

Título: “Evaluación de una tecnología para la captura del CO₂ en la producción de cal”

Acosta, Susana B.^a; Oliver, Patricia^a; Sierra, Ricardo^b

a. Universidad Nacional de San Juan. Instituto de Ingeniería Química

b. Universidad Nacional de San Juan. Departamento de Ingeniería Química

E-mail: sacosta@unsj.edu.ar

Resumen

Las emisiones de gases de efecto invernadero generados por las actividades humanas, son la principal causa del cambio climático desde comienzos del siglo XX. Si bien el CH₄, los N₂O y los CFC tienen mayor capacidad de retener la radiación que los demás gases, la gran cantidad de emisiones de CO₂ son el forzante del cambio climático más importante a nivel global. La producción de cal emite dióxido de carbono durante la calcinación de la piedra caliza, siendo uno de los principales impactos ambientales asociados a esta industria. Durante este proceso, el carbonato de calcio se descompone en cal viva (óxido de calcio) y CO₂. A este proceso se suman las emisiones de gas efecto invernadero de la quema del combustible, para la obtención de calor en el horno. Considerando que la producción de cal es una de las principales industrias de la provincia de San Juan, con una producción anual de cerca 1,2 millones de toneladas, la captura de CO₂, como medida de mitigación del cambio climático, se convierte en una gran oportunidad para mitigar sus impactos ambientales. En este trabajo se realiza un análisis bibliográfico sobre los sistemas de captura, y se evalúan los sistemas con factibilidad técnica, económica y ambiental, con el fin de seleccionar el más adecuado para implementar en esta industria. Se utiliza una matriz de priorización que permite la selección de opciones sobre la base de la ponderación y aplicación de los siguientes criterios de selección: capacidad de captura, disponibilidad de insumos en el mercado, costo, consumo energético y cumplimiento de los principios de la economía circular.

Palabras clave: dióxido de carbono, cambio climático, industria calera.

INTRODUCCIÓN

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) define al cambio climático como cualquier cambio en el clima con el tiempo debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas.

La principal causa del cambio climático que se viene observando desde comienzos del siglo XX es el calentamiento global, producido por la intensificación del efecto invernadero a causa de las actividades humanas, principalmente la quema de combustibles fósiles y la deforestación.

Los gases de invernadero (GEIs) más importantes son el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂) el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los clorofluorcarbonos (CFC) y el ozono (O₃).

La producción de cal es la tercera industria emisora de GEIs del sector de Procesos Industriales y usos de los productos (IPPU por sus siglas en inglés) dentro de la República Argentina.

Considerando que la producción de cal (óxido de calcio, CaO) es una de las principales industrias de la

provincia de San Juan, con una producción anual de cerca 1,2 millones de toneladas, la captura de CO₂, como medida de mitigación del cambio climático, se convierte en una gran oportunidad para mitigar sus impactos ambientales.

La cal es un producto ampliamente empleado en diferentes industrias y procesos de descontaminación. Se obtiene por la calcinación de la piedra caliza a altas temperaturas (unos 900 °C) en hornos de diferente concepción y explotación. La piedra caliza contiene entre un 97% y un 98% de carbonato cálcico (CaCO₃) en base seca. La descarbonatación del mineral durante el proceso de calcinación produce hasta 0,75 toneladas de CO₂ por tonelada de cal viva, dependiendo de la composición de la roca y del grado de calcinación.

Por otro lado, también se originan emisiones por el proceso de combustión. La cantidad de CO₂ producido depende de la composición química del combustible, entre otros factores y, generalmente está en el rango de 0,2 a 0,45 toneladas de CO₂ por tonelada de cal viva.

En este contexto, el presente trabajo tiene como finalidad la evaluación de una tecnología para la

captura y reuso del CO₂ emitido en los hornos de producción de cal.

OBJETIVO

Seleccionar una tecnología para la captura del CO₂ en la producción de cal.

MATERIALES Y MÉTODOS

La herramienta utilizada para la selección de una alternativa de captación es una matriz de priorización, que permite la selección de opciones sobre la base de la ponderación y aplicación de criterios de evaluación.

A continuación se resumen los pasos seguidos hasta llegar a la matriz de priorización final:

- Paso 1: Identificación de alternativas de captura.
- Paso 2: Establecimiento de criterios de evaluación.
- Paso 3: Ponderación de criterios de evaluación.
- Paso 4: Clasificación de alternativas por cada criterio.
- Paso 5: Calificación total por opción por criterio ponderado.

Para facilitar la búsqueda visual de los valores en las matrices, se utiliza un código de colores de la gama del rojo al verde, correspondiendo color rojo para las ponderaciones máximas y verde para las mínimas.

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados del estudio.

Paso 1: Identificación de alternativas de captura.

Los diferentes sistemas de captura de CO₂ se basan en procesos de absorción, adsorción y separación, siendo los principales los siguientes:

1) Absorción química. En este proceso el soluto (CO₂) reacciona con un componente presente en el solvente para formar compuestos estables.

2) Absorción física. Emplea solventes físicos que disuelven el CO₂ sin reacción química.

3) Destilación criogénica. El CO₂ se separa físicamente de la corriente de gas condensándolo a bajas temperaturas produciendo CO₂ líquido.

4) Separación por membranas. La separación de componentes se basa en la diferencia de difusión de los gases en los poros. La diferencia de presión parcial se utiliza como fuerza impulsora.

5) Biocaptación. Utiliza organismos vivos, como microalgas o bacterias, para capturar CO₂ a través de procesos biológicos.

6) Adsorción. Consiste en la captura del CO₂ sobre la superficie de un sólido.

Paso 2: Establecimiento de criterios de evaluación.

La evaluación de las alternativas requiere un enfoque integral, que considere factores técnicos, económicos y ambientales. A continuación se describen brevemente los criterios empleados para dicha evaluación:

1) Eficiencia de captura: proporción de CO₂ capturado en relación al total emitido.

2) Costo: costo por tonelada de CO₂ capturado, incluye tanto el costo de capital como el operativo.

3) Factibilidad técnica: madurez tecnológica y flexibilidad operativa.

4) Impacto ambiental: cualquier impacto ambiental adicional que la implementación de la tecnología pueda tener.

5) Posibilidad de reuso: reuso directo del CO₂ capturado en la misma o en otra industria.

6) Demanda energética: considera energía eléctrica y térmica.

Paso 3: Ponderación de criterios.

Para ello se utilizó una matriz L (Tabla 1) en la que a cada criterio se le asignó una valoración teniendo en cuenta el siguiente rango de calificación:

- 10: El criterio de fila es mucho más importante que el criterio de columna.
- 5: El criterio de fila es más importante que el criterio de columna.
- 1: Ambos criterios son igual de importantes.
- 0,2: El criterio de fila es menos importante que el criterio de columna.
- 0,1: El criterio de fila es mucho menos importante que el criterio de columna.

Tabla 1: Matriz de ponderación de criterios.

Criterio	1	2	3	4	5	6	Total	Ponderación
1		10	0,1	1	5	5	21,1	0,21
2	0,1		0,1	0,2	5	1	6,4	0,06
3	10	10		1	10	10	41	0,40
4	1	5	1		10	10	27	0,26
5	0,2	0,2	0,1	0,1		0,2	0,8	0,01
6	0,2	1	0,1	0,1	5		6,4	0,06

Paso 4: Clasificación de alternativas por cada criterio.

En este paso se califica cada alternativa teniendo en cuenta cada criterio siguiendo la misma metodología que se usó para la ponderación de los criterios (Tabla 2).

Tabla 2: Clasificación de alternativas por cada criterio.

Criterio Alternativa	1	2	3	4	5	6
1	0,39	0,19	0,36	0,05	0,13	0,05
2	0,10	0,31	0,17	0,27	0,02	0,35
3	0,25	0,01	0,01	0,01	0,35	0,01
4	0,06	0,10	0,17	0,09	0,02	0,14
5	0,01	0,35	0,01	0,35	0,35	0,31
6	0,20	0,19	0,28	0,23	0,13	0,14

Paso 5: Calificación total por opción por criterio ponderado.

La matriz de prioridad se construye con los valores resultantes del producto entre la clasificación de las alternativas para cada criterio y la ponderación de cada criterio (Tabla 3).

Tabla 3: Calificación total por opción por criterio ponderado.

Criterio Alternativa	1	2	3	4	5	6	Total
1	0,080	0,012	0,143	0,013	0,001	0,003	0,252
2	0,021	0,019	0,068	0,072	0,000	0,022	0,202
3	0,051	0,001	0,004	0,002	0,003	0,000	0,060
4	0,011	0,006	0,067	0,024	0,000	0,009	0,118
5	0,001	0,022	0,004	0,092	0,003	0,019	0,142
6	0,041	0,012	0,112	0,060	0,001	0,009	0,235

En la columna “Total” de la Tabla 3 se indican los resultados obtenidos del análisis, correspondiendo los mayores valores a las tecnologías más adecuadas para la captura del CO₂ en la industria de la cal.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- De la Tabla 1 se desprende que los que tres criterios más relevantes a la hora de seleccionar una alternativa tecnológica son: factibilidad técnica, impacto ambiental y efectividad de captura de CO₂.
- De la Tabla 2 se desprende que según la eficiencia de captura de CO₂ y la factibilidad técnica, la absorción química es la tecnología que más se destaca. En cuanto al costo de capital y operativo, se destacan la biocaptación y la absorción física como las de menor costo. Desde el punto de vista del impacto ambiental,

también la biocaptación y la absorción física son las óptimas. Y por último con relación a la posibilidad de reuso directo del CO₂ capturado, se destacan la destilación criogénica y la biocaptación.

- De la Tabla 3, que corresponde a la matriz de priorización, se desprende que la tecnología con mayor puntaje es la absorción química, por lo tanto es la alternativa de captación seleccionada considerando los criterios establecidos.

Los aspectos determinantes de esta conclusión son su alta efectividad de captura y la factibilidad técnica, dada la madurez que tiene esta tecnología.

La captura y posterior reuso o reciclado del CO₂ emitido por los hornos de cal constituye una oportunidad para esta industria de poder contribuir a la reducción global de emisiones bajo un enfoque de economía circular en el marco del desarrollo sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

1. Rubin, E. S., et al. The cost of CO₂ capture and storage. International Journal of Greenhouse Gas Control (2015). <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2015.05.018>
2. David Kearns, et al. Technology Readiness and Costs of CCS. Global CCS Institute (2021).
3. CO₂ Innovation in the Lime Sector 3.0. EuLA 2022.
4. WanYun Hong. A technoeconomic review on carbón capture utilisation and storage systems for achieving a net-zero CO₂ emissions future. Carbon Capture Science & Technology 3 (2022).
5. Abhoyjit S. Bhowan. Status and analysis of next generation post-combustion CO₂ capture technologies. Energy Procedia 63 (2014) 542 – 549.
6. Jose Antonio Garcia, et al. Technical analysis of CO₂ capture pathways and technologies. Journal of Environmental Chemical Engineering 10 (2022) 108470.
7. Marco Simoni, et al. Decarbonising the lime industry: State-of-the-art. Renewable and Sustainable Energy Reviews 168 (2022) 112765.
8. Ashish Bhadola, et al. Technology Scouting - Carbon Capture: From Today's to Novel Technologies. Concawe (Low Carbon Pathways and Carbon Capture & Storage Groups), 2020.