

# BIENVENIDAS/OS A: TECNOLOGÍAS DE CAPTURA DE CARBONO Y SU POTENCIAL EN CHILE.



# Contenidos

1. **Objetivo: combustibles sintéticos renovables y CO<sub>2</sub> inevitable**
2. **Alternativas tecnológicas para la captura de CO<sub>2</sub>**
3. **Captura desde fuentes puntuales inevitables y directa desde el aire (DAC)**
4. **Impactos ambientales**
5. **Identificación de fuentes inevitables en Chile**
6. **Industrias con potencial de captura de CO<sub>2</sub>**
7. **Costos de captura y transporte de CO<sub>2</sub>**
8. **Conclusiones**



# Preguntas por resolver

¿Qué **tecnologías** existen actualmente para capturar CO<sub>2</sub> directamente desde el aire o desde fuentes puntuales?

¿Qué **condiciones** se deben cumplir para capturar CO<sub>2</sub> desde fuentes puntuales y **producir combustibles sintéticos sustentables**?

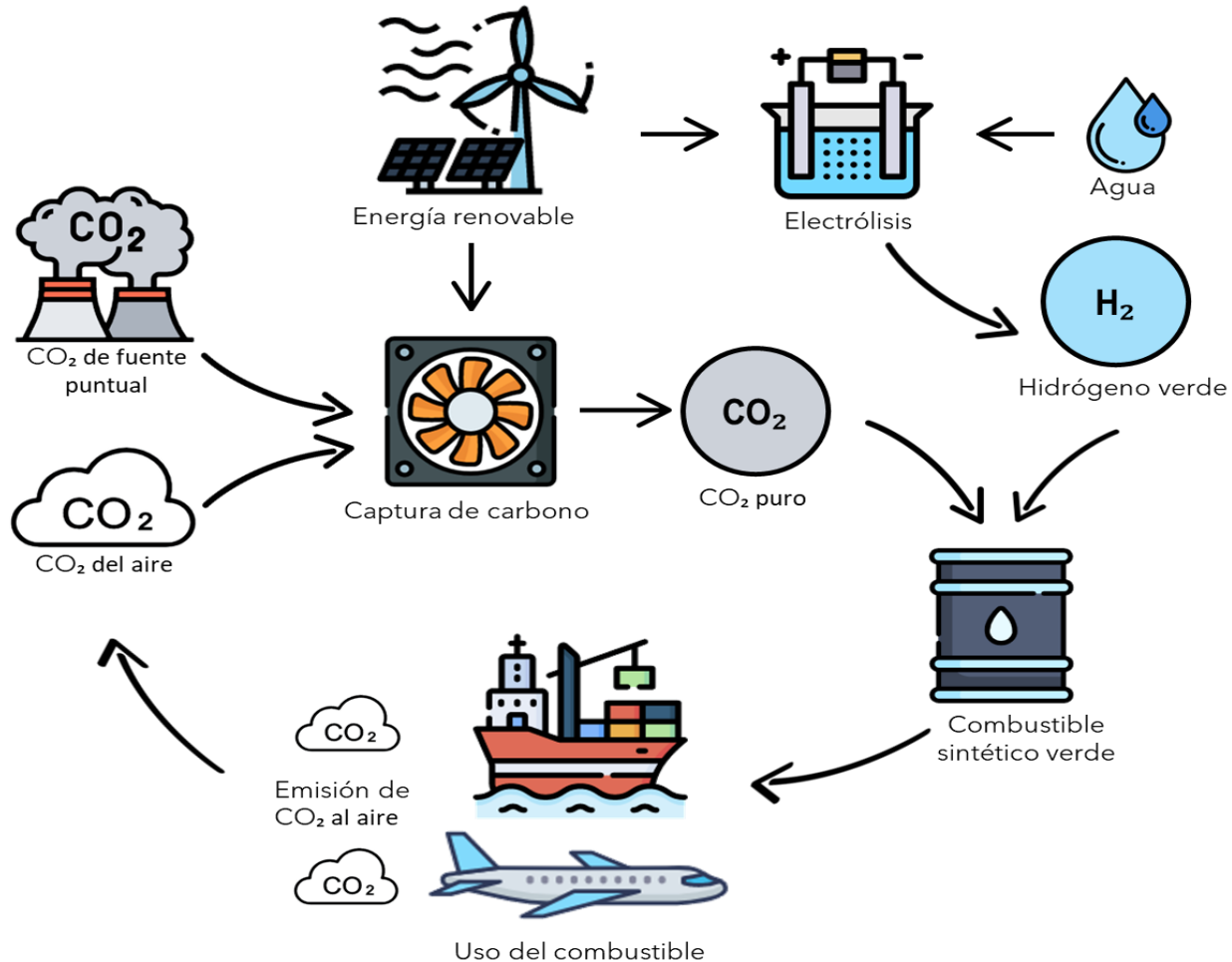
¿**Qué tanto CO<sub>2</sub>** se podría capturar desde fuentes puntuales en Chile?

¿Cuáles son los **sectores industriales en donde se podría capturar CO<sub>2</sub>** para la producción de combustibles sintéticos sustentables?

¿Existe potencial para la producción de **combustibles sintéticos sustentables** en Chile?



# Combustibles sintéticos sustentables | Ciclo del CO<sub>2</sub> capturado



- El CO<sub>2</sub> capturado es devuelto a la atmósfera cuando se usa el combustible sintético.
- Es necesario certificar el combustible sintético como sustentables.
- Se debe certificar la **contabilización** de las emisiones.
- Se debe **asegurar la sustentabilidad** del CO<sub>2</sub> utilizado.

Asegurar la **baja intensidad de las emisiones** del proceso

Certificar la **inevitabilidad** del CO<sub>2</sub> capturado.





# Tipos de fuentes de CO<sub>2</sub> | Fuentes inevitables

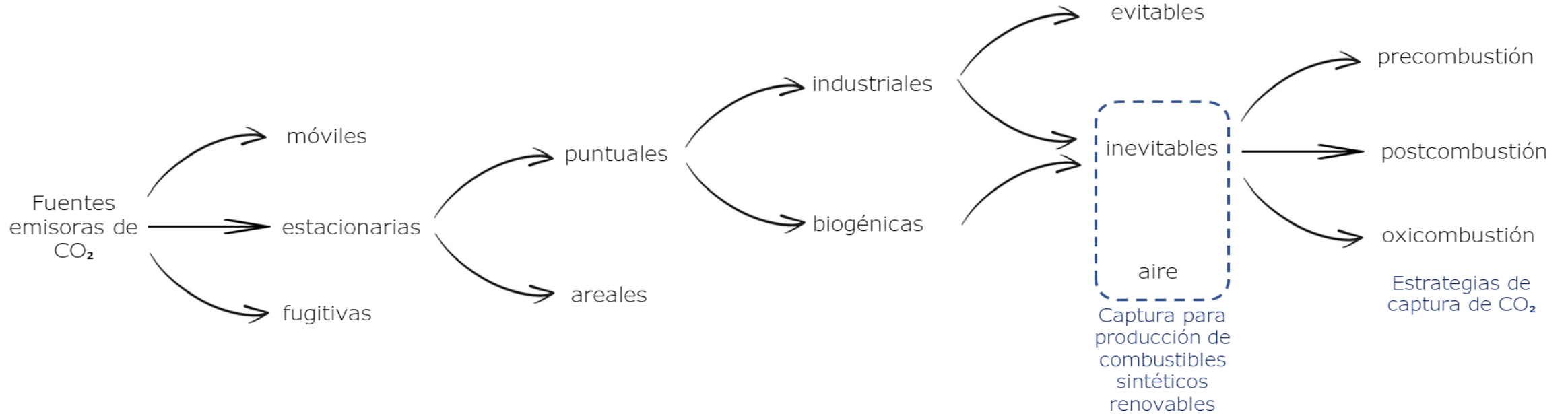


“Son aquellas emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a procesos que no pueden ser reemplazados ni por otros procesos que utilicen energéticos renovables, ni por procesos químicos alternativos, ni se pueden evitar mediante una optimización de este. Es decir, **una fuente inevitable es aquella que no puede ser reemplazada, en el contexto actual, por una alternativa menos emisora**, ya que no existen, no están disponibles, o tienen un potencial limitado los procesos, productos o recursos alternativos. **La clasificación de inevitable varía en el tiempo**, a medida que avances tecnológicos permiten el reemplazo de la fuente.”

Fuente: “Unavoidable production of CO<sub>2</sub> in a climate-neutral primary sector in North Rhine-Westphalia: definition and criteria”; IN4climate.NRW; 2020



# Tipos de fuentes de CO<sub>2</sub> | Fuentes inevitables



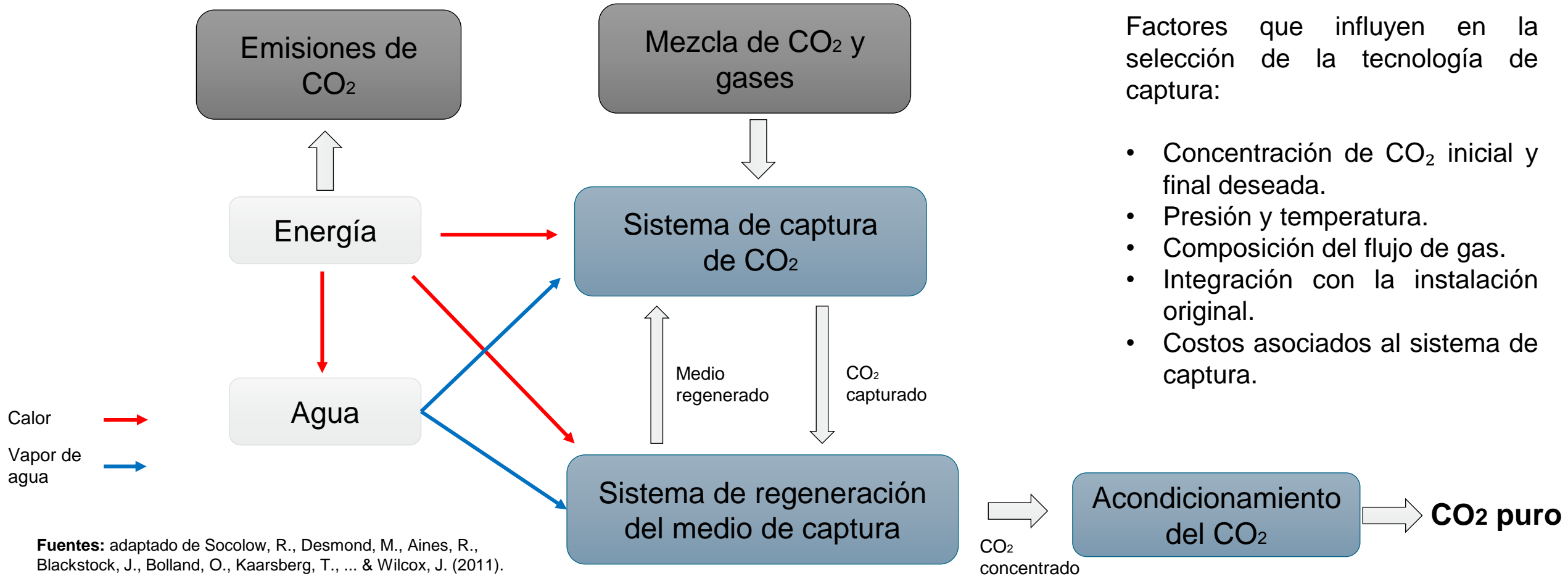
Tanto las **fuentes biogénicas** (aquellas fuentes estacionarias en las que se realizan procesos en los que se libera el CO<sub>2</sub> almacenado en materiales biológicos) **como las industriales que no se pueden reemplazar por una alternativa menos emisiva en el contexto actual** se pueden categorizar como **inevitables**.



# Captura desde fuentes puntuales inevitables y directa desde el aire (DAC)



# Descripción general de sistema captura de CO<sub>2</sub>



Factores que influyen en la selección de la tecnología de captura:

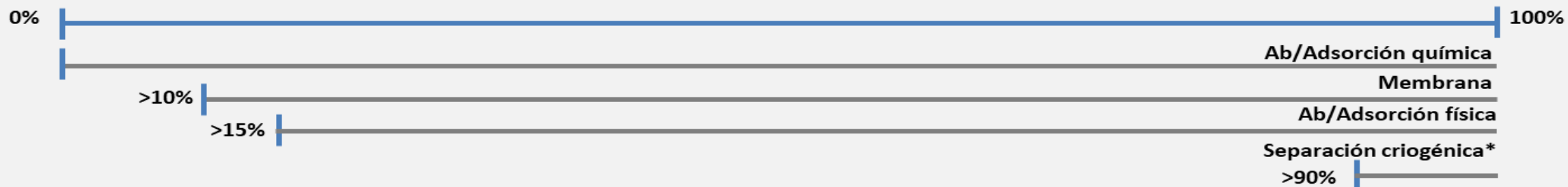
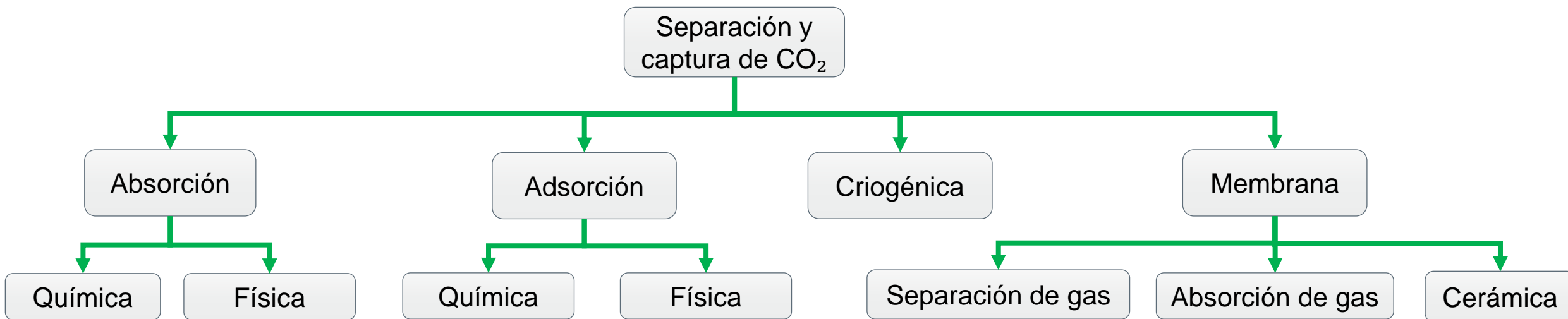
- Concentración de CO<sub>2</sub> inicial y final deseada.
- Presión y temperatura.
- Composición del flujo de gas.
- Integración con la instalación original.
- Costos asociados al sistema de captura.

**Fuentes:** adaptado de Socolow, R., Desmond, M., Aines, R., Blackstock, J., Bolland, O., Kaarsberg, T., ... & Wilcox, J. (2011).





# Tecnologías de captura de CO<sub>2</sub>



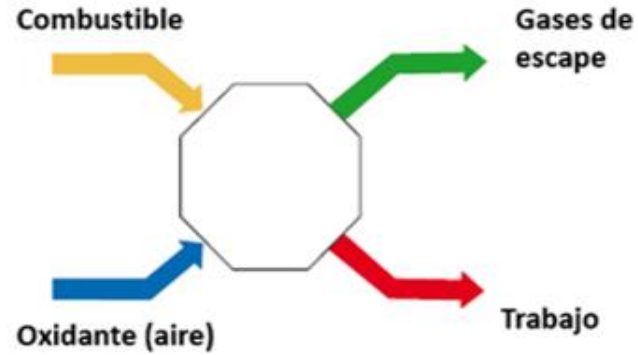
\* Valor de acuerdo con el Reporte de la IEA CO<sub>2</sub> Abatement in the iron and steel industry (2012). El límite es definido a partir de consideraciones económicas, por lo que no se descarta su uso a concentraciones de CO<sub>2</sub> menores al valor indicado.



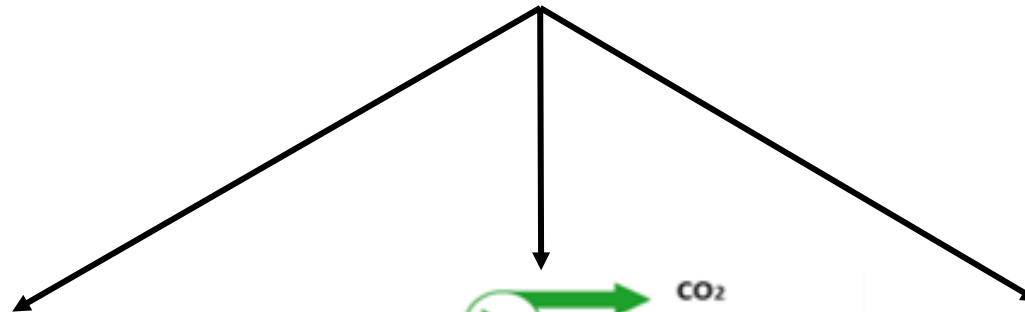
# Captura de CO<sub>2</sub> desde fuentes puntuales

## Caracterización del gas de alimentación:

- 9-33% de concentración de CO<sub>2</sub> en gases efluentes.
- Concentraciones de sustancias ácidas como NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> pueden ser tóxicas para el proceso.
- Presión y temperatura controladas dependiendo del proceso
- Cantidad limitada disponible. Maximizar tasas de captura.



## Proceso base



## Captura postcombustión

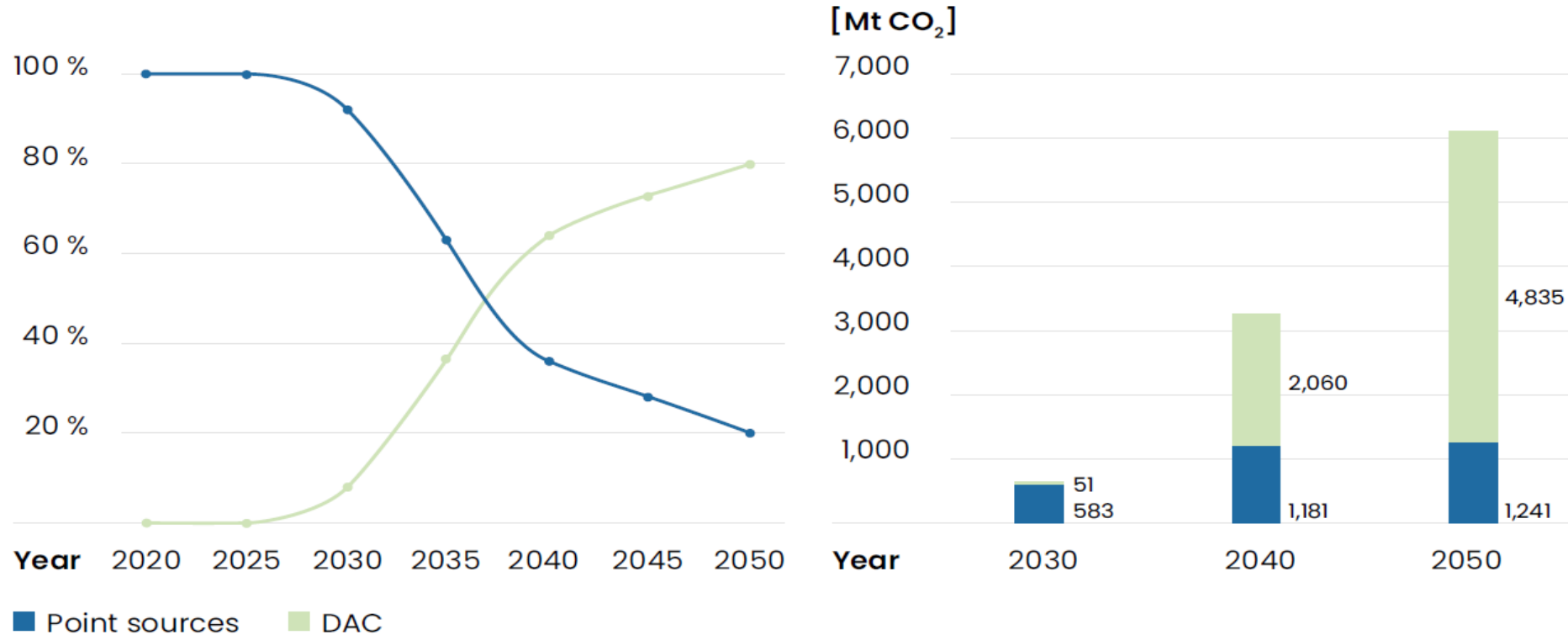
## Captura precombustión

## Oxicombustión



# Tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> a nivel global

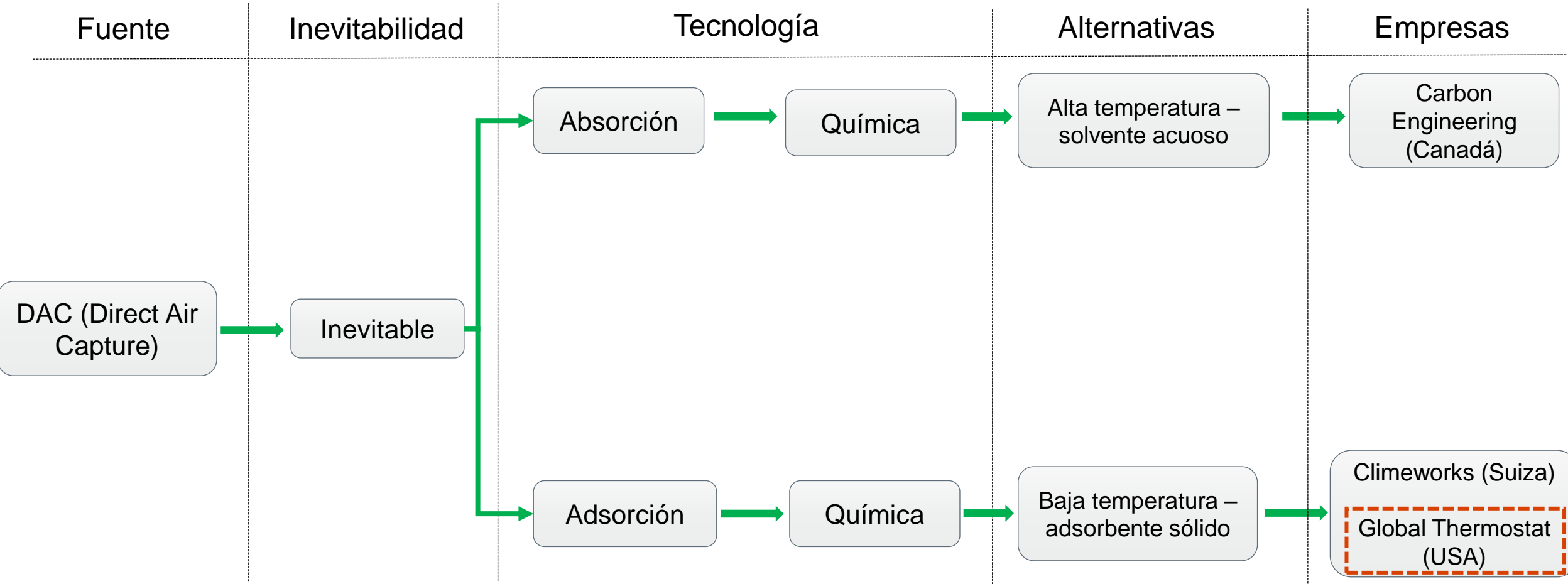
## Evolución de la captura de CO<sub>2</sub> desde el aire vs captura de fuentes puntuales



Fuente: Powerfuels in a Renewable Energy World: Global Volumes, Costs, and Trading 2030 to 2050



# Captura directa desde el aire (DAC) | Tecnologías aplicables



Fuentes: adaptado de Broehm, M., Strefler, J., & Bauer, N. (2015), Fasihi, M., Efimova, O., & Breyer, C. (2019).



# Captura directa desde el aire (DAC) | Comparación de alternativas de captura

Parámetro	Unidad	Carbon Engineering	Global Thermostat	Climeworks
Tecnología	-	Absorción química de alta T°	Adsorción química de baja T°	Adsorción química de baja T°
Absorbente	-	KOH – Ca(OH) <sub>2</sub>	Amina sobre estructura monolítica	Amina en filtro de celulosa
T° desorción	K	1173	358-368	353-393
Pureza de salida del CO <sub>2</sub>	%	> 97,1	> 98,5	> 99,9
Cantidad de instalaciones*	-	1	3	11
LCOD 2020	€/tonCO <sub>2</sub>	286	No declarado	289
LCOD 2050	€/tonCO <sub>2</sub>	80	No declarado	80

\* Plantas de captura de dióxido de carbono desde el aire en operación en el 2020.

## Absorción química

- Alta temperatura
- Necesidad de usar gas natural
- Altos costos de operación
- Mayores pérdidas de agua
- Proceso continuo

## Adsorción química

- Baja temperatura
- Posibilidad de usar **calor residual**
- Bajos costos de operación
- Proceso discontinuo





# Impactos ambientales



# Impactos ambientales

## Uso de agua:

Las tecnologías de ab/adsorción química, tanto en DAC como desde efluentes industriales, **utilizan agua en ciclos cerrados** los que son susceptibles a **pérdidas**, por lo que se requiere su reposición.

## Uso de espacio:

En el caso de la DAC, gran parte del uso de espacio corresponde a **espacio indirecto**, el cual se debe dejar **entre los contactores** para permitir la mezcla del aire pobre en CO<sub>2</sub> que sale del contactor con el aire atmosférico.

Tecnología	Empresa	Demanda de agua		Uso de espacio	
		Parámetros	Mton agua/ MtonCO <sub>2</sub>	Tipo espacio**	km <sup>2</sup> / MtonCO <sub>2</sub> año
Absorción química	Genérico	16°C - 65%HR	8,2	total	1,5 - 7
	Carbon Engineering	20°C - 64%HR	4,7	directo	0,016
Adsorción química	Genérico	No disponible	1,6	total	0,8 – 5,1
	Climeworks	No disponible*	-2 a -0,8	total	0,1 – 0,4
	Global Thermostat	No disponible	5,4	total	0,68

\*No se especifican las condiciones ambientales de humedad relativa (HR) y temperatura necesarias para que el sistema sea capaz de generar agua.

\*\* También se debe considerar el uso de espacio indirecto, el cual corresponde al espacio necesario que se deja entre los contactores.



# Otros impactos ambientales

- **Emisión de solvente a la atmósfera**
  - Efluentes industriales: emisión de aminas y degradación a compuestos riesgosos (amonio y etilamina, nitraminas y nitrosaminas, aerosol secundario y ozono troposférico)
  - DAC: emisión de hidróxido en concentraciones bajas (absorción) y posible emisión de aminas (adsorción).
- **Fugas de CO<sub>2</sub>**
  - A alta presión: formación de partículas de CO<sub>2</sub> sólido a bajas T°
  - Acidificación de suelos y agua
  - En espacios cerrados: puede ser letal para los trabajadores
- **Zonas con baja concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico (en sistemas DAC):** puede afectar el crecimiento de las plantas

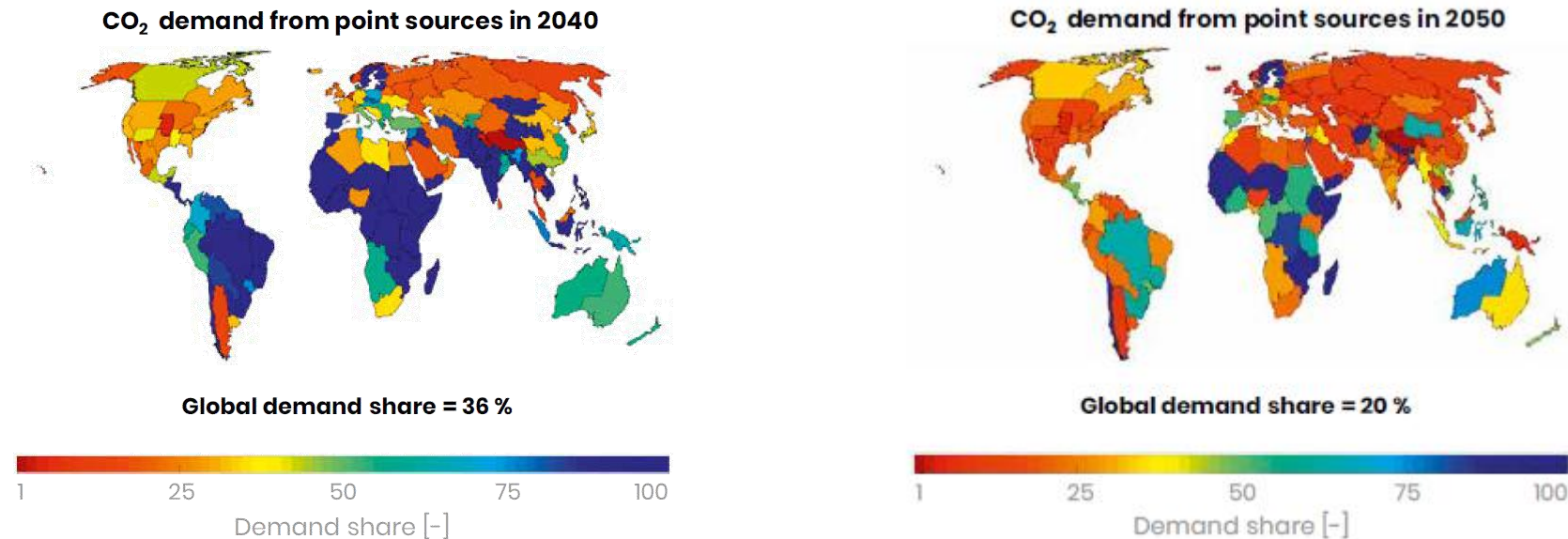


# Identificación de fuentes inevitables en Chile



## CO<sub>2</sub> | Demanda de fuentes puntuales

“En el futuro, las fuentes puntuales inevitables se distribuirán por todo el mundo, con porcentajes más altos sólo en **regiones excepcionales con una fuerte industria del papel** y que, por lo tanto, tienen suficientes fuentes puntuales de CO<sub>2</sub> inevitables, o aquellas con una industrialización tardía y, por tanto, una demanda tardía de **cemento**”.



Fuente: Powerfuels in a Renewable Energy World: Global Volumes, Costs, and Trading 2030 to 2050





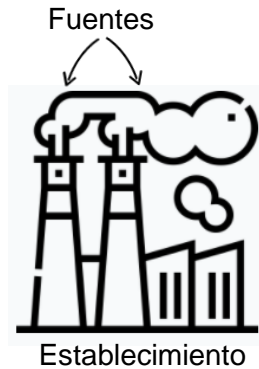
# RETC 2018 | Identificación de fuentes inevitables en Chile

**+ 7.300**

Establecimientos industriales emisores de CO<sub>2</sub> en el año 2018

**+ 16.600**

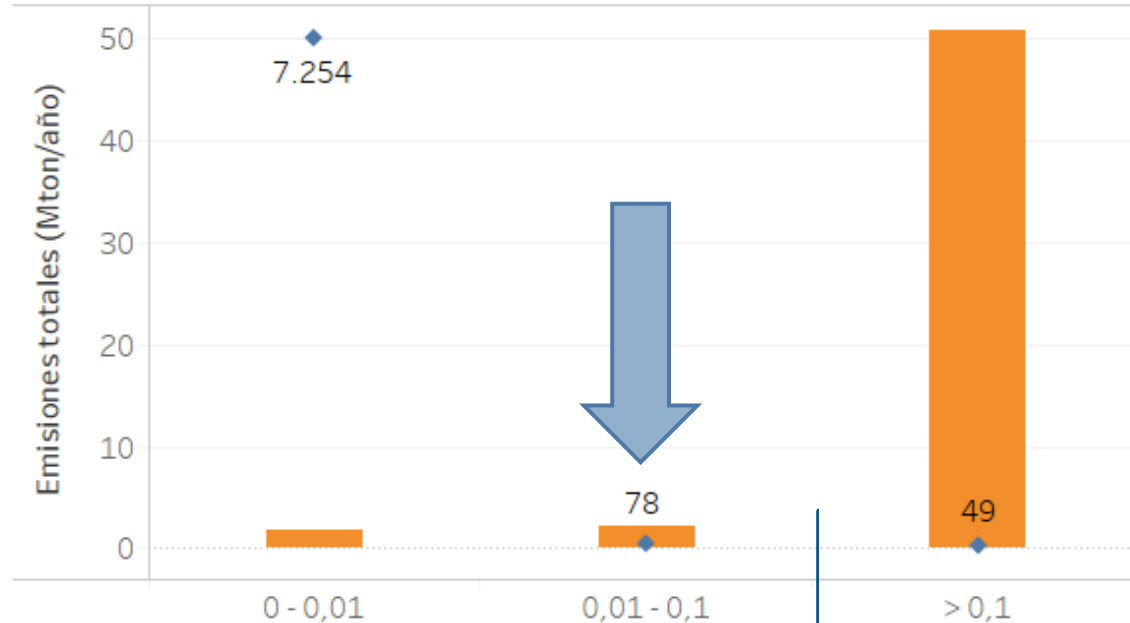
Fuentes emisoras



**54,8 Mton**

De CO<sub>2</sub> emitidos por establecimientos industriales en el 2018

Distribución de emisores por tramo ◆ Número de establecimientos por tramo



**93** establecimientos con fuentes emisoras > 0,01 Mton CO<sub>2</sub>/año

Límite definido por **IEAGHG** en el que la captura es más favorable



# RETC 2019 | Versión preliminar: información adicional al del 2018

⇒ **Información sobre las fuentes**

Tipo de fuente y procesos asociados

⇒ **2 tipos de emisión**

- Transformación de materia prima

- Combustión - Combustible

De un total de 25 combustibles, se identifican 7 que pueden considerarse como inevitables:

**Biomasa y derivados + biogás**

**Identificación de emisiones inevitables**

El RETC preliminar 2019 presenta importantes desafíos respecto a las **emisiones** reportadas, los **procesos** identificados y los **combustibles** utilizados.

↘ Cambio en metodología de recolección de información y en organismo encargado



## 33 establecimientos con emisiones inevitables | fuentes con emisiones > 0,01 Mton CO<sub>2</sub>/año

### Celulosa

- **Uso de biomasa** y sus derivados en procesos productivos
- Descomposición de caliza en cal

Fuentes con emisiones inevitables:

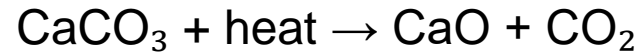
- Caldera recuperadora
- Caldera de poder
- Horno de cal

**8 establecimientos**

Adicionalmente hay **21 establecimientos** de otras industrias que poseen calderas de biomasa para generación de vapor, las que también son inevitables.

### Cemento

- Descomposición térmica de la caliza en el proceso de formación de clínker:



Fuentes con emisiones inevitables:

- Horno de clínker

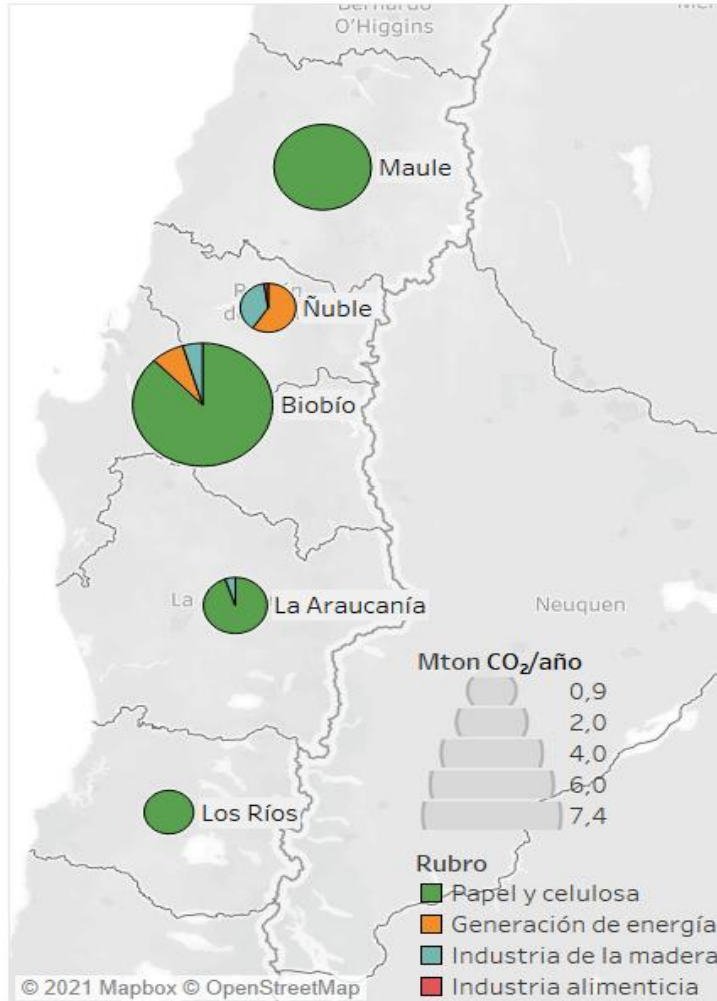
**4 establecimientos**

### Siderurgia

- Transición hacia la evitabilidad



# 15 Mton de CO<sub>2</sub> inevitable en el 2018 | 33 establecimientos



Las emisiones inevitables asociadas a la industria maderera se ubican entre las **regiones de Maule y de Los Ríos**, siendo el rubro de la **celulosa** el que posee mayores emisiones (12 Mton en el 2018).

Las emisiones inevitables asociadas a la **industria del cemento** son menores: representaron entre 0,9 y 1,1 Mton en el año 2018



# Industrias con potencial de captura de CO<sub>2</sub>





# Fuentes puntuales | Industria de celulosa

Cuando la materia prima leñosa es de **origen sustentable**, las operaciones de la fábrica pueden considerarse **neutras en cuanto al carbono**, excepto por el uso de combustibles fósiles.

Fuente emisora	Proceso emisor	Combustible	% del total de emisiones	Concentración CO <sub>2</sub> (%)
Caldera recuperadora	Combustión de licor negro	Operación con <b>biomasa</b> , uso de diésel solo en momentos específicos de la operación	48 - 67	10 - 20
Caldera de poder o biomasa	Combustión de residuos de biomasa		23 - 43	9
Horno de cal	Descomposición de CaCO <sub>3</sub> en cal como subproducto	Operación con <b>diésel</b>	9 - 10	15 - 25



# Fuentes puntuales | Industria de celulosa

## Alternativa tecnológicas de captura

- Adsorción química: ciclos de calcio  $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$ 
  - Requiere elevadas temperaturas para la desorción
- Oxidación + u. de separación a mayor concentración
  - Requiere  $\text{O}_2$  y modificaciones en las unidades de combustión

- Absorción química: aminas
  - Requiere enfriar el efluente de gases a (45 - 50 °C)

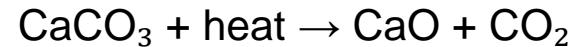
Tecnología más madura  
+  
Bajas exigencias de  
reacondicionamiento a la planta



# Fuentes puntuales | Industria del cemento

## Consideraciones generales

- En la actualidad, la producción de clínker nacional se concentra en 4 plantas integradas (Cementos Biobío en Antofagasta, Cementos Melón en La Calera, Cementos Polpaico en Santiago y Cementos Biobío en Curicó – Teno).
- Descomposición térmica de la caliza en el proceso de formación de clínker, componente principal del cemento:



	Fuente emisora
	Horno de clínker
Porcentaje del total de emisiones (%)	40 - 50 combustión, 50-60 transformación materia química
Concentración CO <sub>2</sub> (%)	14 - 33



# Fuentes puntuales | Industria del cemento

## Alternativa tecnológicas de captura

- Adsorción química: ciclos de calcio  $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$ 
  - Requiere elevadas temperaturas para la desorción – oxicombustión
  - Requiere modificaciones importantes en la planta
- Captura directa
  - Requiere separar las emisiones del horno de las de las combustión

- Absorción química: aminas
  - Requiere enfriar el efluente de gases a (45 - 50 °C)

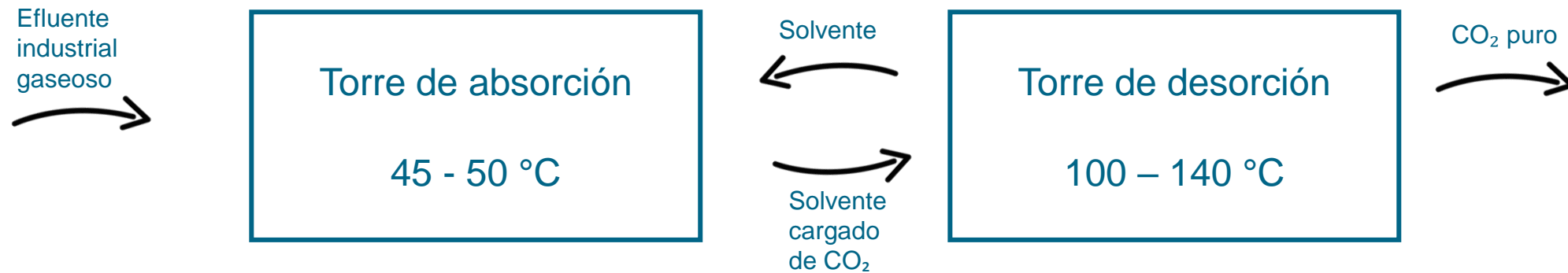
Tecnología más madura  
+  
Bajas exigencias de  
reacondicionamiento a la planta



# Absorción química | Aminas

Tecnología de final de tubería, afecta al efluente de gases y no al proceso productivo actual.

Sí se tiene una afectación de la estrategia de suministro energético y la gestión de la demanda energética.



## Ventajas

- Tecnología probada
- Alta eficiencia de captura: 80 – 95%

## Desventajas

- Corrosión
- Degradación del disolvente
- Límite a concentración de NOx y SOx en gas





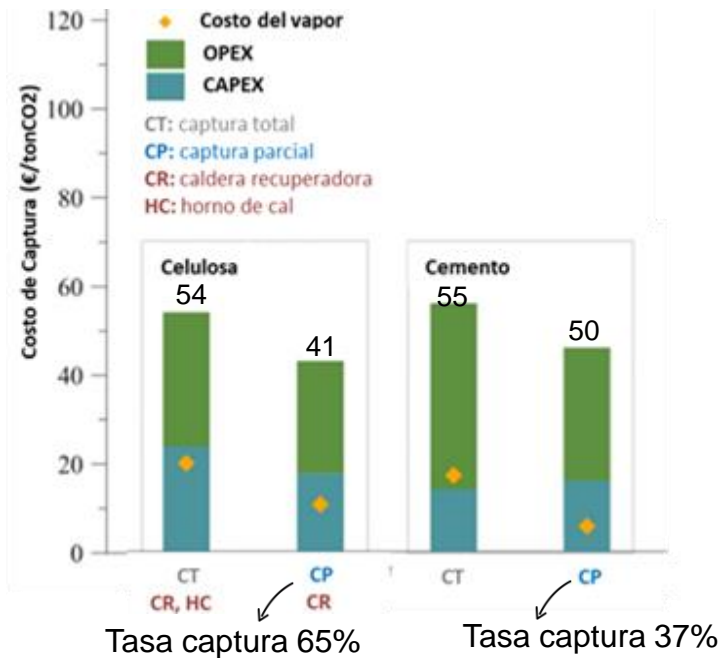
# Costos de captura y transporte de CO<sub>2</sub>



# Absorción química por aminas | costos de captura

Costos son sitios específicos: entre **24 - 130 €/tonCO<sub>2</sub>**

Ejemplos de costos para plantas específicas en Noruega y Suecia



Fuente: adaptado de F. Normann, R. Skagestad, M. Bierman, J. Wolf y A. Mathisen, «Reducing the Cost of Carbon Capture in Process Industry,» CO2stCap Project - Chalmers Institute of Technology, Suecia, 2019.

Costos de captura de CO<sub>2</sub> dependen de:

- La concentración de CO<sub>2</sub> en la corriente de gas
- La ubicación de la planta
- El suministro de energía y vapor
- La integración con la instalación original.
- Tasa de captura

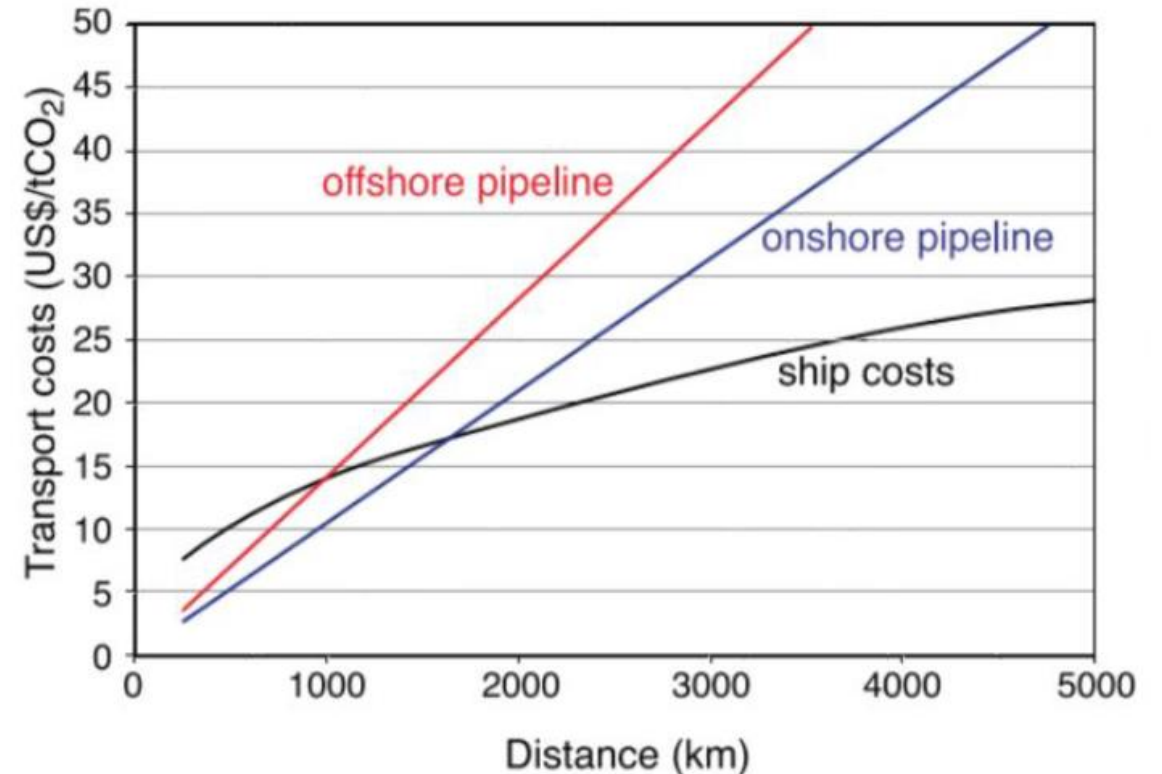
Se recomienda evaluar la **captura parcial del CO<sub>2</sub>** en la que no se captura el CO<sub>2</sub> total si no que sólo una fracción, de acuerdo con el **calor o vapor residual existente**. Esto permite reducir los costos de captura considerablemente.

En caso invertir en una nueva caldera para poder generar el vapor necesario para la captura total, los costos de inversión suelen elevarse en el orden de los 5-10 €/tonCO<sub>2</sub> capturada, además de ser fuentes de emisión adicionales al proceso que deben ser contabilizadas.



# Captura desde efluentes puntuales | transporte de CO<sub>2</sub>

- La mejor elección de los métodos de transporte varía según la ubicación y las condiciones locales de la fuente de CO<sub>2</sub>.
- Los gasoductos: similares a los de gas natural. Se usan para transportar grandes cantidades de CO<sub>2</sub> en distancias de hasta 1.000 km.
- Barco: es favorable en distancias mayores a 1.000 km o para cantidades menores a 1Mton CO<sub>2</sub> al año.
  - Requiere instalaciones de licuefacción, almacenamiento temporal, terminar de carga y descarga y regasificación.
- Carretera: transporte ya establecido en procesos industriales del sector de alimentación y bebidas. Se usa para distancias normalmente menores a 100 km.
  - Se transporta licuado
- Se deben incluir las emisiones asociadas al transporte



# Conclusiones



# Conclusiones

- Disponibilidad de agua, espacio y energía limitan las potenciales ubicaciones para plantas de captura de carbono y definen sus costos (tanto para DAC como para fuentes industriales).

## Captura desde fuentes inevitables:

- Los **costos actuales** de la captura de CO<sub>2</sub> son fuente específicos y se ubican en un rango de entre **24 - 130 €/tonCO<sub>2</sub>**.
- La **captura parcial de CO<sub>2</sub>** es una alternativa importante para reducir los costos. La tasa de captura que esta alcance dependerá de la **disponibilidad de calor residual** existente.
- Las **fuentes inevitables en Chile** pertenecen a 2 industrias principales, el **cemento y el papel y celulosa**. Estas se concentran principalmente en la **zona centro sur del país**, desde la Región de Valparaíso hasta la de Los Lagos, a excepción de una planta de cemento ubicada en Antofagasta. En el 2018 sus emisiones fueron del orden de **15 MtonCO<sub>2</sub>**.

## Captura desde el aire:

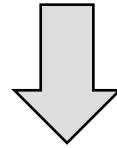
- Hay dos tecnologías de captura de carbono desde el aire: absorción y adsorción química. Solo la **adsorción química es aplicable en Chile**, porque la absorción requiere de altas temperaturas que se alcanzan mediante combustión de gas natural. Los sistemas de adsorción requieren temperaturas menores, las que podrían ser alcanzadas usando calor residual de procesos adyacentes.



# Conclusiones | Desafíos para Chile

Poca claridad sobre las zonas más idóneas para instalar plantas de producción de combustibles sintéticos:

- a. Zonas extremas con las mejores condiciones de generación renovable
- b. Zona centro sur suministrado de la red
  - i. suministro de CO<sub>2</sub> a partir de fuentes puntuales inevitables a mayor concentración, lo que permite acceder a menores costos de captura;
  - ii. producción de hidrógeno cerca de sitios industriales, lo que permitiría ahorrar costos de transporte y además permitiría aprovechar el oxígeno que se genera como subproducto (por ejemplo para realizar oxidación en plantas, lo que permitiría tener un efluente gaseoso aún más concentrado y así reducir aún más los costos de captura de CO<sub>2</sub>).



Aún no hay una normativa en Chile que clarifique los requerimientos asociados a la certificación de combustibles sintéticos como renovables, o hidrógeno como verde, con los requerimientos asociados de electricidad renovable para su síntesis.



# ¡Gracias por su atención!

Energy Partnership Chile – Alemania

c/o Deutsche Gesellschaft für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Santiago de Chile



[energyclde@giz.de](mailto:energyclde@giz.de)



+56 22 30 68 600

[www.energypartnership.cl](http://www.energypartnership.cl)

