



VII CICLO DE
**ECONOMÍA
CIRCULAR**

**BIOECONOMÍA SOSTENIBLE
Y COMPETITIVA**

7 de OCTUBRE 2026

BIOECONOMÍA Y CCU: USO DEL CO₂ CAPTURADO

Claudio Rodríguez

Director de Servicios Técnicos y Tecnología de Enagás

A dual purpose



Guarantee security of energy supply

an essential service for
the well-being of society

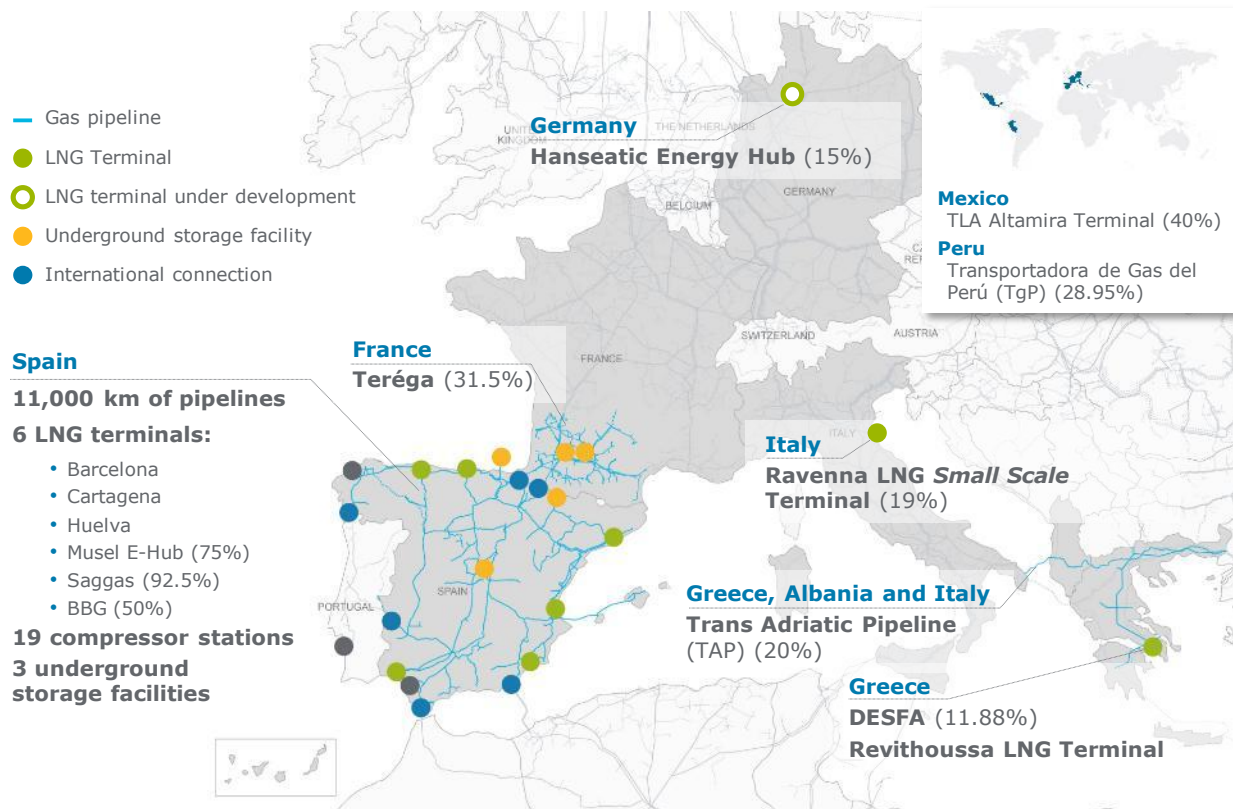


Accelerate the decarbonisation process

driving innovation

European benchmark energy infrastructure operator

- Ownership and operation of natural gas infrastructure in **8 countries**.
- **TSO** (Transmission System Operator) independent from the EU.
- More than **50 years** of transmission network **experience**.
- **Leadership in LNG**: company with more regasification terminals in Europe and third in the world.
- In Spain:
 - **Technical Manager of the Gas System (GTS)**: security of gas supply in the country and issuance of Guarantees of Renewable Origin of gas
 - Provisional Hydrogen Transmission Network Operator (**HTNO**).



Three axes

1

Security of supply and asset rotation

- 100% availability of facilities and security of supply
- Strategic focus on Spain and Europe

2

Efficiency Plan

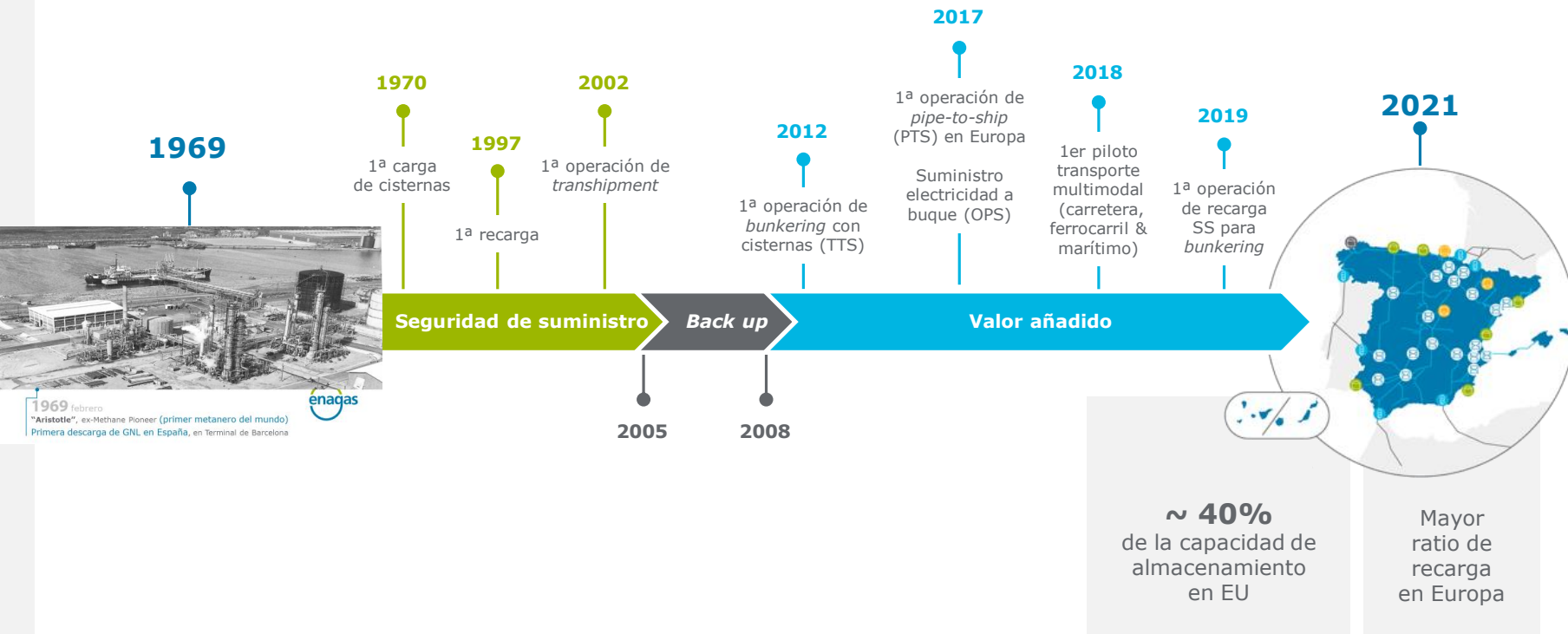
- Transformation plan
- Thorough control of operational and financial expenses

3

Leadership in the development of renewable hydrogen and other molecules related to the energy transition

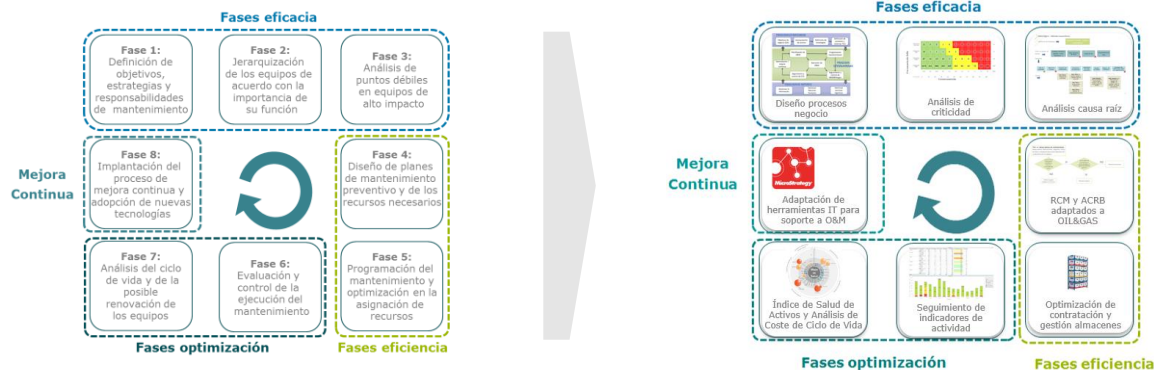
- Decarbonisation and fighting climate change
- Sustainable growth

Un Sistema con más de 50 años en constante evolución



Modelo de Gestión de Activos- Contexto y antecedentes

Pasos significativos previos al proceso de certificación



En 2012 se comienza el **proceso de adaptación e implantación** de un **Modelo Global de Mantenimiento**. Se adapta un estándar genérico a la industria del gas natural para establecer los procesos básicos que establezcan la Gestión de Activos.

Desde 2024 **Certificación conforme a ISO 55001** da por **finalizada la implantación del Modelo de Gestión de Mantenimiento**.



TSO más eficiente de Europa según CEER (Consejo Europeo de Reguladores de Energía)

Modelo Gestión de Activos- Beneficios



Posicionamiento externo como TSO referente: este modelo de gestión de activos, permite situarnos como referentes en el ámbito de gestión de infraestructuras a nivel internacional.



Modelo orientado a riesgos y eficiencia: los requisitos de la 55001 garantizan el equilibrio de riesgo y eficiencia, permitiendo una senda de mejora sostenible.



Visión integral del ciclo de vida que facilita la toma de decisiones: la integración de los procesos desde el diseño hasta el desmantelamiento de los activos permite ser más eficiente y ágil en la gestión del mismo.



Cultura de mejora: la certificación garantiza el proceso de mejora continua necesario para que exista una revisión periódica del modelo de gestión y se continúe adaptando a las necesidades del contexto.



Posicionamiento como HNO: Esta fase de optimización final nos permite tanto sentar las bases para el desarrollo de una propuesta de modelo adecuado a las especificidades de la nueva red de H2, como dar respuesta a un contexto de mayor exigencia aplicable al portfolio de activos actual, tanto desde el punto de vista operativo (variabilidad y picos demanda), incremento de las exigencias regulatorias, así como reorganización de los recursos para atender incorporación progresiva de nuevos activos con especificidades particulares.

Plan de Innovación Corporativo

Palanca clave para lograr la ejecución de la estrategia de la compañía



Propósito Enagás TSO y HTNO de referencia en Europa



Enagás ha actualizado su Modelo de Innovación Corporativa para cubrir los desafíos tecnológicos asociados al papel del hidrógeno y otras moléculas en la transición energética, definiendo los siguientes drivers estratégicos:

Enagás líder de la Transición Energética



Observatorio Tecnológico del Hidrógeno

Misión

Ser un catalizador para el **intercambio de conocimiento técnico** en la **cadena de valor del hidrógeno** e **impulsar los avances de la tecnología** de este vector energético

Visión

Contribuir a que **la tecnología sea un verdadero facilitador** para acelerar el despliegue del hidrógeno verde

Valores

Innovación

Colaboración

Excelencia

Comunicación

Sostenibilidad

Funciones principales

1 Seguimiento para **monitorizar el estado de las tecnologías**

2 anticipar la evolución tecnológica del sector
Identificar las tendencias futuras y

3 **Compartir mejores prácticas** relacionadas con la tecnología y la innovación en este ámbito para favorecer su implementación

Alcance y actividades



Posicionamiento

- Visibilizar **proyectos de I+D+i** relevantes
- **Informar sobre avances tecnológicos de grupos de trabajo europeos**



Divulgación

- **Difundir informes y artículos** destacados
- Compartir **conclusiones y presentaciones de los eventos** del Observatorio.



Eventos y foros

- **Organizar dos eventos técnicos presenciales al año** con *stakeholders* clave de toda la cadena de valor.
- **Workshops en streaming** sobre temas clave de la tecnología del hidrógeno.



Comunicación

- **Notas de prensa** sobre las acciones más relevantes del Observatorio.
- **Actividad en redes sociales** a través de perfil propio en LinkedIn
- **Newsletter trimestral**

El papel de la Universidad Corporativa en el marco de transformación

En 2024 se lanza una **actualización del Plan Estratégico** poniendo foco en cómo **liderar la transición energética** hacia una economía sostenible y descarbonizada con foco en el hidrógeno renovable. En este contexto, la compañía atraviesa un proceso de transformación que requiere preparar a la organización para afrontar nuevos **retos estratégicos**.

En esta línea, se redefine el Plan de Transformación Digital impulsando una visión conjunta de Personas y Digitalización, poniendo **foco en el TALENTO y en contar con las habilidades, capacidades y modelo de liderazgo** como palanca fundamental.



Uce
Universidad
Corporativa
de Enagás

La Universidad Corporativa se convierte en un **vehículo que contribuye a la hora de afrontar** los siguientes **retos estratégicos**:

- Preparar y capacitar a **nuestro equipo humano**, como equipo de **Alto Rendimiento**
- Desplegar un **estilo de liderazgo transformador propio**, con nuestro propósito y valores corporativos
- Impulsar una **cultura común** alineada con la estrategia de la organización
- Atraer y fidelizar el **talento** que necesita la compañía
- Contribuir a la **gestión del conocimiento**
- Reforzar el **posicionamiento de Enagás** como referente técnico en gestión de infraestructuras energética

La **Universidad Corporativa** es una **palanca clave para reforzar la EVP**, impactando en sus distintas dimensiones acompañando al profesional a lo largo de toda su carrera profesional, permitiendo desplegar el **Mapa de Skills** de compañía.

Necesidad y estrategia de desarrollo de infraestructuras



Necesidad industrial

Conectar la captura con una salida viable para el CO₂



Estrategia de hubs

Agregar emisores y coordinar transporte, terminales y almacenamiento

El CCUS una necesidad para la descarbonización

La regulación europea fija urgencia y escala, pero la industria necesita soluciones para emisiones difíciles de abatir.

1. Regulación: con objetivos tangibles



2030

-55% emisiones UE "Fit for 55"
~ 50 MtCO₂/año capacidad de almacenamiento según NZIA"

2040

-90% neto propuesto por la UE
~280 MtCO₂/año capacidad de almacenamiento según el Industrial Carbon Management Strategy (ICMS)

2050

Neutralidad climática
~450 MtCO₂/año capacidad de almacenamiento según el Industrial Carbon Management Strategy (ICMS)

La UE está dimensionando el CO₂ como una nueva cadena industrial, no como soluciones puntuales.

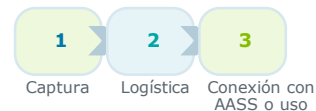
2. Industria y necesidades de captura

- **Sectores difíciles de abatir:** cemento, cal, magnesita dolomia, acero, química, refino, residuos, vidrio....
- **Emisiones de proceso:** la eficiencia y las renovables no eliminan todo el CO₂.
- **Emisiones biogénicas:** capturas de CO₂ biogénico habilitadoras de otros e-fuels.
- **Competitividad:** mantener industria y empleo exige soluciones escalables.
- **Captura aislada = insuficiente:** necesita salida física, contractual y regulatoria.

Capturar CO₂ sin logística no escala.

3. Infraestructura como habilitador

Se requiere coordinar una cadena completa:



Necesidades para desbloquear proyectos:

- Infraestructura compartida y abierta
- Hubs industriales y portuarios
- Acceso a almacenamiento permanente
- Proyectos cooperativos

Cooperar en proyectos que viabilicen infraestructuras compartidas, eficientes y flexibles con diferentes modalidades de transporte integrando toda la cadena de valor

Situación actual de los proyectos europeos

El despliegue del CCS avanza globalmente, pero el ritmo aún no es suficiente

El CCS a escala global en 2025

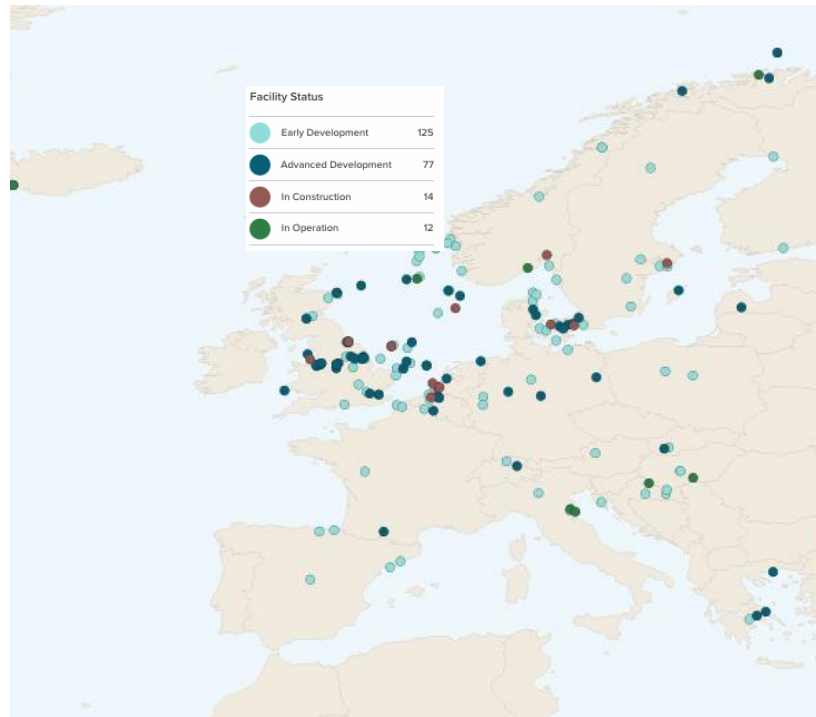
- 77 proyectos en operación → capacidad combinada de 64 Mt/año
- +44 Mt/años adicionales en construcción → la capacidad operativa crecerá un ~70%
- 734 proyectos en pipeline global (+17% vs 2024)

Europa acelera en descarbonización

- Los proyectos de transporte y almacenamiento de CO₂ en Europa se duplicaron entre 2023 y 2024
- Noruega, Reino Unido y Países Bajos lideran con infraestructuras de red integradas
- Primera planta industrial de cemento con CCS ya en operación (Brevik, Noruega)

En España...

- Es necesario el avance rápido y coordinado para lograr la competitividad industrial al nivel de Europa



Fuente: Global Status of CCS 2025 (Global CCS Institute)

Demanda significativa CO₂ en España - Cfl 2023

Resultados de la Call for Interest 2023

Señal de mercado

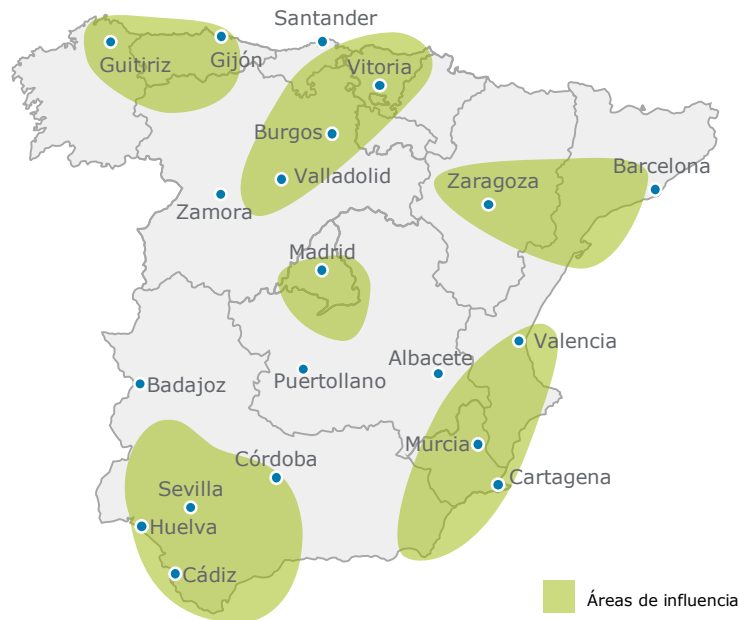
- 2023: Convocatoria H₂ de interés, que incorpora la captura y el transporte de CO₂
- Resultado principal: identificación de áreas y núcleos de mayor interés

Identificación de centros prioritarios para la captura de CO₂

- Resultado principal: mapa con áreas/centros de mayor interés para la captura de CO₂

Perfil sectorial

- >96% del interés en la captura proviene del sector del cemento
- En línea con las emisiones de la industria (~10 Mt/año)



37

empresas
interesadas en la
captura de CO₂

53

Empresas
interesadas en
infraestructuras

10,4

Mt/a, cantidad de
CO₂
para capturar

Distribución geográfica de los Hubs en España



Agregación de demanda para acelerar el despliegue y optimizar costes

Qué es el modelo hubs

- Concentración de proyectos en áreas de influencia
- Agregación de demanda para ganar escala y optimizar la gestión del CO₂
- Optimización de CAPEX y OPEX de infraestructuras
- Sinergias técnicas y eficiencia operativa
- Reducción impacto ambiental

Alcance inicial

~14 Mt/a

de CO₂ potencial a capturar

3

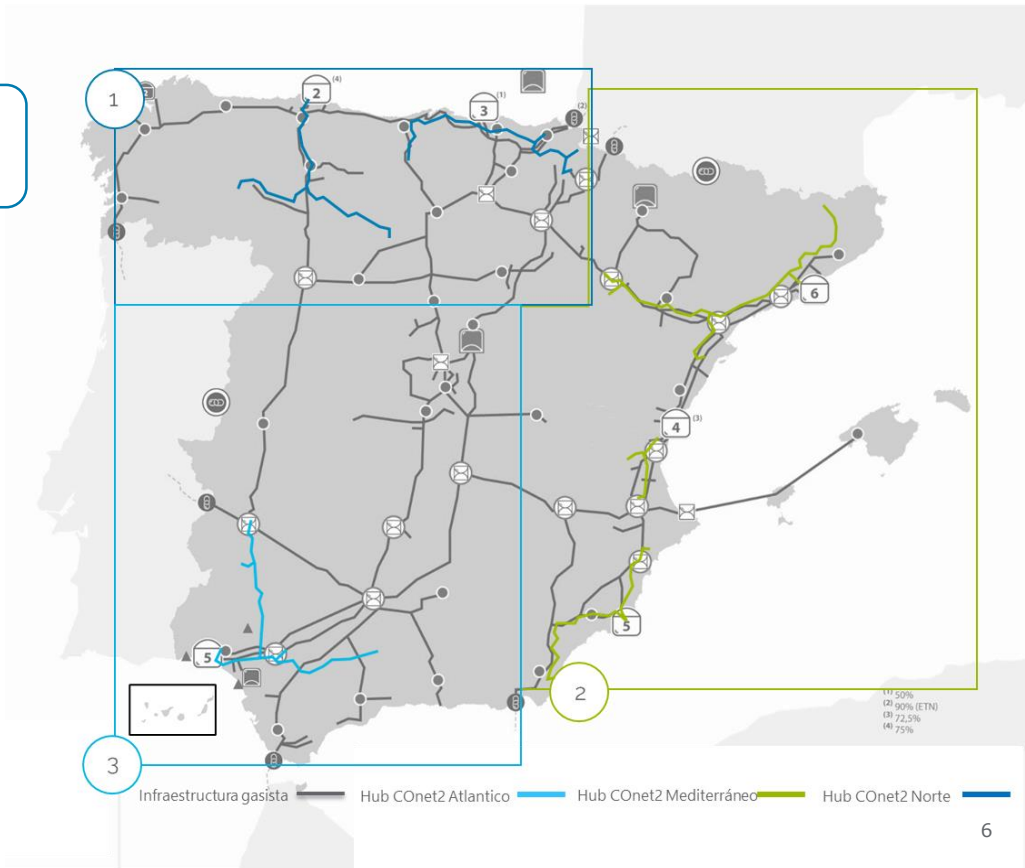
hubs identificados

Hubs prioritarios identificados

- Norte
- Mediterráneo
- Atlántico

Avances

- Enagás ha avanzado en la prefactibilidad de la red y terminales de CO₂ por hubs



COnet2 Norte

Ingenierías conceptuales definidas → Incluido en la lista PCI de la Unión Europea



Reconocido como Proyecto de Interés Común (PCI) → COnet2 Norte figura en la lista oficial de la Unión Europea, lo que facilita el acceso a financiación europea y agiliza los procesos de autorización



Enagás ha desarrollado una ingeniería preconceptual para el **Hub Norte con dos puntos de salida marítima: el Puerto de Bilbao (BBG) y el Puerto de Gijón (El Musel)**, como nodos de agregación, licuefacción y embarque del CO₂ capturado hacia su destino final.

La red diseñada de alrededor de 800km conecta dos corredores principales:

- **Corredor Asturias–Castilla y León** (salida El Musel, Gijón): : desde la zona de Gijón/Avilés, bajando por Oviedo–Astorga–Benavente hasta León y Palencia
- **Corredor País Vasco–Navarra–Cantabria** (salida BBG, Bilbao): se ubica desde Bilbao y se extiende por el corredor Santander–Torrelavega, llegando hasta Pamplona/Navarra.

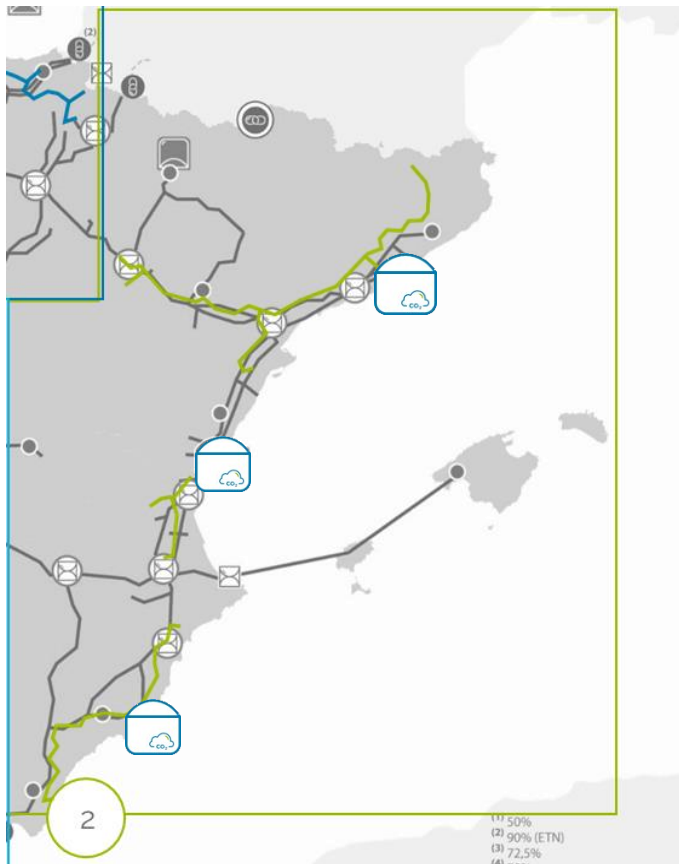
COnet2 Mediterráneo

Ingenierías conceptuales definidas

El **Hub Mediterráneo** integra tres sub-hubs interconectados a lo largo del corredor mediterráneo español, con salidas portuarias en **Barcelona, Tarragona, Valencia (Puerto de Sagunto) y Cartagena.**

La red diseñada con aproximadamente 1.000km integra las siguientes regiones:

- **Cataluña:** Red que recorre el arco desde Zaragoza hasta Girona, bajando por el corredor costero hasta Tarragona, con 9 emisores conectados y ~600 km de red.
- **Levante:** Red que conecta el entorno de Valencia y Castellón con el Puerto de Sagunto y tiene ~135 km de red.
- **Cartagena:** Red que recoge Alicante, Murcia con salida en Cartagena y ~340 km de red.



Proyecto MOSUSOL netCO2

Proyecto de captura y transporte de CO₂ desde la planta de Cementos Molins en Barcelona, hasta el almacenamiento subterráneo que Repsol está desarrollando en Tarragona.

Molins

Proyecto CO2necta

Proyecto de captura y transporte de CO₂ desde la planta de Holcim en Sagunto, hasta la terminal de GNL de SAGGAS, donde se licuarán y cargarán en un barco para su transporte al AASS.

HOLCIM

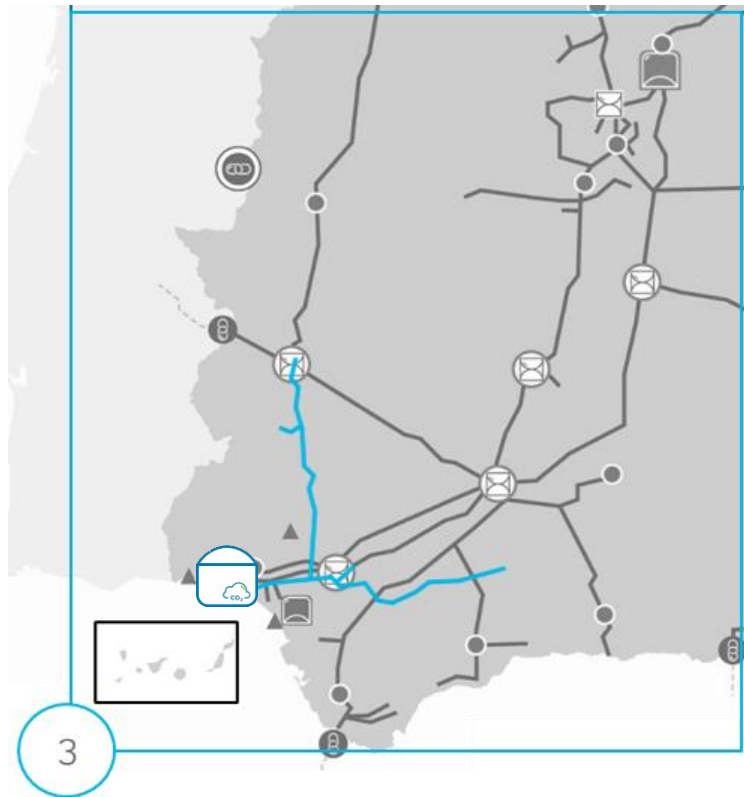
COnet2 Atlántico

Ingenierías conceptuales definidas

Enagás ha desarrollado una ingeniería preconceptual para el **Hub Atlántico con la Terminal GNL de Enagás** como nodo central de agregación del CO₂ capturado.

La red diseñada de alrededor de 400km conecta:

- **Desde el norte:** instalaciones en Mérida (Extremadura) y la zona de Badajoz.
- **Desde el este:** Corredor hasta provincia de Sevilla.
- **Desde el entorno de Huelva:** instalaciones locales conectadas a la planta de GNL.



Proyecto piloto - Shaky

Piloto de la tecnología patentada de Enagás- Cold Box- que permite licuefactar el CO₂ en la planta de regasificación de Huelva aplicando el frío residual del GNL.



Conet2 Sea

Obtenido Innovation Fund para el desarrollo de un barco que permita el transporte de CO₂ permitiendo la conexión de los diferentes Hubs con el AASS.

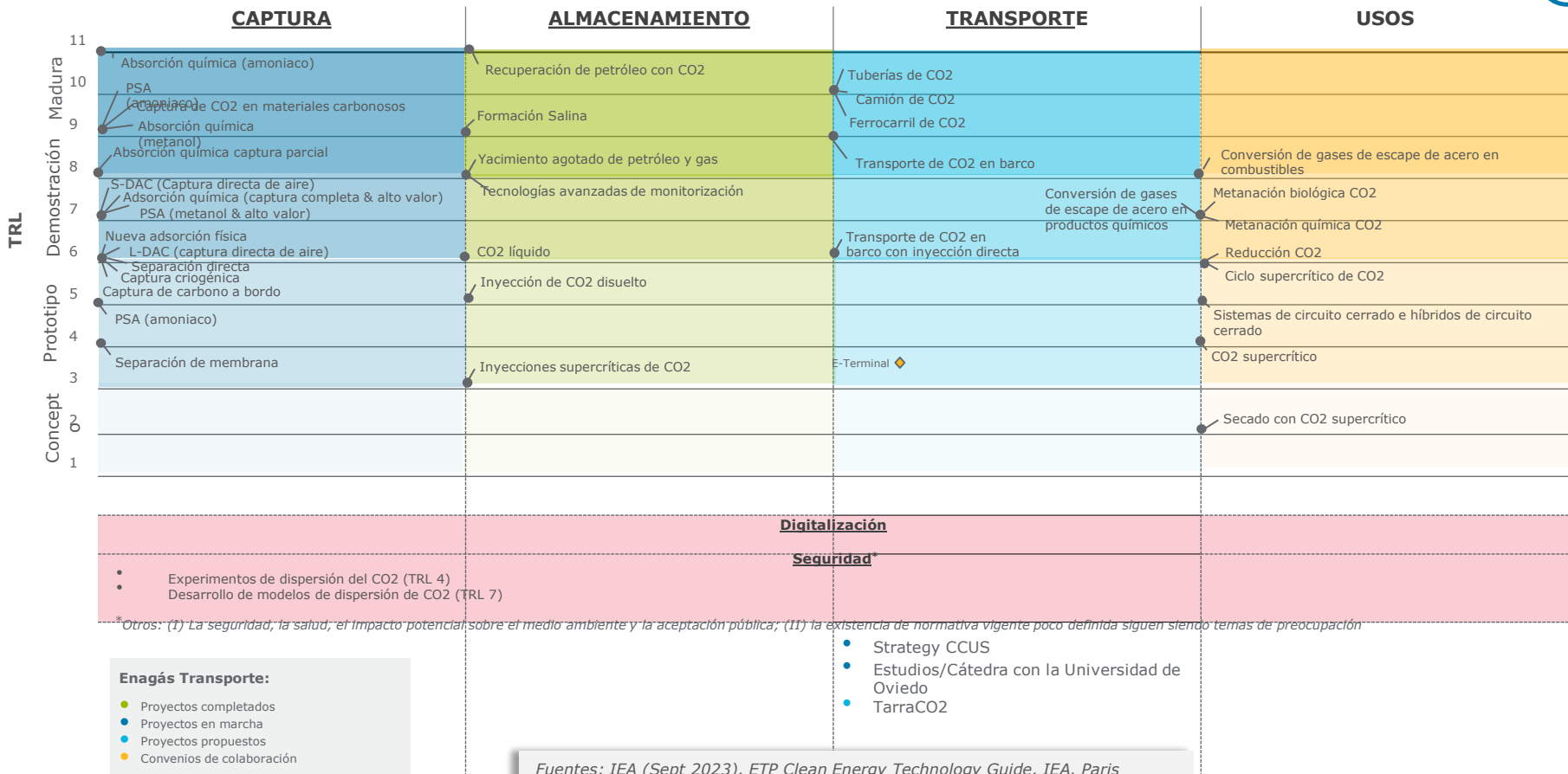




Tecnologías disponibles

Experiencia de equipos y materiales
en servicios concretos

Matriz GAPs Tecnológicos CO2



De lo Necesario a lo Suficiente



La madurez tecnológica general requiere validar las mezclas y condiciones reales de cada red

Variables de sensibilidad

- ❑ Tipo, concentración y combinación de impurezas, según combustible y captura. Mezclas de distintas fuentes
- ❑ Presión, temperatura, caudal y orografía. Transitorios y condiciones extremas
- ❑ Interacciones y reacciones sin validación suficiente para todos los escenarios

Riesgos añadidos de la fase densa

- ❑ Mayor densidad y capacidad, con posible ahorro de inversión inicial
- ❑ Orografía y transitorios: bifases, fases acuosas corrosivas y comportamiento particular de su descompresión.
- ❑ El trazado y las zonas pobladas exigen protección. La operación puede elevar CAPEX y TOTEX

Lo suficiente: validar márgenes operativos y riesgos específicos de cada proyecto.

Efectos básicos de las impurezas

Qué provoca cada familia de impurezas y dónde se controla

Impureza	Familia	Efecto principal	Control habitual
H ₂ O	No negociable	Corrosión por ácido carbónico, formación de hidratos y condensados	Deshidratación y control continuo del punto de rocío
H ₂ S	No negociable	Con agua líquida: corrosión localizada y fisuración inducida por hidrógeno	Límite estricto y control del contenido de agua
NO _x y SO _x	No negociable	Reaccionan con el agua presente y forman ácidos	Tratamiento en captura y límites de composición
Ácidos (HCl, H ₂ SO ₄ , HBr)	No negociable	Corrosión incluso en el orden de ppm; con sales, corrosión localizada severa	Eliminación en origen y vigilancia de trazas
H ₂	No negociable	Pérdida de tenacidad del acero, crecimiento de grietas e inflamabilidad en venteos	Límite de composición y monitorización de venteos
No condensables (N ₂ , O ₂ , Ar)	Negociable	Alteran la envolvente de fases y la descompresión; limitan la presión máxima	Límite combinado y mayor presión mínima
Alcoholes (metanol, etanol)	Negociable	Se acumulan en la sección criogénica y reducen la calidad del LCO ₂	Stripping, adsorción o columnas de carbón activo

Los límites concretos dependen de la especificación de red adoptada y de la tecnología de captura de cada emisor.

Catálogo de incertidumbres

Área	GAP técnico principal	Pregunta de diseño
1. Thermodynamics	Incertidumbre de propiedades con mezclas reales	¿Dónde están realmente bubble point, dew point y límites de dos fases?
2. Repurposing	Falta de metodología armonizada	¿Qué activos pueden reutilizarse, bajo qué derating y con qué medidas compensatorias?
3. Monitoring and inspection	Detección, medición e interpretación	¿Podemos detectar off-spec, corrosión localizada y fisuración antes de perder margen?
4. Flow assurance	Transitorios insuficientemente validados	¿Qué ocurre durante start-up, shutdown, low flow, blowdown o pérdida de compresión?
5. Operations	Escasa experiencia europea de red multiusuario	¿Cómo se opera una red variable manteniendo fase, calidad y disponibilidad?
6. Impurities	Efectos cruzados y formación de fases corrosivas	¿Es seguro evaluar cada impureza aisladamente?
7. Corrosion	Modelos poco validados para transporte	¿Podemos predecir corrosión bajo mezcla real, agua variable y transitorios?
8. Fracture control	Decompresión CO_2 y running ductile fracture	¿Es suficiente la toughness del material y qué criterio de arrest debe aplicarse?



GAPs por resolver

Integridad, seguridad y
comportamiento de mezclas reales



Evidencia para el diseño

Ensayos, metrología y modelos con
límites de aplicación conocidos

CO₂ Metering & Quality

CO₂ metering requires quality specifications and validated measurement technologies for transport and compressor station operation.

1. CO₂ Purity & Quality Specifications

Review **CO₂ quality and purity** requirements and their implications for transport and compressor station operation.

Control **CO₂ composition and impurities** to protect equipment integrity and limit corrosion, phase changes and reliability risks.

2. CO₂ Metrology – Gap Analysis

Assess the **maturity of CO₂ measurement technologies**, covering **measurement standards, flow-metering technologies, CO₂ quality measurement, calibration laboratories and equations of state**.

Main findings:

- **Flow measurement: Coriolis** is currently the only technology with type approval for fiscal CO₂ measurement. **Ultrasonic and turbine meters** may represent alternatives under certain conditions. An uncertainty of less than **1%** is generally required
- **CO₂ quality measurement: Gas chromatography** is currently considered the most suitable technology for measuring CO₂ and its main components, although its relatively high cost is a limitation. Alternative technologies, including **Raman, infrared and AI/correlation-based systems**, are under development
- **Trace components:** Several measurement technologies are available, but the availability of **SI-traceable reference standards** remains limited
- **Equation of State: GERG2008** requires further validation for some applications.
- **Standards:** While several standards are already available for **flow measurement**, the standardization framework for **CO₂ quality** is still less mature

Metering and CO₂ Quality – Evidencias en desarrollo



La aplicación a una red exige conocer el alcance y los límites de cada resultado

CO₂NVERGE

Efectos de las impurezas sobre integridad y operación

Evidencias para orientar especificaciones y estándares

Alcance y TRL final pendientes de confirmación

NPL

Impurezas reactivas y evidencia para fijar límites de composición

Patrones trazables, muestreo y análisis de pureza

Aplicación a criterios de integridad

MetCCUS

Caudal y medición fiscal, calidad y muestreo

Propiedades termodinámicas, impurezas y corrosión

Base metrológica para futuras especificaciones

Pipelines - GAPS



Gas Phase CO₂ Gap Analysis

Gas-phase CO₂ pipelines require the following technical assessments and actions:

- **Main results and conclusions**
 - **Gas-phase CO₂ transport** can use **natural gas (NG) and liquid pipeline standards**, complemented by **EN ISO 27913** for fracture arrest and internal corrosion.
 - For **repurposed pipelines**, qualify internal coatings and materials for CO₂, particularly at low temperatures and during decompression.
 - **Strict CO₂ composition limits and continuous monitoring** prevent corrosion and unwanted phase changes.
 - **Flow assurance and fracture control** require assessments of composition, pressure, temperature and pipeline characteristics.
 - Remaining gaps include **corrosion-rate prediction and management**, needed additional experimental data to define reliable corrections to BTCM for gas-phase CO₂, and internal coating behaviour and detachment.
 - **EN ISO 27913** has been adopted as a European Standard (EN) through **CEN/TC 474**.
- **Additional requirements compared with NG**
 - Verification of **internal coating compatibility with CO₂**, including behaviour during decompression.
 - **External insulation** where required to prevent condensation.
 - Materials qualified for **low steady-state and transient temperatures**.
 - Defined **composition limits** for water, H₂S, NO_x and SO_x, supported by appropriate monitoring.
 - **Flow assurance assessments** considering composition, pressure, temperature and pipeline topography to minimize phase changes.
 - Specific **wall-thickness and fracture-control** considerations.
 - Verification of **non-metallic material compatibility** with CO₂ (Rapid Gas Decompression, RGD).
- **Key gaps and next steps**
 - Develop and validate **corrosion-rate prediction models**, with practical monitoring and response strategies.
 - **Validate the BTCM for gas-phase CO₂**. Pending validation, adopt a conservative **100% CO₂ assumption for Charpy-V testing**.
 - Assess **internal coatings in repurposed pipelines** and mitigate coating detachment and debris generation.

Pipelines – Evidencias en desarrollo



Aplicabilidad de los modelos de corrosión

Evaluación para un operador de infraestructura de CO₂

Modelo	Características	Aplicabilidad
NORSOK M-506	CO ₂ como único agente corrosivo; no considera algunas impurezas según EN ISO 27913	No válido
De Waard'95	No considera algunas impurezas según EN ISO 27913	No válido
BP Cassandra	No considera algunas impurezas según EN ISO 27913	No válido
HydroCor	Considera numerosas impurezas, pero no ha sido desarrollado conforme a EN ISO 27913	Adecuado
Corplus	Uso restringido, aunque considera algunas impurezas según EN ISO 27913	No válido
Predict	Simulaciones con múltiples variables (CO ₂ y H ₂ S), pero no desarrollado según EN ISO 27913	Adecuado
ECE	Simulaciones termodinámicas en fases gaseosa y densa, pero no especifica los rangos de impureza analizados	Adecuado
Redes neuronales	Predicen corrosión por CO ₂ a alta presión; a mayor presión y temperatura media, mayor tasa; a mayor pH, menor tasa	En desarrollo

Criterio de selección: cobertura del rango real de impurezas y trazabilidad frente a EN ISO 27913, por encima de la sofisticación del modelo.



Corrosion AI

[Más información](#)

El proyecto CorrosionAI, desarrollado junto con Repsol en el marco de All4Zero, **busca validar una herramienta avanzada para predecir la corrosión interna en infraestructuras de transporte de CO₂** bajo condiciones reales de operación. La solución combina modelos físico-químicos y *machine learning* para analizar el efecto de la composición de la corriente, impurezas, presión, temperatura y materiales, permitiendo estimar la vida útil de los ductos, identificar escenarios de riesgo y apoyar el diseño seguro tanto de nuevas infraestructuras como de gasoductos susceptibles de reconversión para CO₂.

CO₂ Safety: Key Findings

1. CO₂ Exposure and Physiological Hazards

- CO₂ exposure can cause hypercapnia, intoxication and asphyxiation.
- Oxygen monitoring alone is insufficient. Use CO₂ detection, ventilation, exposure limits, alarms and safety procedures.

2. CO₂ Transport Safety Requirements

Technical, regulatory and operational requirements:

- CO₂ transport phase: Assess gaseous and dense/supercritical operation.
- Release and dispersion: Test and validate models for heavier-than-air behaviour and cryogenic effects.
- Risk assessment: Include toxicity, anoxia, thermodynamic behaviour and internal corrosion.
- Standards and regulation: Harmonization remains a gap. Adapt natural-gas frameworks, with EN ISO 27913 as a reference.
- Emergency response: Define CO₂ procedures, training and breathing apparatus, supported by validated dispersion models.
- Depressurization and venting: Standardize procedures for temperature reduction and phase changes.
- Leak detection: Monitor CO₂ continuously, especially in enclosed and low-lying areas.
- CO₂ impurities: Define composition specifications and address corrosion risks from water, NO_x and SO_x.
- Cross-cutting actions: Harmonize standards and risk methods, validate models, and define operational and emergency procedures.

3. CO₂ Compressor Station Depressurization

- Assess overpressure, fire, leaks, corrosion and freezing in a depressurization risk and requirements matrix.
- Evaluate temperature drops, phase transitions and gas/dense-phase differences for safety and operating procedures.

Safety – Evidencias en desarrollo



SkyLark

Carbon Dioxide Transportation Safety Research

[Más información](#)

El proyecto SKYLARK tiene como objetivo **mejorar la seguridad de las futuras infraestructuras de transporte de CO₂** mediante ensayos experimentales a gran escala y la validación de modelos de dispersión. El proyecto **estudia el comportamiento del CO₂ ante roturas, fugas y venteos en tuberías**, incluyendo su dispersión en terrenos complejos, para generar datos de referencia que permitan evaluar mejor los riesgos, validar herramientas de modelización y desarrollar protocolos de respuesta ante emergencias aplicables al diseño y operación segura de redes de transporte de CO₂.

Otras líneas transversales a desarrollar

Líneas propuestas para integrar la vigilancia de la corriente y del trazado:

- CEN/TC 451 – Asset Management: ISO 55001; EN16348
- CEN/TC 319 – Maintenance: EN 16648 (vs ISO 55001) y EN 60300/60606 (Confiabilidad y Mantenibilidad)

Mantenibilidad digital

- ☐ Activo nativo digital desde el diseño
- ☐ Simulación y validación en tiempo real
- ☐ Integrar impurezas, flujo, evolución de corrosión y condiciones del trazado

Integridad del trazado

- ☐ Fibra óptica y vigilancia satelital ante amenazas externas y cambios del terreno
- ☐ Drones O&M: inspección y vigilancia autónomas, con datos en tiempo real

Resiliencia climática

- ☐ Análisis de vulnerabilidad climática del trazado

Desarrollo sistémico



Reglas compartidas

Normas y contratos para operar una cadena conectada



Conocimiento operativo

Cooperación sectorial y aprendizaje de los primeros proyectos

Desarrollo Normativo



La cobertura normativa del ciclo de vida del CO₂ sigue incompleta. Persisten ámbitos de metrología y transporte licuado sin proyecto de norma, reflejo de la madurez tecnológica y de su traslado a la normalización.

La adopción en España de los marcos europeos también está en desarrollo. Los comités de referencia son ISO/TC 265, CEN/TC 474 y, desde 2026, CTN-UNE 337.

Referencia	Tipo	Alcance	Uso en el proyecto
ISO 27913:2024 EN ISO 27913:2025	Norma	Sistemas de transporte por tubería	Diseño, calidad y conversión de activos
ISO/TR 27921:2020	Informe técnico	Composición de la corriente e impurezas	Evaluar efectos sobre la cadena CCS
ISO/TR 27925:2023	Informe técnico	Flow assurance de la cadena CCS	Fenómenos, límites de herramientas y medidas

Los informes técnicos aportan conocimiento y orientación. No equivalen a una norma de requisitos.

Desarrollo Normativo



Referencia	Ámbito	Aportación	Estado
prEN 18397:2026	Calidad	Composición para integridad de tuberías de acero al carbono	Proyecto en consulta
prEN 18329:2026	Muestreo y análisis	Medición de composición en transporte por tubería	Proyecto de norma

prEN identifica un proyecto, no una norma aprobada. Estado consultado en octubre de 2026.

Desarrollo Regulatorio

El desarrollo regulatorio es aún más escaso, en parte por la limitada experiencia de proyectos que sirve de referencia para su tramitación. Alemania, Italia y Dinamarca actúan como laboratorios regulatorios cuyos enfoques podrían anticipar buena parte del futuro marco europeo de redes de CO₂. El guion identifica tres modelos:

Modelo	Países	Situación
Despliegue mediante nueva legislación específica	Italia, Alemania, Dinamarca	Marcos regulatorios nuevos o en profunda revisión
Despliegue mediante adaptación de legislación existente	Países Bajos, Noruega	Menos cambios legislativos, más foco en proyectos, soluciones mas pragmáticas
Situación de espera regulatoria	España, Portugal, varios países mediterráneos	Existencia de base legal pero escaso desarrollo reglamentario

GERG

Identificar incertidumbres

Definir hojas de ruta de investigación

Coordinar proyectos prenormativos

Conectar operadores, laboratorios e investigación

Trasladar resultados a la normalización

H2Gar

Necesidades de operadores organizadas por activo y orientadas al diseño

WG1: tuberías

WG2: compresión

WG3: separación

WG4: medición

WG5: seguridad

WG6: almacenamiento subterráneo



Fabricantes



Sinergias con las plantas de GNL

Reutilizar conocimiento, activos y cadena de suministro

- **Base tecnológica compartida:** la licuación, el almacenamiento criogénico y la carga a buque proceden directamente de la práctica de GNL y GLP
- **Terminales multimolécula:** adaptar las plantas de regasificación existentes para operar también como terminales de CO₂
- **Reutilización de activos portuarios:** pantalanés, brazos de carga, sistemas de liberación de emergencia y áreas de tanques
- **Transferencia de procedimientos operativos:** gestión del vapor (boil-off), control de nivel de llenado y protocolos de carga
- **Capacidades de la organización:** personal formado en operación criogénica y en gestión de terminales marítimas
- **Cadena de suministro común:** los mismos fabricantes de intercambiadores, compresores, bombas criogénicas y brazos de carga
- **Diferencias que hay que gestionar:** el CO₂ opera en un rango de presión y temperatura distinto y presenta riesgo de formación de hielo seco en la despresurización

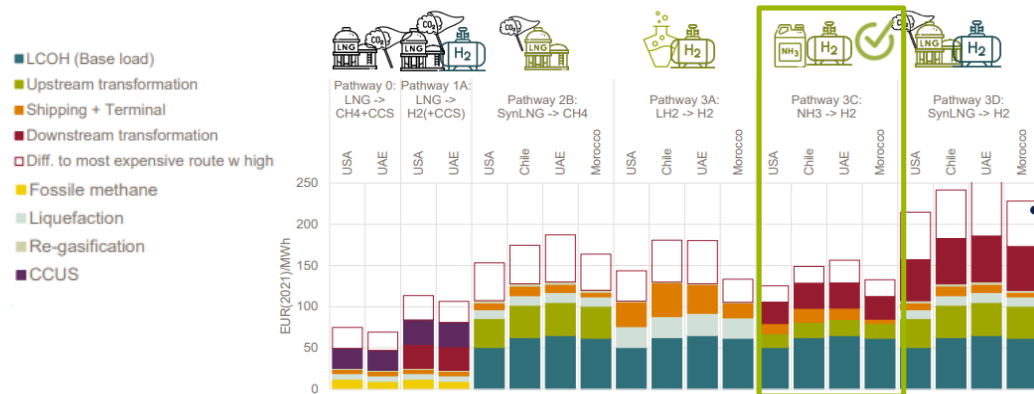
La sinergia con GNL es la principal palanca para acortar plazos y reducir el CAPEX de las terminales de CO₂.

Estudio GLE. Nuevas moléculas descarbonizadas

Principales pathways en Europa

- DNV/Frontier en su informe para GLE ha analizado diferentes pathways de importación para Europa, concluyendo que el *pathway* de importación de **NH3 es el mejor posicionado** (como también lo muestra el nº de proyectos PCIs).
- El informe sólo plantea importaciones desde países no europeos (USA, UAE, Chile o Marruecos). Teniendo en cuenta que **España** tendrá costes de producción de H2/NH3 competitivos y optimiza los costes de shipping, tendríamos una **ventaja competitiva respecto otros países**.
- Además, acorde a RBC, **el amoniaco está mejor posicionado que el metanol** como combustible marítimo en el largo plazo.

Rango de costes resultantes (2040) para algunos pathways



Fuente: DNV/Frontier

Comparativa metanol vs amoniaco para bunkering

	Methanol	Ammonia
Energy density		
Technological maturity		
Local emissions		
GHG emissions		
Energy cost		
Capital cost		
Bunkering availability		
Regulatory		
Production capacity		
Commercial readiness		
Short-term demand prospects		
Long-term demand prospects		

Fuente: RBC Capital Markets estimates

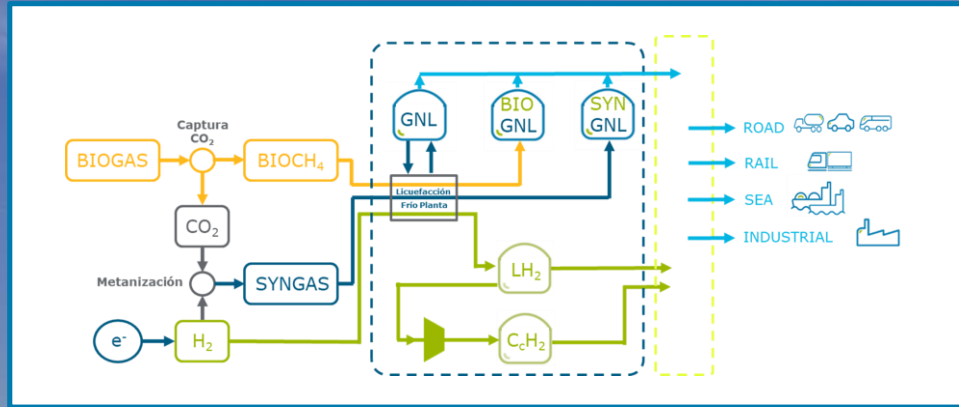
Por tanto, las moléculas con mayor potencial de desarrollo a priori son:



- ✓ **CO2** por su importancia a nivel descarbonización, y su uso para el desarrollo del metanol.
- ✓ **NH3** al tener un gran potencial de desarrollo de dos tipos de corredores, uno vinculado al bunkering, y otro como carrier de H2.

Future LNG Terminals integrated in carbon-neutral ports

Different **Pathways towards decarbonisation**, where existing **LNG plants play a fundamental role** in reducing the **cost of abatement**, compared to other technologies with all the infrastructure and logistics still to be developed (time, resources and money...).



**Over
40%
WTT
savings**

**CAPEX
savings
(up to 25%
LNG
Terminal
Capex)**

**LNG as a licuefaction energy
(up to):**

- 100% NH₃ y CO₂
- 90% bioLNG
- 35% LH₂

**OPEX
savings**

Fortalezas del porfolio de GNL de Enagás



La mayor **capacidad de almacenamiento de moléculas en estado criogénico** de la UE.



La mayor experiencia **adaptando y flexibilizando la logística**. Iniciado en 2014 a través del proyecto CORE LNG Hive y finalizado en 2023 con la puesta en marcha de la terminal de El Musel como plataforma logística.



La mayor experiencia en el desarrollo de **proyectos de aprovechamiento del frío** de las terminales de GNL (E4E):

- **Terminal GNL de Barcelona:** suministro de frío industrial a Mercabarna y al Puerto.
- **Terminal de GNL de Huelva:** suministro de frío para el sector agroalimentario.



La primera certificación UE para la conversión de tanques de GNL en NH3.



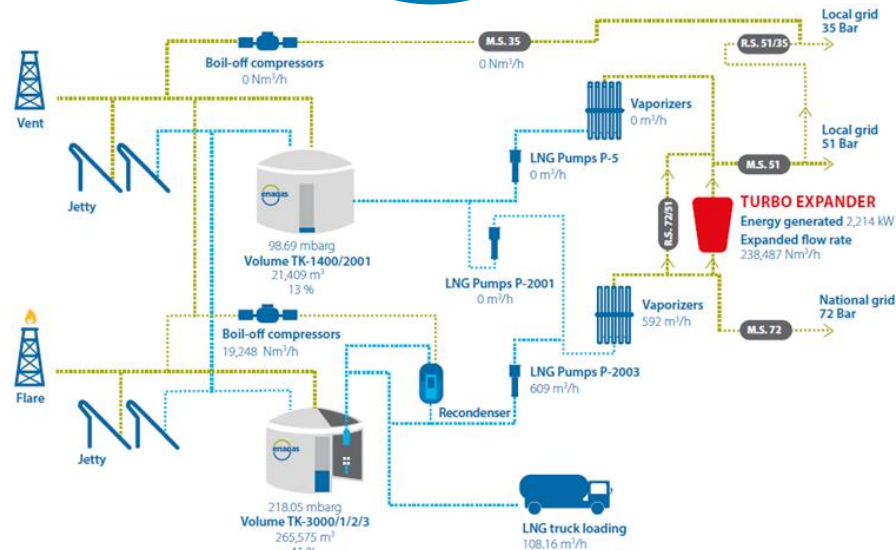
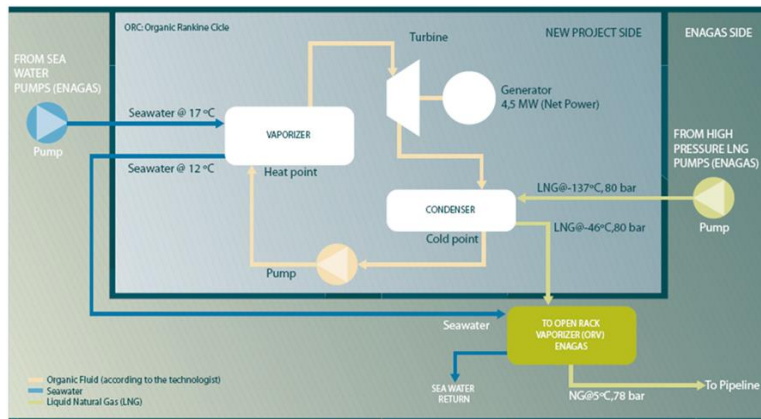
En desarrollo Plan de certificación de terminales para potenciar **la disponibilidad de bioGNL** mediante “*Equivalence liquefaction*” **Primer paso para la terminal multimolécula**

Adaptación económica sostenible y medioambiental



21%

Consumo eléctrico en 2022



Adaptación económica sostenible y medioambiental



Extensión de la sostenibilidad al entorno portuario.

Proyecto suministro frío:

- Es un proyecto emblemático por su relevancia medioambiental y de innovación tecnológica.
- Constituye la **mayor red de frío** de la ciudad de Barcelona
- Permite **ahorro en las emisiones de CO2** del 90% (12 kTn/año), **ahorro económico** del 50% y **ahorro eléctrico** de 500 MWe en la planta de Barcelona.

Participantes:



Datos técnicos:



1º escalón: **15 MWf**, hasta **131 GWh** de frío
2º escalón: Posibilidad de ampliar otros 15 MWf



-20 °C



Ahorro **12.000 Tn CO2/año**



Ahorro eléctrico: **500 MWe**

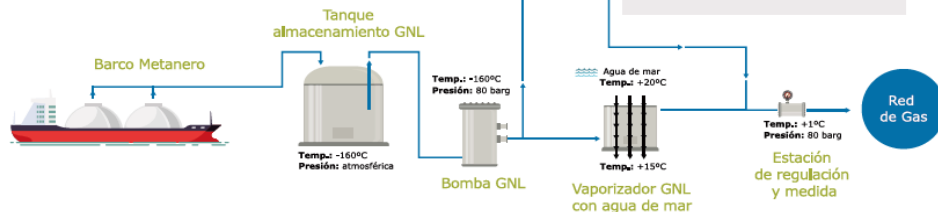
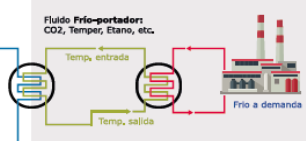


10,2 M €

Cadena de valor:



efficiency SYSTEM



- **The main challenge is not proving that CO₂ can be transported by pipeline. It already is. The challenge is demonstrating that emerging European networks can remain safe, available and economically viable while receiving variable streams from multiple emitters, operating across changing pressure and temperature conditions, and interfacing with terminals, ships and storage sites.**
- **This requires moving beyond equipment TRLs towards system readiness and operational readiness. The remaining gaps are concentrated at the interfaces: between purity and corrosion, thermodynamics and operability, fracture control and decompression, inspection and fitness for service, and technical design and commercial risk allocation.**
- **Europe now needs for CO₂ what collaborative initiatives have begun to create for hydrogen: an operator-led knowledge ecosystem capable of translating research, testing and early-project experience into harmonised specifications, validated models, operating practices and trusted integrity-management frameworks.**

Thank
you

