el desarrollo de proyectos de hidrógeno y amoniaco verdes.



# Referencias

1. Zac Cesaroa, Matthew Ivesb, Richard Nayak-Lukea, Mike Masona, René Bañares-Alcántaraa “**Ammonia to Power: Forecasting the Levelized Cost of Electricity from Green Ammonia in Large-scale Power Plants**”, *University of Oxford*, 2021
2. Caneon Kurien, Mayank Mittal “**Review on the production and utilization of green ammonia as an alternate fuel in dual-fuel compression ignition engines**” *Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Madras*, 2021
3. Nathan Gray, Shane McDonagh, Richard O’Shea, Beatrice Smyth, Jerry D Murphy “**Decarbonising ships, planes and trucks: An analysis of suitable low-carbon fuels for the maritime, aviation and haulage sectors**” *MaREI Centre, Environmental Research Institute, University College Cork, Ireland // School of Engineering, University College Cork, Ireland // School of Mechanical and Aerospace Engineering, Queen’s University Belfast, Belfast, UK*, 2021
4. IEA, “**Ammonia Technology Roadmap. Towards more sustainable nitrogen fertiliser production**” *International Energy Agency*, 2021
5. Michele Zandrini, Matteo Testi, Martina Trini, Penchini Daniele, Jan Van Herle, Luigi Crema, “**Assessment of ammonia as energy carrier in the use with reversible solid oxide cells**” *Fondazione Bruno Kessler, Via Sommarive 18, 38123, Trento, TN, Italy // SOLIDPower Spa, Via Treno, 115/117, 38017, Mezzolombardo, TN, Italy // EPFL SCI-STI-JVH, Rue de l’Industrie 17, Case Postale 440, CH-1951, Sion, Switzerland*, 2021
6. Kevin H.R. Rouwenhorsta, Alojsius G.J. Van der Hamb, Guido Mulc, Sascha R.A. Kerstenb “**Islanded ammonia power systems: Technology review & conceptual process design**” *University of Twente, Catalytic Processes and Materials Group, Enschede, Netherlands // University of Twente, Sustainable Process Technology Group, Enschede, Netherlands // University of Twente, PhotoCatalytic Synthesis Group, Enschede, Netherlands*, 2021
7. Ash, N. and Scarbrough, T., “**Sailing on solar: Could green ammonia decarbonise international shipping?**”, *Environmental Defense Fund, London*, 2019
8. *The Royal Society*, “**Ammonia: zero-carbon fertiliser, fuel and energy store**” *The Royal Society*, 2020
9. A Valera-Medina, H Xiao, M Owen-Jones, W.I.F. David, P.J. Bowen, “**Ammonia for power**” *College of Physical Sciences and Engineering, Cardiff University, Cardiff, UK // Centre for Combustion Energy, Tsinghua University, Beijing, China // Science and Technology Facilities Council, RAL, Oxford, UK // Department of Chemistry, University of Oxford, UK*, 2018
10. FJ Ramón Ducoy, “**Implantación de energías renovables en una planta de producción de amoníaco**”, *Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla*, 2016
11. Ian Wilkinson “**Green Ammonia for energy storage and beyond**”, *Siemens, Science & Technology Facility Council, Oxford University, Cambridge University* 2016
12. Richard Nayak-Luke, René Bañares-Alcántara, and Ian Wilkinson, “**Green Ammonia: Impact of Renewable Energy Intermittency on Plant Sizing and Levelized Cost of Ammonia**” *Department of Engineering Science, University of Oxford, Parks Road, Oxford OX1 3PJ, United Kingdom // CT REE, Rutherford Appleton Laboratory, Siemens Corporate Technology, Oxford OX11 0QX, United Kingdom*, 2018
13. FuelPositive: <https://fuelpositive.com/>
14. Mitsubishi: <https://power.mhi.com/news/20210826.html>

“La energía disponible es el objeto principal en juego  
en la lucha por la existencia y la evolución del mundo”

*Ludwig Boltzmann*

# Gracias.

**Francisco Carro De Lorenzo**

**Dr. Ingeniero industrial.**

Tresca Ingeniería S.A.

☎ 606394122

✉ [fcarro@tresca.es](mailto:fcarro@tresca.es)

