



Propuesta para disminuir la huella de carbono mediante el uso de energías verdes en Remolcadores de Alta Mar (RAM) en el puerto de Valparaíso

Luciano Núñez
Maria Isabel Vega
Lorena Bearzotti

21° Congreso Chileno de Ingeniería en Transporte

Antecedentes del problema

- Calentamiento Global
- Requerimiento de una transición energética
- Tendencia a puertos sostenibles
- Remolcadores y su contaminación





Problemática

¿Cómo se pueden
reducir las
emisiones de los
remolcadores?

Área a estudiar y limites

- Puerto de Valparaíso, específicamente desde el molo de abrigo hasta la zona de aguas abiertas.
- Se define un modelo RAM promedio que opere en dicho puerto para cuantificar la emisión actual de GEI de la flota total.
- Se considera solamente la producción de emisiones que producen los motores principales.



Remolcadores

Embarcaciones esenciales para la optimización de tiempos en puertos de las naves comerciales, velando por la seguridad en las maniobras

La maniobrabilidad, estabilidad y bollard pull son claves para traccionar al buque eficazmente, además de contrarrestar la masa de inercia del RAM, la fuerza del viento, del oleaje o de las corrientes



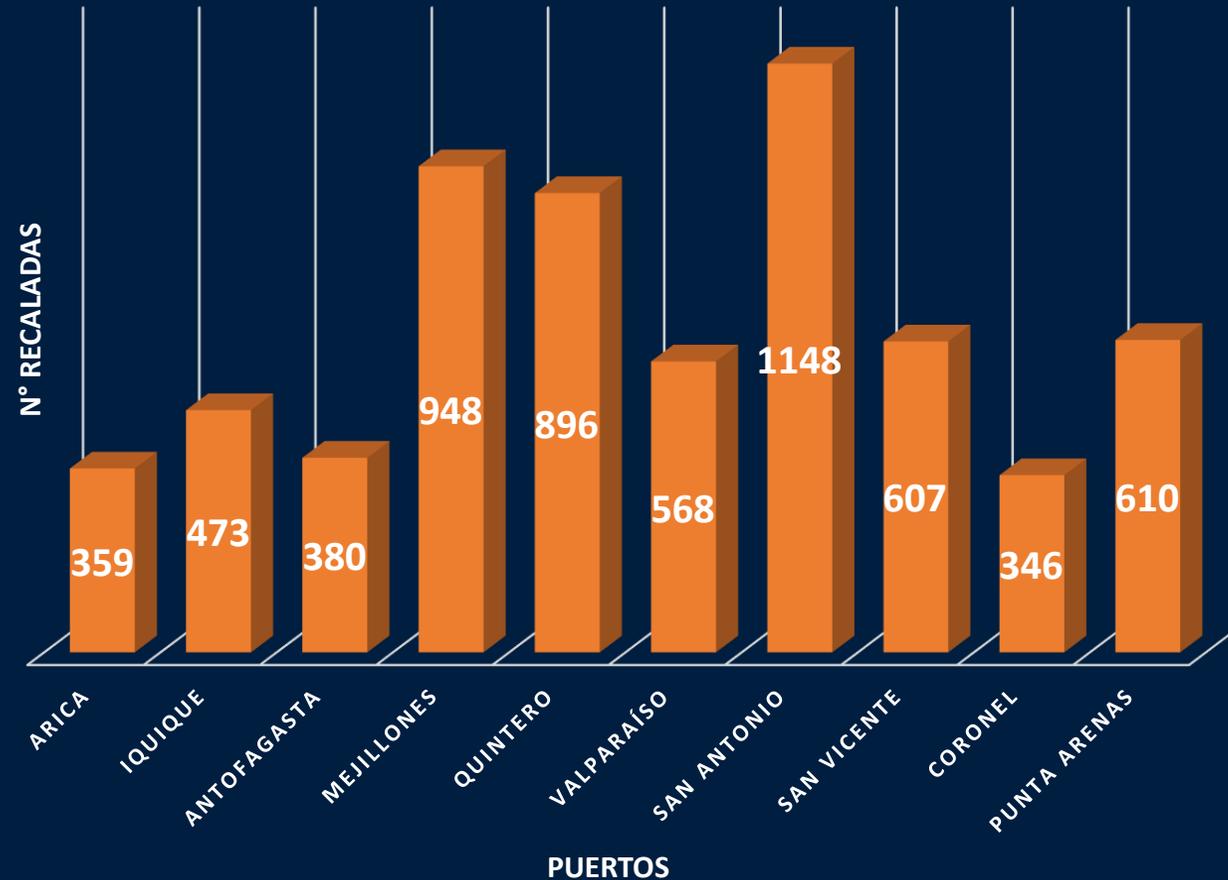
Situación actual nacional

- Chile extiende su territorio en sentido norte-sur, abarcando 4.300 kilómetros de longitud
- Privilegiado sistema portuario constituido por 56 puertos
- 94,9% de nuestro comercio exterior, se moviliza por vía marítima



Situación actual nacional

Naves recaladas en puertos nacionales durante el año 2019



Fuente: : Departamento Tecnológicas Marítimas de la DIRECTEMAR/ Grafico
Elaboración propia

Situación actual puerto Valparaíso

Emisiones del RAM base "X"

RAM	Motorización	Fabricante motorización	Combustible	Enero (Kg CO2e)	Febrero (Kg CO2e)	Marzo (Kg CO2e)	Abril (Kg CO2e)	Mayo (Kg CO2e)
"X"	MCI	Caterpillar	Diésel	71162,0	148697,1	87536,5	74907,1	98847,9

Julio (Kg CO2e)	Agosto (Kg CO2e)	Septiembre (Kg CO2e)	Octubre (Kg CO2e)	Noviembre (Kg CO2e)	Diciembre (Kg CO2e)	Total (Kg CO2e)	Total (T CO2e)
83517,0	78309,7	51893,0	120565,5	55904,5	52616,0	980176,01	0,9802

Fuente: Confidencial /Elaboración propia

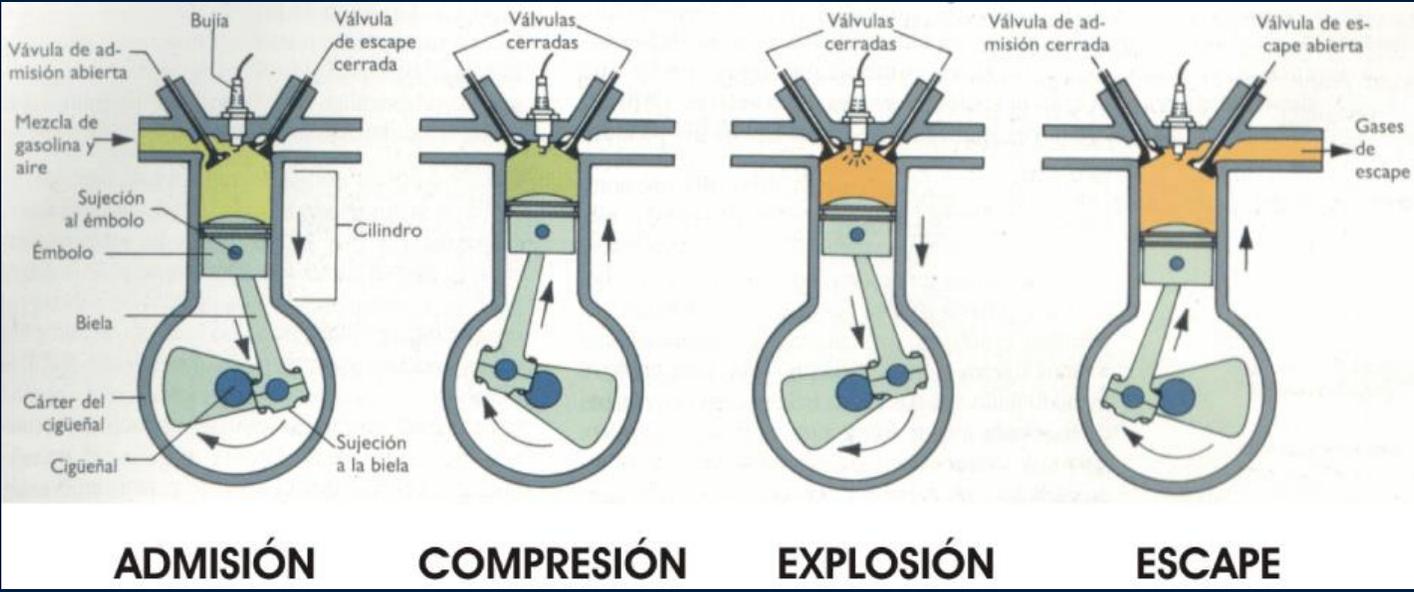
Situación actual puerto Valparaíso

Estimación de emisiones RAM de la flota actual en puerto Valparaíso:

RAM	Disponibilidad en VAP (%)	Emision BASE (T CO2e)	Emision ESTIMADA (T CO2e)
MATAQUITO II	100%	0,9802	0,9802
HALCÓN III	100%	0,9802	0,9802
HORCON	50%	0,9802	0,4901
LONCURA	50%	0,9802	0,4901
PODEROSO I	20%	0,9802	0,1960
		Total	3,1366

Motor de combustión interna

4 tiempos



Fuente: Motoborda



Principales gases residuales de la combustión

- Dióxido de carbono (CO_2)
- Óxido de nitrógeno (NO_x)
- Monóxido de carbono (CO)
- Dióxido de azufre (SO_2)
- Material particulado (PM)

940 mT CO_2 E anual

40 mT CO_2 E anual



La revolución de la matriz energética en la industria marítima

	 Electricidad	 E-Methanol	 Amoniac	 Hidrógeno
Sistema de Propulsión	Motor Electrico	Motor Combustión	Motor Combustión	Motor Combustión y Fuel Cell
Eficiencia energética	Alta	Baja	Baja	Media
Compatibilidad con naves existentes	Baja (Difícil de modernizar)	Relativamente alta (Se puede mezclar con gasolina porque sus propiedades son similares a las de ésta; se puede adaptar a las naves existentes para obtener un 100% de CH ₃ OH, pero es costoso)	Media (Es posible la adaptación a los buques existentes, pero es costosa)	Baja (Difícil de modernizar)
Maduración de la tecnología	Alta (Varias naves operativas)	Alta (Varias naves operativas)	Baja (Primeros modelos en desarrollo)	Media (Primeros prototipos)
Rango	Media (Límites de almacenamiento de energía a bordo debido al tamaño de la batería)	Alta	Alta	Alta
Tiempo de reabastecimiento	Alta	Baja	Baja	Baja
Otras preocupaciones	Contaminación indirecta	Contiene átomos de carbono, requiere de una costosa captura en el aire para lograr la neutralidad del carbono	Toxico y emite NOx	H2 dificultad en el almacenamiento y distribución

● Mixto ● Favorable ● Desfavorable

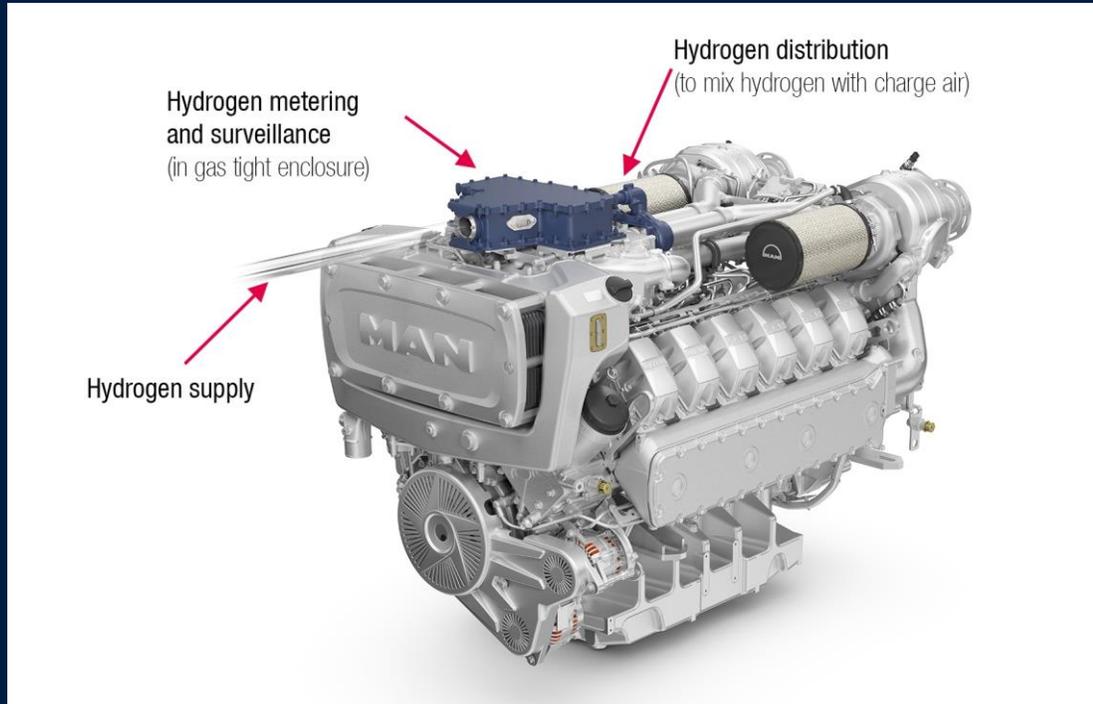
Fuente: Report on Climate Commitments by

Signatories to the Call to Action for

Shipping Decarbonization

La revolución de la matriz energética en la industria marítima

Motor combustión interna (MCI) Dual fuel: Hydrogen -Diésel



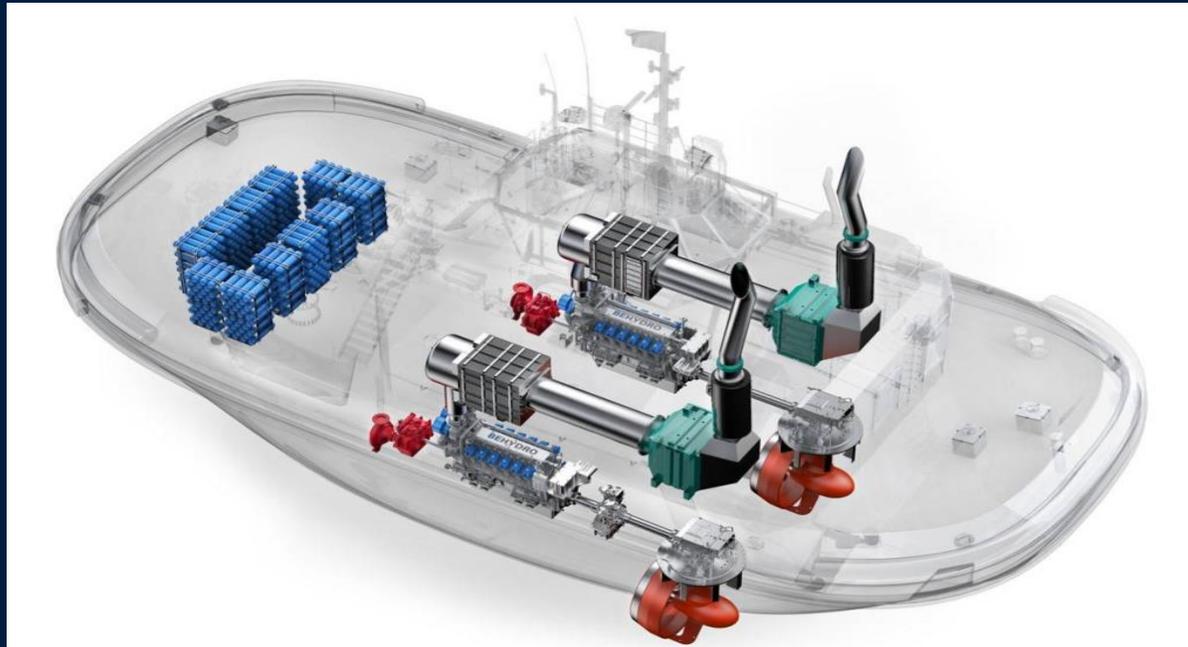
Fuente: MAN / CMB Tech



La revolución de la matriz energética en la industria marítima

Sistema de propulsión MCI Dual fuel del RAM "HYDROTUG 1"

- 2 Motores BeHydro V12 Twin turbo (5500 HP)
- 54 Cilindros de almacenamiento H2V
- Total 405,5 kg H2V
- Bollard Pull: 65 Toneladas



Fuente: CMB Tech



Análisis de la propuesta: MCI dual fuels

- Nivel de riesgo relativamente bajo respecto a una deficiente operación
- Aumenta la eficiencia energética del combustible principal
- Reducción de emisión entre un 50% a 85%
- Tres opciones de biocombustibles para el combustible secundario



Análisis de la propuesta: MCI dual fuels e-methanol

- Nivel de eficiencia
- Valores por tonelada
- Compatibilidad con las embarcaciones existentes
- Maduración de la tecnología de manipulación, almacenamiento y transporte
- Nivel de autonomía
- Tiempos de recarga de los estanques de combustibles
- Navieras MAERSK, EVERGREEN, COSCO SHIPPING, CMA CGM y HMM optan por su uso



Conclusiones y futuros trabajos

- Independiente de la factibilidad de aplicación, si o si el rubro de remolcadores nacional requiere de la transición energética
- Descarbonización del transporte marítimo se enfoca en las embarcaciones de grandes dimensiones, las pequeñas como los RAM no presentan presiones internacionales (MARPOL y OMI).





**Propuesta para
disminuir la huella de
carbono mediante el uso
de energías verdes en
Remolcadores de Alta
Mar (RAM) en el puerto
de Valparaíso**

**Luciano Núñez
Maria Isabel Vega
Lorena Bearzotti**

21° Congreso Chileno de Ingeniería en Transporte