

Planificación de infraestructuras de hidrógeno

Dr. Dolf Gielen

Montevideo, 14 de noviembre de 2024



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD • IDA

IFC

International
Finance Corporation

MIGA

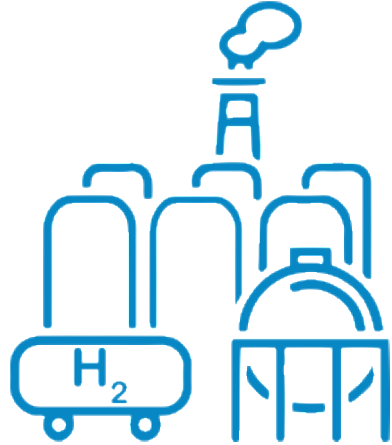
Multilateral Investment
Guarantee Agency



ESMAP

Energy Sector Management
Assistance Program

Mensajes clave



El aspecto de la infraestructura de los desarrollos del hidrógeno merece más atención

- ✓ Infraestructura habilitante para la producción e infraestructura para llevar el producto a los mercados.
- ✓ Importantes implicaciones de coste y viabilidad económica.
- ✓ El financiamiento de la infraestructura y el papel de los gobiernos.



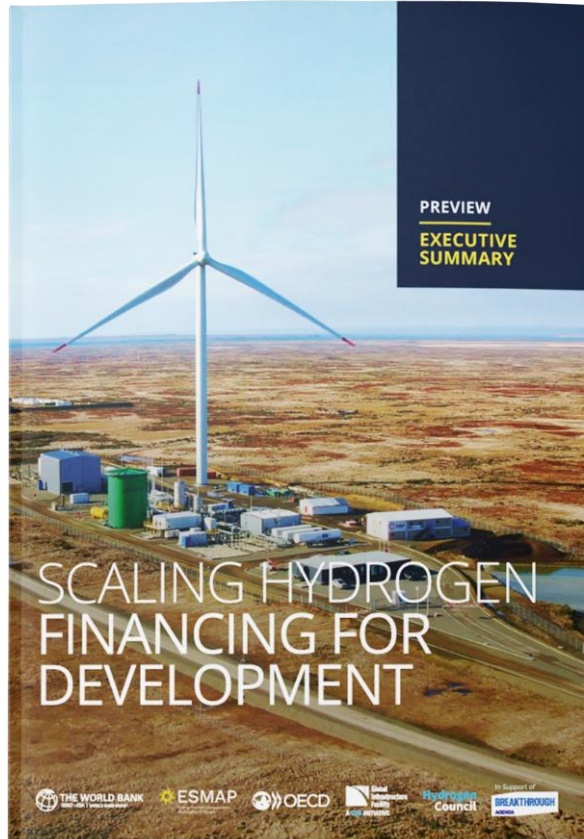
Aspectos técnicos y de diseño de mercado

- ✓ Acceso a la infraestructura e infraestructura de usuario común
- ✓ Fijación de precios de los servicios de infraestructura
- ✓ Dimensionamiento de la infraestructura
- ✓ Calendario de la infraestructura

La inversión mundial en hidrógeno necesita **\$700.000 millones de dólares al año**
(x20) Los países en desarrollo 100.000 millones de dólares al año de aquí a 2030.



Escanea el código QR
para descargar



FINANCIAMIENTO DEL HIDRÓGENO PARA EL DESARROLLO



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD · IDA

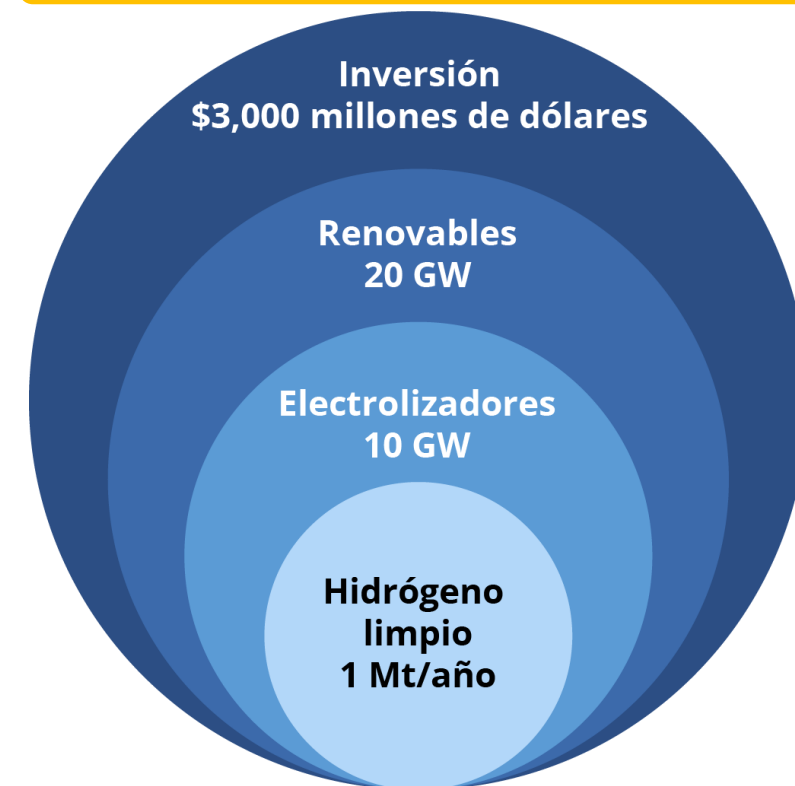
IFC

International
Finance Corporation

MIGA

Multilateral Investment
Guarantee Agency

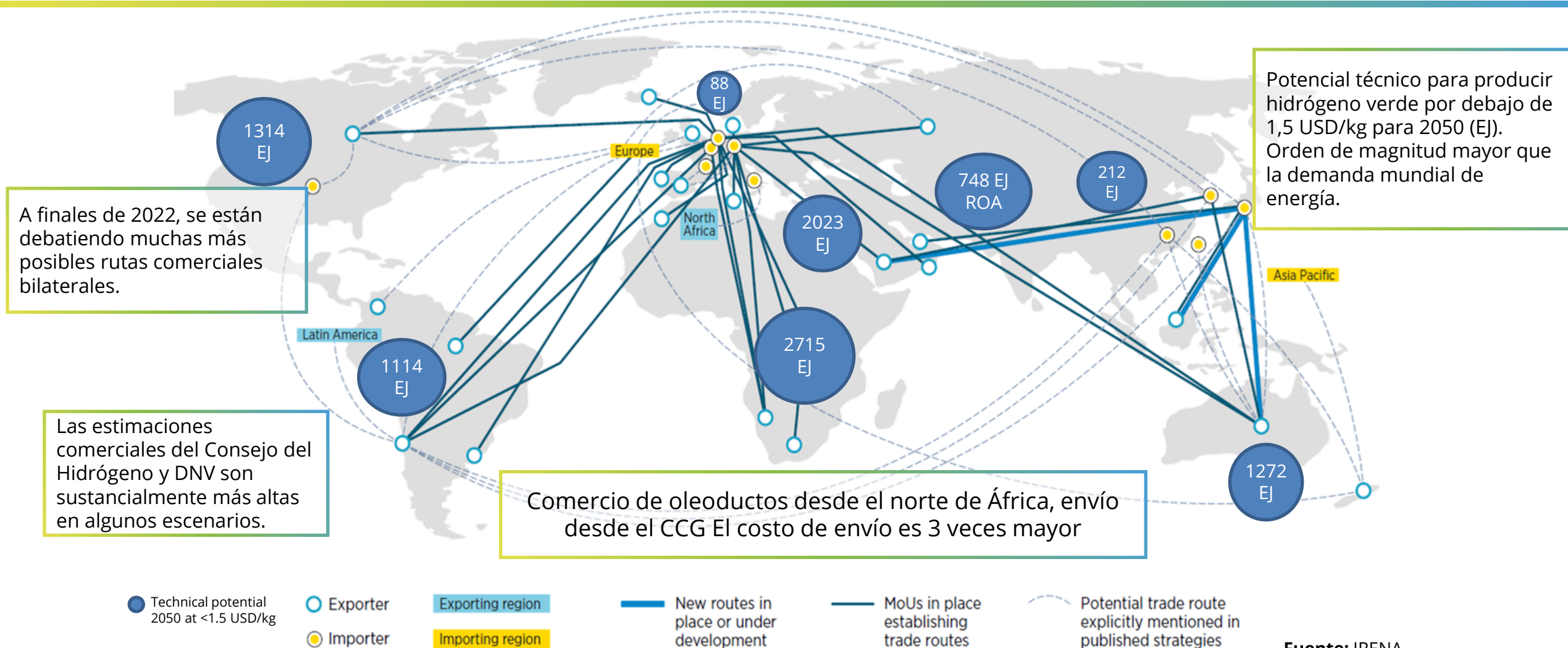
1 → 10 → 20 → 30



Necesidades anuales totales de financiamiento
para los países en desarrollo hasta 2030:

\$USD 100 miles de millones al año

Rutas, planes y acuerdos comerciales de hidrógeno: 25% de H2 comercializado internacionalmente, gasoducto 50/50 y transporte marítimo para 2050



Fuente: IRENA



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD · IDA

IFC

International
Finance Corporation

MIGA

Multilateral Investment
Guarantee Agency



ESMAP

Energy Sector Management
Assistance Program

Previsto las aplicaciones finales del amoníaco de salida dominan

Se espera que el **46% de toda la capacidad** de electrolizadores produzca hidrógeno para la producción de **amoníaco**

Actividad **siderúrgica** significativa (7%)

4% para la **producción de metanol**, con metanol biogénico como opción competitiva para el suministro de envíos.

Combustible de aviación e-sostenible (SAF)

314 proyectos en todo el mundo

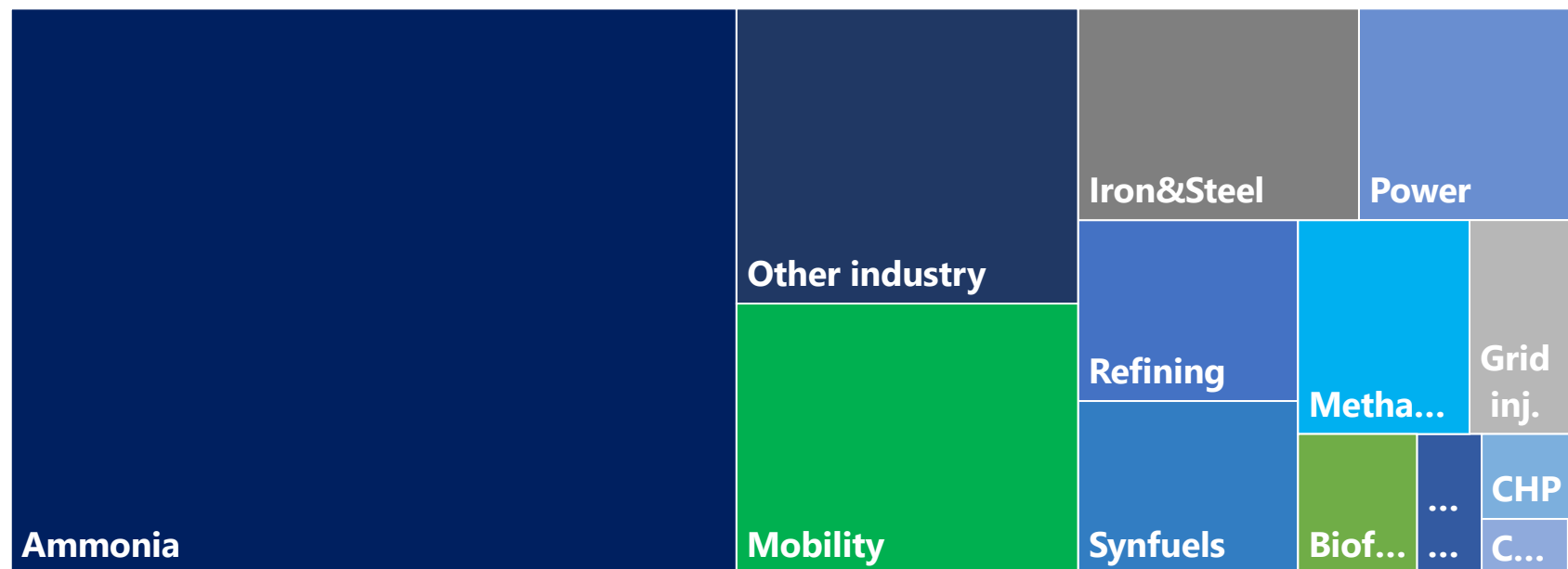
41 proyectos en todo el mundo

73 proyectos en todo el mundo

52 proyectos en todo el mundo

El resto de la producción se utiliza en gran medida como **hidrógeno directamente**, con diversas aplicaciones, como la movilidad (10%) y la refinación (4%)

El uso del **hidrógeno en la producción de energía** (5%) y en la inyección a la red (3%) es limitado, lo que refleja que normalmente no se consideran usos muy competitivos del hidrógeno.



Nota: Comprender los problemas a nivel específico del proyecto y de la cadena de suministro
Solo proyectos de electrólisis. Las acciones se basan en la capacidad del electrolizador.

Fuente: Base de datos de proyectos de producción de hidrógeno de la AIE, 2023 y Dahl, 2024



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD • IDA

IFC

International
Finance Corporation

MIGA

Multilateral Investment
Guarantee Agency



ESMAP

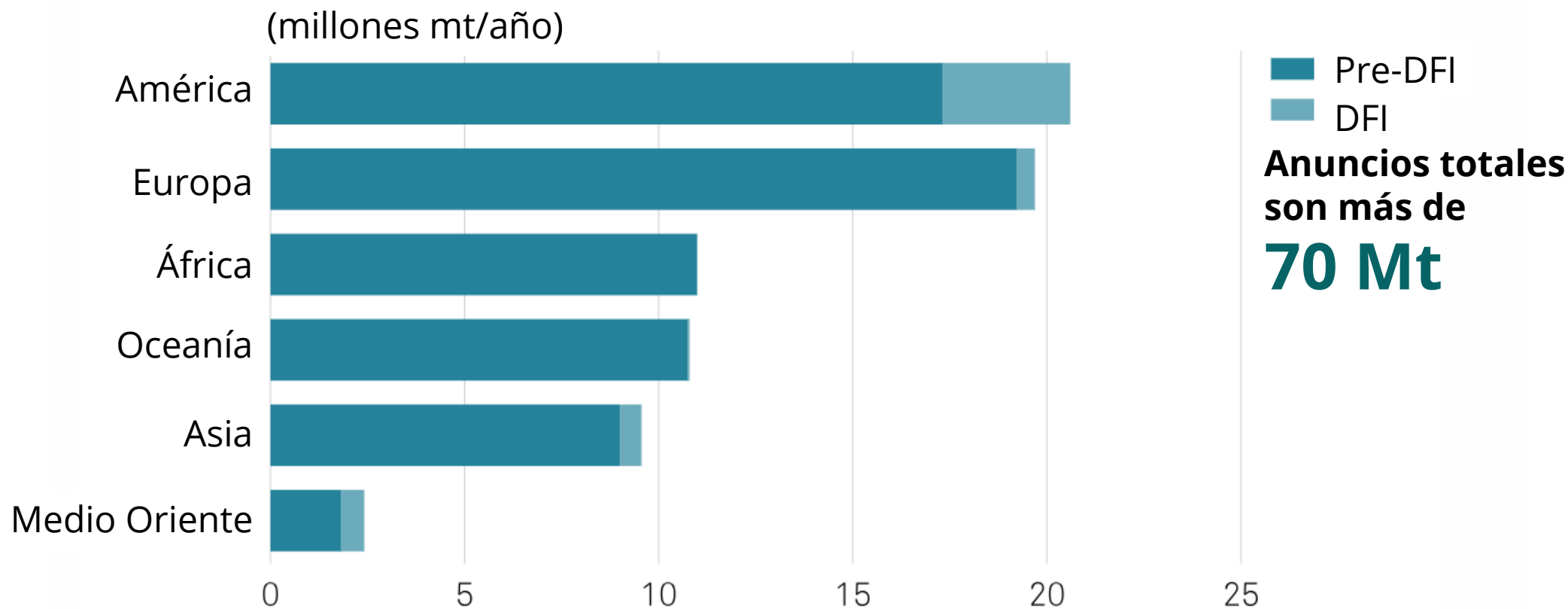
Energy Sector Management
Assistance Program

¿Qué producto tiene más sentido?

- ✓ Los productos compiten en diferentes mercados con diferentes opciones competitivas, diferentes plazos y diferente disposición a pagar.
- ✓ Ejemplo: amoníaco vs metanol: el transporte marítimo como una oportunidad temprana en el mercado.
 - ✓ El amoníaco renovable cuesta entre 700 y 900 dólares EE.UU./t (0,2 t H₂/t NH₃), el doble del costo del amoníaco convencional.
 - ✓ El E-metanol cuesta US\$ 800-1000/t (0,2 t H₂/t MeOH), el doble del costo del metanol convencional.
 - ✓ El e-metanol requiere el abastecimiento de CO₂ sostenible (biogénico): acceso específico para cada ubicación.
 - ✓ El metanol es hoy en día un combustible más fácil: hasta la fecha, el 21% de toda la nueva capacidad de envío está alimentada con metanol y el 5% con amoníaco (15 barcos).
 - ✓ El E-metanol compite con el biometanol; El amoníaco renovable compite con el amoníaco azul.
 - ✓ Se prevé que el e-metanol crezca a 12 Mt para 2030, el amoníaco renovable a 32 Mt para 2030.

Todavía son pocos los proyectos con DFI

Anuncio de un proyecto mundial de hidrógeno – 2030



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD • IDA

IFC

International
Finance Corporation

MIGA

Multilateral Investment
Guarantee Agency

Fuente: S&P Global Commodity Insights



ESMAP

Energy Sector Management
Assistance Program

La importancia de la Infraestructura

La infraestructura como factor facilitador

- ✓ No hay proyecto de hidrógeno sin infraestructura
- ✓ Los mejores recursos de energías renovables suelen encontrarse en zonas remotas con infraestructuras muy limitadas o inexistentes
- ✓ Los permisos y las licencias sociales para nuevas infraestructuras pueden ser un obstáculo

Financiación y plazos

- ✓ La infraestructura es muy intensiva en capital
- ✓ La infraestructura tarda en construirse

Aspectos de planificación y coordinación

- ✓ Las decisiones de infraestructura pueden bloquear el desarrollo durante décadas
- ✓ La infraestructura es a menudo un esfuerzo conjunto de los sectores público y privado
- ✓ Necesidad de coordinación y cooperación en el caso de la infraestructura de usuario común CUI

Aspectos Económicos

- ✓ La fijación de precios de la infraestructura puede ser fundamental para la viabilidad económica de los proyectos de hidrógeno

Estudios recientes del Banco Mundial sobre infraestructura de hidrógeno



Estudio de red **Namibia**
(en curso)



Estudio de la
infraestructura
Mauritania



Brasil, Estudio de
infraestructura
portuaria de Pecem



Infraestructuras
(paper) **Chile**

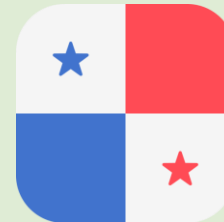
Estudios de bunkering



Colombia
(en curso)



Marruecos



Panamá



Sudáfrica



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD • IDA

IFC

International
Finance Corporation

MIGA

Multilateral Investment
Guarantee Agency



ESMAP

Energy Sector Management
Assistance Program

Infraestructura de apoyo



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD • IDA

IFC

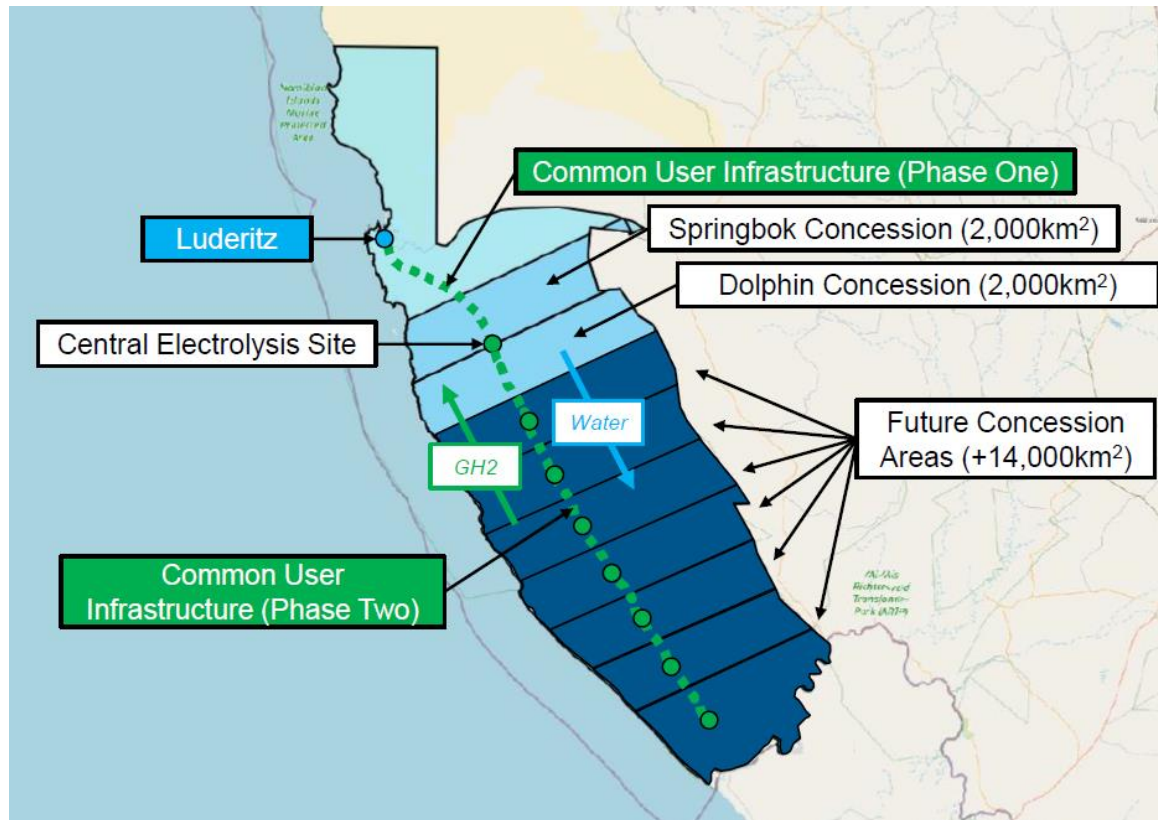
International
Finance Corporation

MIGA

Multilateral Investment
Guarantee Agency

Ejemplo: Corredor Sur de Namibia ¿Planear uno de diez proyectos? ¿Y el primer promotor del proyecto debería ser responsable de la infraestructura?

El primer megaproyecto GH2 de Namibia desbloqueará
Infraestructura Común de Usuarios 'CUI' para futuros proyectos.



Common User Infrastructure
("CUI") Corridor



Green
Hydrogen
Gas
Pipelines



Water
Pipelines



Transmission
Lines



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD • IDA

IFC

International
Finance Corporation

MIGA

Multilateral Investment
Guarantee Agency

El diseño de la infraestructura depende de aspectos técnicos y regulatorios

- ✓ Es más **barato** transportar hidrógeno por gasoducto que transportar electricidad por la línea de transmisión.
- ✓ Por lo tanto, lo ideal es **construir** el electrolizador junto a la generación de energía renovable.
- ✓ En la práctica, a menudo una configuración **diferente** impulsada por factores regulatorios.
- ✓ Por ejemplo, es **obligatorio** construir el electrolizador en un puerto/concentrador.
- ✓ Muchos puertos son zonas económicas **exclusivas** que **crean** un importante incentivo económico.

Ejemplo Sudáfrica: RE tierra adentro, el desarrollo del hidrógeno se concentra en los centros costeros

Northern Cape

Project: Prieska Power Reserve
Capacity: 14 Ktpa GH2 / 80 Ktpa GNH3.
Location: Prieska
Partners: Mahlako, Cenec, IDC

Project: Upilanga Solar and GH2 Park
Capacity: 19 Ktpa GH2
Location: Upington
Partners: Emvelo, Energía, DBSA

Project: Boegoebaai
Capacity: tbd
Location: Alexander Bay
Partners: Sasol, NCEDA

Project: Ubuntu Green Energy H2
Capacity: 7 Ktpa GH2 / 3.5 Ktpa GNH3
Location: tbd
Partners: Ubuntu Green Energy

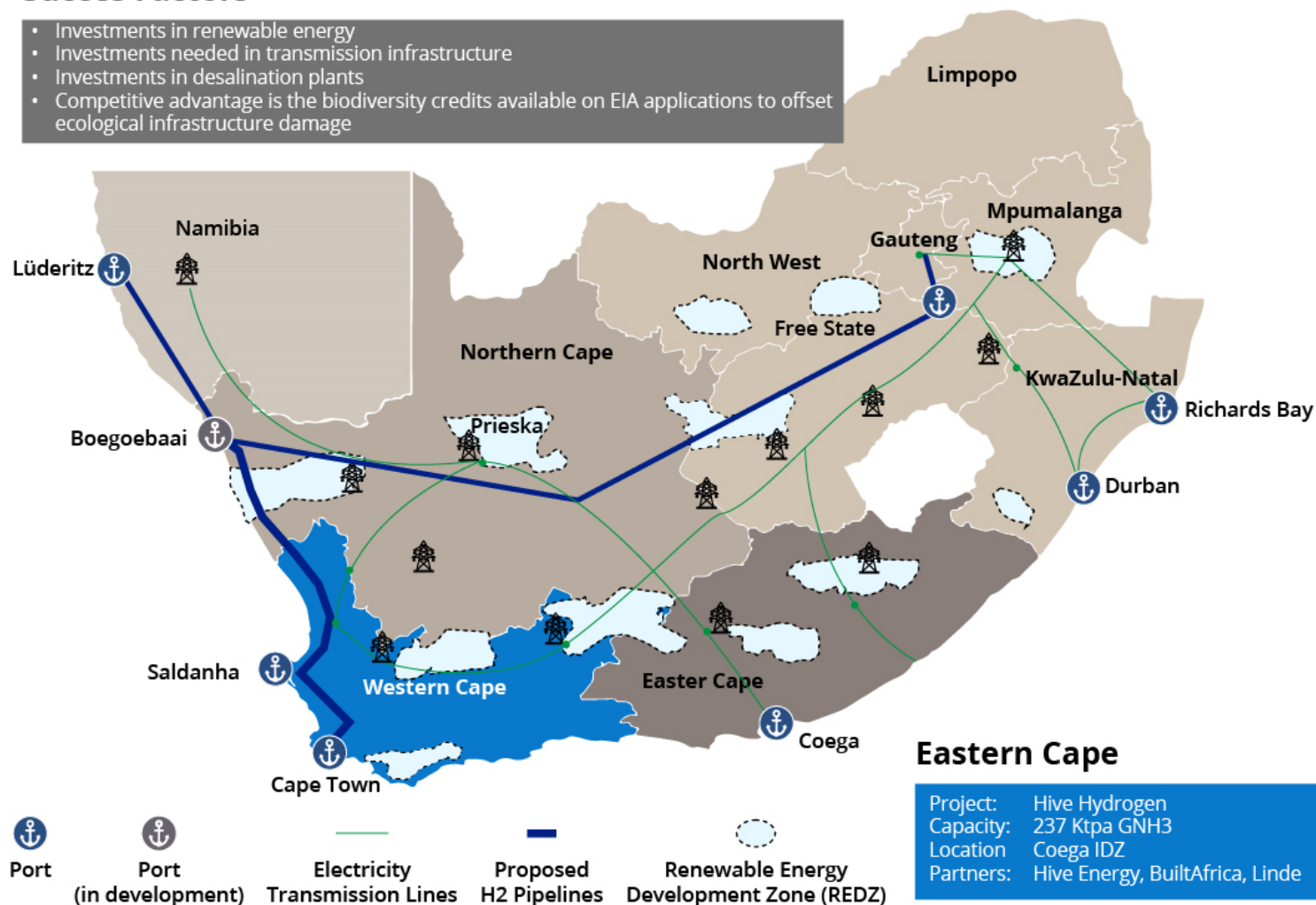
Mpumalanga

Project: Project Rhyndow
Capacity: tbd
Location: Mogalakwena
Partners: AngloAmerican

Project: HyShiFT
Capacity: 16 Ktpa GH2 / 36.1 Ktpa SAF
Location: Secunda
Partners: Sasol, Enertrag, Linde

Success Factors

- Investments in renewable energy
- Investments needed in transmission infrastructure
- Investments in desalination plants
- Competitive advantage is the biodiversity credits available on EIA applications to offset ecological infrastructure damage



Western Cape

Project: Atlantia
Capacity: 7.3 Ktpa GH2 / 3.5 Ktpa GNH3
Location: Saldanha Bay
Partners: Gamiro

Project: Phelan Green Hydrogen
Capacity: 85 Ktpa GH2 / 480.22 Ktpa GNH3
Location: Saldanha Bay
Partners: Phelan Green Energy

Project: Saldanha Bay GH Project
Capacity: 60 - 80 Ktpa GH2
Location: Saldanha Bay
Partners: Mainstream Renewable Power

Project: Saldanha Bay DRI
Capacity: 1 200 Ktpa DRI
Location: Saldanha Bay
Partners: ArcelorMittal, Sasol

Hydrogen Valley

Project: Hydrogen Valley
Capacity: 7 Ktpa GH2 / 3.5 Ktpa GNH3
Location: Mpumalanga, Free State, Gauteng, KwaZulu-Natal
Partners: AngloAmerican, Bambili Energy, ENGIE, SANEDI, DSI

Eastern Cape

Project: Hive Hydrogen
Capacity: 237 Ktpa GNH3
Location: Coega IDZ
Partners: Hive Energy, BuiltAfrica, Linde

Free State

Project: Sasol / Sasolburg
Capacity: tbd
Location: Sasolburg
Partners: Sasol, IDC



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD · IDA

IFC

International
Finance Corporation

MIGA

Multilateral Investment
Guarantee Agency



ESMAP

Energy Sector Management
Assistance Program

Necesidades mundiales de inversión en infraestructuras de hidrógeno

Las infraestructuras representan una parte importante de las necesidades totales de inversión en el sector del hidrógeno

Capital investment by 2050 cost estimates (Strillion) DRAFT	Alternativo	
	Más bajo	Más alto
Red troncal de tuberías de transmisión	0.4	0.7
Infraestructura de transmisión de electricidad	0.4	1.2
CO2 pipeline storage reservoir	0.2	0.3
Cracker de amoníaco	0.05	0.1
Barcos de amoníaco	0.024	0.036
Depósito de almacenamiento de hidrógeno	0.5	1.5
Desalación	0.015	0.015
Estación de servicio de hidrógeno	1.7	1.7
Puerto de amoníaco (exc. producción de amoníaco)	0.064	0.116
Costo total	3.4	5.7

Nota: No incluye \$0.4 a \$0.5 billones de CAPEX para la producción de amoníaco [excl. hidrógeno]
[Para el amoníaco para la exportación. El número de puertos aumentará cuando se agregue el combustible búnker].



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD • IDA

IFC

International
Finance Corporation

MIGA

Multilateral Investment
Guarantee Agency



ESMAP

Energy Sector Management
Assistance Program

El almacenamiento de H2 puede actuar como amortiguador para equilibrar la producción variable de producción de hidrógeno verde con la siguiente etapa/demanda

- **Tanques o cilindros esféricos de acero:** hasta ~20 a 60 bar según diseño.
- **Múltiples tubos de acero cerrados:** hasta ~90 a 100 bar; sobre el suelo o bajo tierra.
- El costo de instalación del almacenamiento subterráneo puede ser x10+ menor que el almacenamiento de hidrógeno sobre el suelo (\$500+/kg H2+ vs. \$50/kg H2 o menos (\$15+/kWh* vs. \$2/kWh o menos)

Ejemplo: Planta de electrólisis de 260 MW: Hidrógeno para alimentar la tubería para la refinería: ~ 1/3 del almacenamiento del día actúa como amortiguador y aumenta el factor de capacidad de la tubería a la planta cercana.



Ejemplo: Planta de electrólisis de 20MW: Hidrógeno para uso en la producción de amoníaco: 1 a 2 días de almacenamiento. 11 cilindros (~24 m x ~ 3 m) pueden contener cada uno ~ 0,55 TM de hidrógeno a 60 bar.



Sin almacenamiento de hidrógeno, el costo nivelado de la(s) siguiente(s) etapa(s) generalmente aumenta debido a un gran tamaño y/o una menor utilización



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD · IDA

IFC

International
Finance Corporation

MIGA

Multilateral Investment
Guarantee Agency

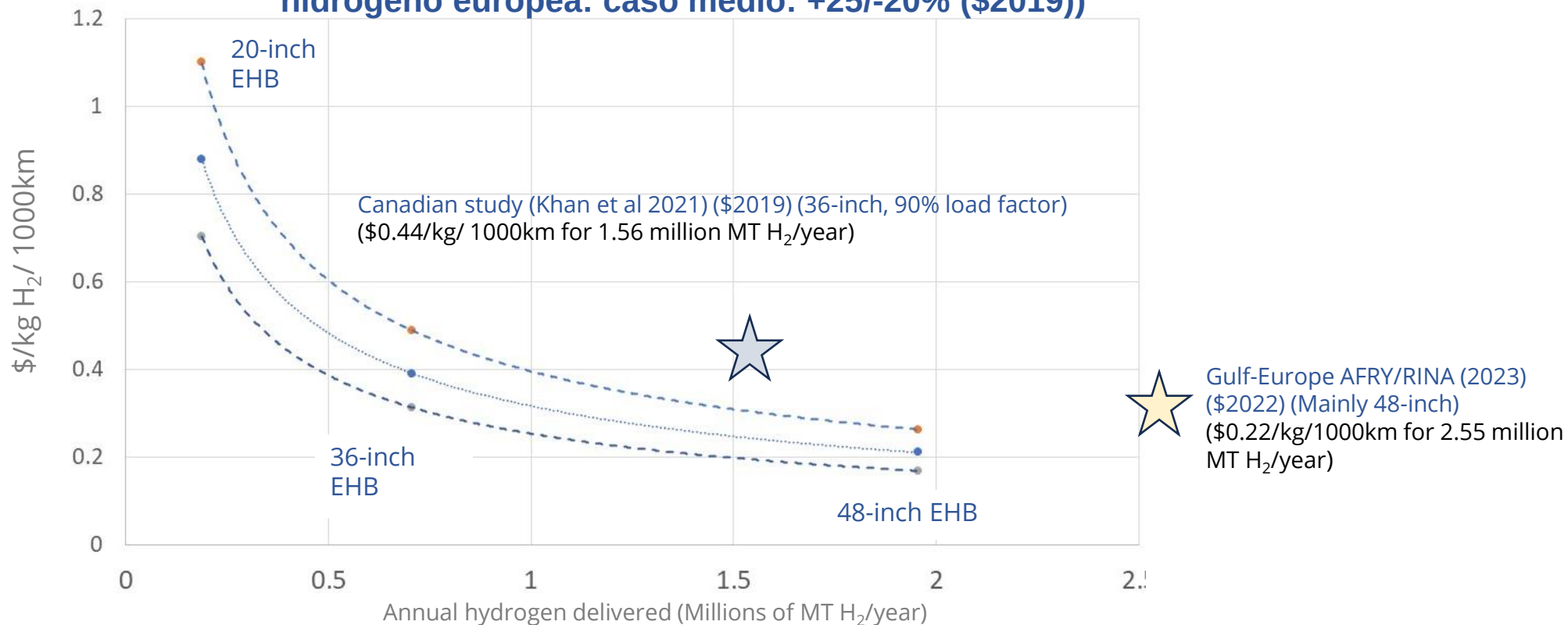
Fuente: Figura a la izquierda de Sinopec Xinjiang Kuqa entra en funcionamiento el proyecto piloto de hidrógeno verde - Green Car Congress y a la derecha desde Iberdrola.com; véase también Planta de hidrógeno verde de Puertollano – Iberdrola *Basado en la producción media objetivo, con tanques de almacenamiento de H2 de 10 x 2 TM [est.] .



ESMAP
Energy Sector Management
Assistance Program

Los oleoductos se enfrentan a fuertes economías de escala Los grandes oleoductos requieren grandes volúmenes [por ejemplo, 48 pulgadas, 2 millones + TM / año]: diez proyectos de clase mundial NEOM

Costo nivelado del transporte utilizando un nuevo gasoducto de hidrógeno, y cómo varía para los gasoductos dimensionados para diferentes caudales (con una utilización del 57%): (se muestra para la red troncal de hidrógeno europea: caso medio: +25/-20% (\$2019))



Nota: El uso de una tubería de hidrógeno más pequeña de 20 pulgadas con un tamaño ~ x10 menor que la tubería de 48 pulgadas aumenta el costo nivelado de la tubería en un factor x4+.



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD • IDA

IFC

International
Finance Corporation

MIGA

Multilateral Investment
Guarantee Agency



ESMAP

Energy Sector Management
Assistance Program

¿QUIÉN DESARROLLA Y ES EL PROPIETARIO DE LA INFRAESTRUCTURA? ¿Y CUÁL ES SU PRECIO: CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL MERCADO?



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD • IDA

IFC

International
Finance Corporation

MIGA

Multilateral Investment
Guarantee Agency



ESMAP

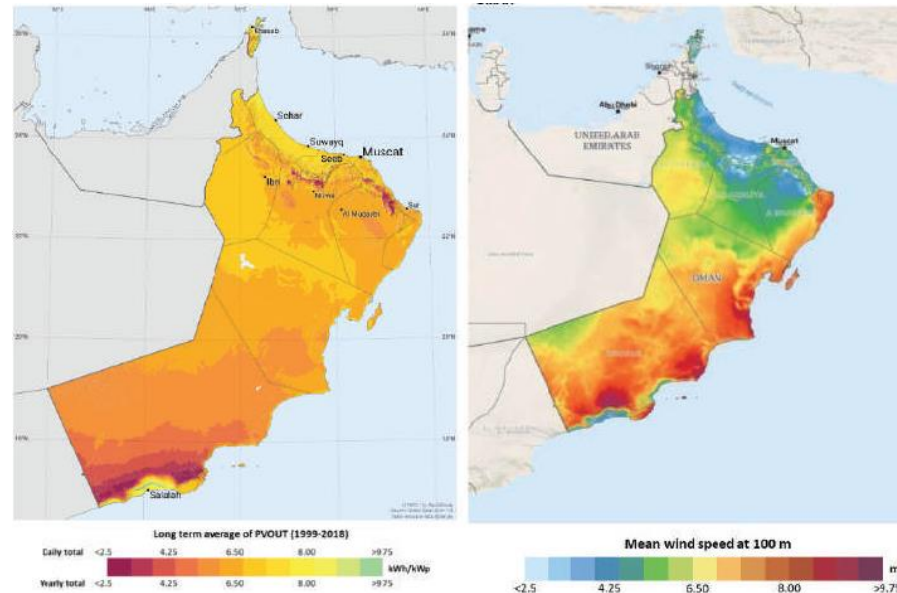
Energy Sector Management
Assistance Program

Diferentes modelos

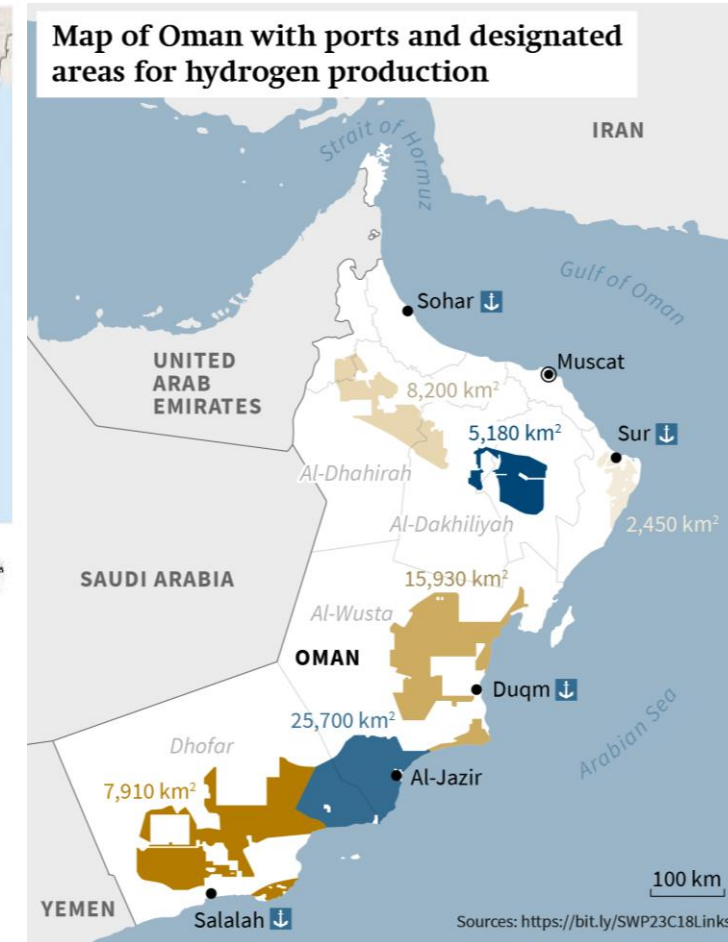
- ✓ Mucha experiencia con modelos de mercado de oleoductos, transmisión de electricidad, puertos, instalaciones de almacenamiento a los que recurrir.
- ✓ Los puertos son de propiedad pública o privada, existen ambos modelos.
- ✓ La operación también puede ser pública o privada.
- ✓ Las consideraciones de seguridad pueden afectar la elección del producto (por ejemplo, el amoníaco está prohibido en ciertos puertos).
- ✓ Las redes de transmisión de electricidad y la infraestructura de oleoductos pueden crear monopolios.
- ✓ Privado con precios regulados (coste más beneficio).
- ✓ Los impuestos y recargos pueden aumentar sustancialmente los precios de las infraestructuras.
- ✓ Hay un caso para infraestructura de usuario común (CUI).
 - Fuertes economías de escala.
 - Evite que cada planta tenga su propia infraestructura.

Caso de estudio: Omán

- Excelente recurso solar y eólico complementario (gráfico).
- Espacio disponible y asignado (gráfico).
- Proximidad a mercados y rutas marítimas.
- Costo moderado de financiamiento.
- Un marco normativo propicio bien estructurado.
- 10 proyectos de H2 verde aprox. 2 Mt H2/año.
- Amoníaco y acero
- Los proyectos más grandes con mayor participación petrolera.
- La organización Hydrom estableció la gestión del proceso.

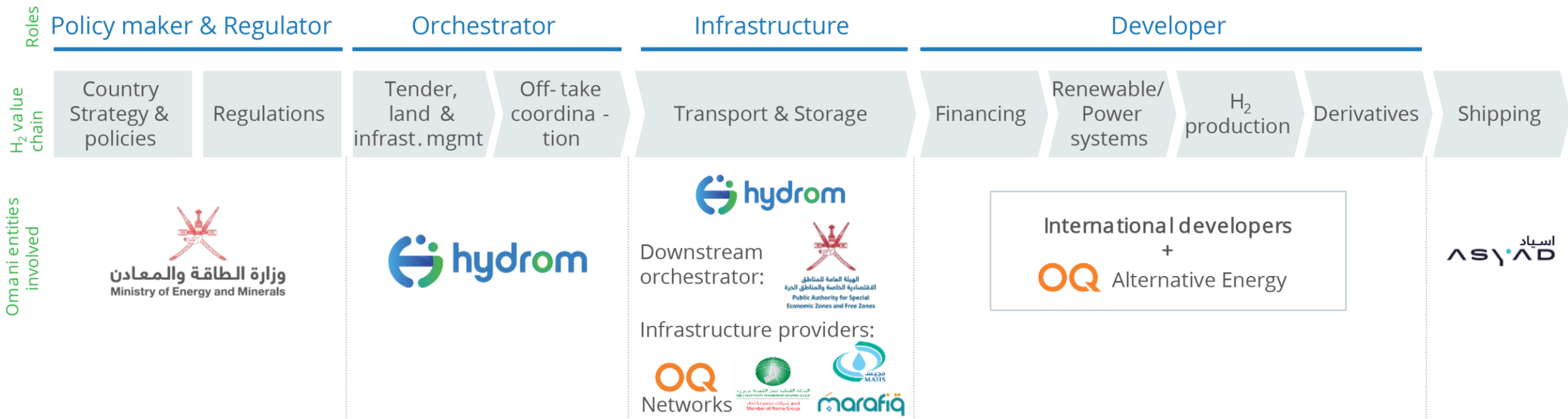


Izquierda: Potencial de la electricidad fotovoltaica en Omán © 2020 Banco Mundial. **Fuente:** [The Potential of Hydrogen Transition for Ports in the Sultanate of Oman](#).



Caso de estudio: Omán

Estructura sectorial clara con cuatro roles diferentes para impulsar la economía del hidrógeno en Omán



COSTO DEL TRANSPORTE MARÍTIMO



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD • IDA

IFC

International
Finance Corporation

MIGA

Multilateral Investment
Guarantee Agency



ESMAP

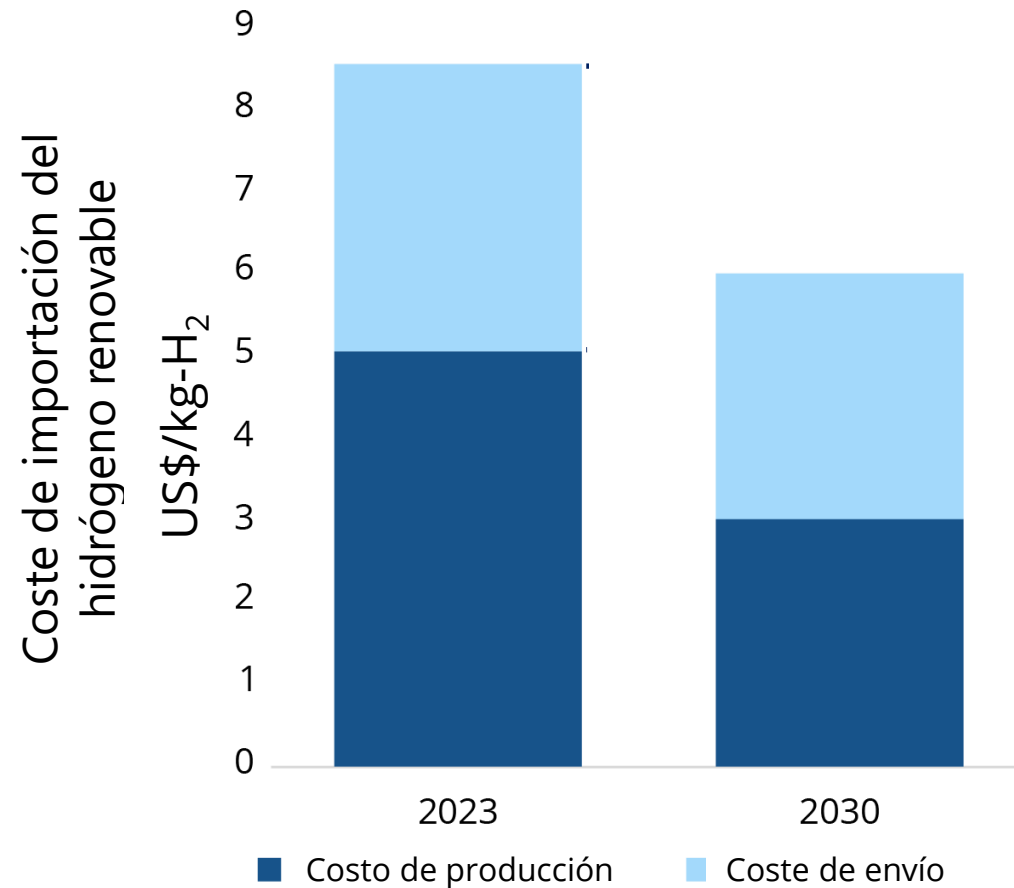
Energy Sector Management
Assistance Program

Mensajes clave

- ✓ Los costos de envío son una parte importante del costo total del suministro.
- ✓ Es más barato enviar productos (amoníaco, metanol, combustible para aviones, etc.) que el hidrógeno.
- ✓ La mejor solución dependerá de la disposición del mercado a pagar por productos específicos.
- ✓ Los productos derivados que se pueden usar tal cual tienen una ventaja.
- ✓ Hoy en día, los esfuerzos se centran en el amoníaco como portador.
- ✓ Esfuerzos para utilizar el amoníaco directamente como combustible (transporte marítimo, generación de energía).
- ✓ La distancia de los mercados es de importancia secundaria en comparación con la calidad de los recursos renovables y el costo de financiamiento.
- ✓ El costo nivelado de la infraestructura no es un buen indicador de su precio.

La importancia del costo de envío para el costo total del suministro

Todo depende del producto en el momento de la entrega



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD • IDA

IFC

International
Finance Corporation

MIGA

Multilateral Investment
Guarantee Agency

Fuente: World Bank, [Scaling Hydrogen Financing for Development](#)



ESMAP

Energy Sector Management
Assistance Program

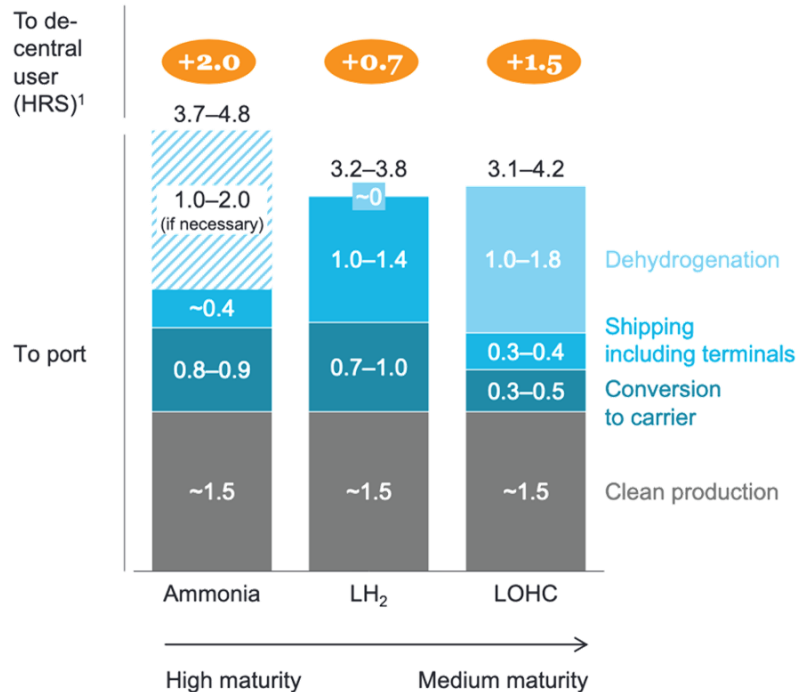
Ejemplo ilustrativo de un puerto que exporta 1,2 millones de toneladas métricas de amoníaco verde al año y que se envía a 8.700 km

Costo de la producción a escala y el transporte marítimo en 2030

Ruta marítima de Arabia Saudita a Europa a través del Canal de Suez, 8.700 km



Costs, USD/kg H₂



- ✓ Las estimaciones de costos de transporte han aumentado recientemente.
- ✓ El estudio Aurora (2023) analizó las importaciones de Chile, Marruecos y Emiratos Árabes Unidos a Europa.
- ✓ Calcula alrededor de US\$ 5/kg costo de transporte para 2030.
- ✓ El amoníaco generalmente es la opción de menor costo, pero para distancias más cortas, el hidrógeno líquido puede ser una opción.

Nota: Supone la distribución líquida (para LH₂) o gaseosa (para amoníaco, LOHC) con camión durante 300 km, también incluye: purificación según el estándar FCEV utilizando un PSA para LOHC y NH₃, pérdidas por evaporación para LH₂, costos de almacenamiento en el puerto y costos operativos de HRS. Aurora (2023) <https://auroraer.com/media/renewable-hydrogen-imports-could-compete-with-eu-production-by-2030/>

Mensajes clave

- ✓ La producción y el comercio de hidrógeno están a punto de crecer, pero más lentamente de lo previsto anteriormente.
- ✓ Es probable que el amoníaco se convierta en un producto clave del hidrógeno para el comercio, complementado con metanol y otros productos derivados del hidrógeno líquido y sólido.
- ✓ El costo de infraestructura y transporte puede ser una parte sustancial del costo total de suministro.
 - ✓ La infraestructura tiene importantes economías de escala.
 - ✓ Se necesita una infraestructura de usuario común.
 - ✓ Los gobiernos y el sector privado tienen un papel que desempeñar en el desarrollo de la infraestructura.
- ✓ Los aspectos técnicos y de diseño del mercado merecen atención
- ✓ El Banco Mundial participa en numerosos proyectos de infraestructura de hidrógeno en todo el mundo.

Gracias



WORLD BANK GROUP

THE WORLD BANK
IBRD • IDA

IFC

International
Finance Corporation

MIGA

Multilateral Investment
Guarantee Agency



ESMAP

Energy Sector Management
Assistance Program