

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO₂ EN TERRITORIO ARGENTINO

Gabriel Grasetti¹, Teresa Piqué², Martín Noya¹, Gabriela Vila², Ricardo Manoni³, Ignacio Brisson³,
Daniela De Leo³, Francisco Dzelalija³, Nerina Canale⁴, Manuela Zalazar⁴, Cecilia Cabana⁴, Maisa Tunik⁴,
Natalia Fortunatti⁵, Fernando Lebinson⁵, Marcos Bahía⁵, Silvia Grill⁵

1: Y-TEC S.A. carlos.g.grasetti@ypftecnologia.com, martin.noya@ypftecnologia.com

2: CONICET, Y-TEC S.A. teresa.m.pique@ypftecnologia.com, gabriela.s.vila@ypftecnologia.com

3: YPF S.A. rmanonic@ypf.com, ignacio.brisson@ypf.com, daniela.deleo@ypf.com, francisco.dzelalija@gmail.com

4: Universidad Nacional de Río Negro. ncanale@unrn.edu.ar, mzalazar@unrn.edu.ar,
mccabana@unrn.edu.ar, mtunik@unrn.edu.ar

5: Universidad Nacional del Sur. nfortuna@uns.edu.ar, fernando.lebinson@uns.edu.ar,
mbahia@ingeosur-conicet.gob.ar, sgrill@criba.edu.ar

Palabras clave: CO₂, Almacenamiento, Argentina, Cuencas, Evaluación

ABSTRACT

We present a high-level assessment of the potential for CO₂ geological storage of two Argentinian sedimentary basins, the Neuquén and Golfo San Jorge basins.

Applying a few elimination criteria, suitable areas for CO₂ storage were identified in several geological units in both basins. The analysis was then restricted to the areas of oil and gas fields in each unit, yielding approximately 200 prospects per basin. We selected a series of criteria to evaluate each prospect, such as the petrophysical parameters and estimated CO₂ storage capacity of the reservoir and the characteristics of the containment system. We used exploratory level data gathered mostly from published works. Finally, we assigned a relative weight to each criterium and applied a multi-criteria decision method to rank the prospects.

Our results show that, at the current level of analysis, the Centenario Formation in the Neuquén Basin and the Cañadón Seco Formation (and equivalents) in the Golfo San Jorge Basin, display the most promising characteristics. We expect the results of this work can serve as the starting point for a more comprehensive and detailed assessment of their potential as geological sinks of CO₂.

INTRODUCCIÓN

En un contexto internacional de toma de medidas profundas para contrarrestar el cambio climático, las tecnologías que aportan soluciones a esa problemática cobran un valor significativo. Entre estas se destacan aquellas orientadas a la captación y disposición permanente

del CO_2 , uno de los principales gases de efecto invernadero, cuya concentración en la atmósfera está aumentando de forma constante debido a la actividad antropogénica, impulsando el calentamiento global. En ese sentido, en Argentina se ha empezado a recorrer un camino de transición energética proponiéndose contribuir al cumplimiento de los objetivos del Acuerdo de París y fijando sus propias metas de reducción de emisiones netas para 2030 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República Argentina 2022). Es indispensable para alcanzar esta meta, sumado a la reducción de emisiones, desarrollar la capacidad de disponer CO_2 en almacenes seguros y perdurables, identificándose a las unidades geológicas del subsuelo como alternativas óptimas para ese fin. Este proceso es denominado como almacenamiento geológico de CO_2 en subsuelo, mayormente conocido por sus siglas en inglés: CCS (Carbon Capture and Storage).

El presente trabajo tiene por objetivo realizar una evaluación de alto nivel del potencial de almacenamiento de CO_2 en una selección de unidades estratigráficas de las cuencas Neuquina y

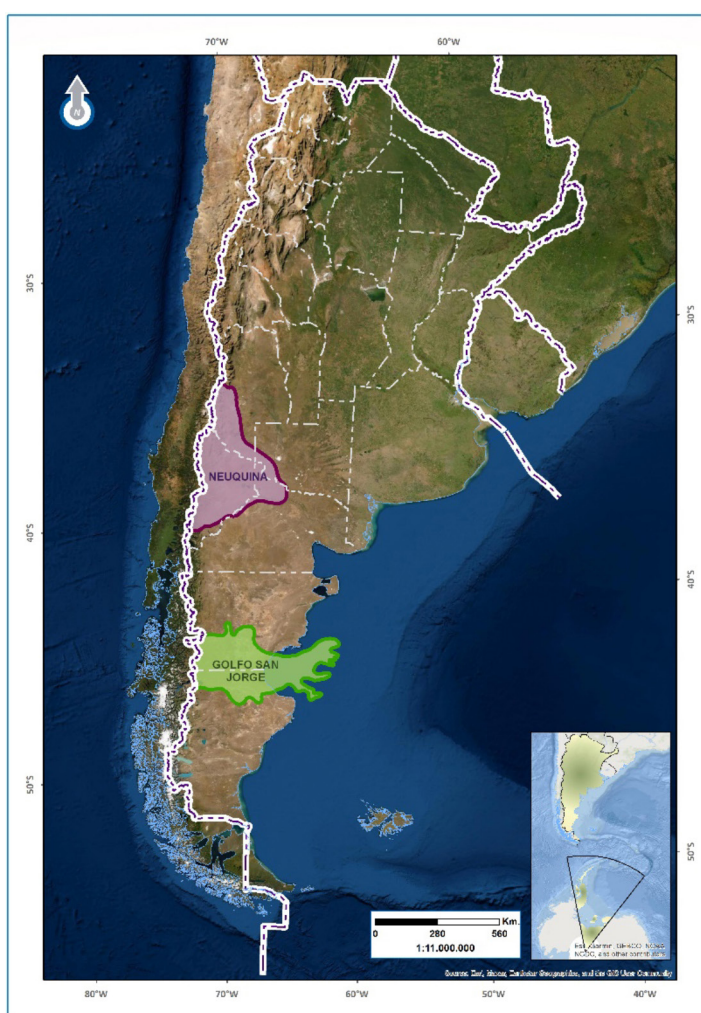


Figura 1. Regiones evaluadas: cuencas Neuquina y del Golfo San Jorge.

del Golfo San Jorge (Fig. 1), regiones elegidas por estar ampliamente estudiadas y con sistemas comprobados de contención de fluidos en subsuelo.

Para llevar a cabo este trabajo se trazó un plan de acción que incluyó un estudio general de las cuencas, la realización de una base de datos con las características necesarias para evaluar el potencial del almacenamiento de CO₂ a nivel exploratorio, la adaptación de las metodologías desarrolladas por distintos autores de la temática para este tipo de estudios, y, por último, la evaluación de las unidades estratigráficas seleccionadas en cada cuenca.

Este trabajo fue pensado como un estudio regional que actúe como disparador de posteriores evaluaciones y proyectos a partir de los cuales se repiense a las unidades del subsuelo como potenciales almacenes de CO₂.

METODOLOGÍA

Existen en la bibliografía diversos métodos de análisis para valorar el potencial de unidades geológicas en cuencas, regiones, áreas o sitios, según la escala de estudio, como posibles almacenes de CO₂, a partir de la definición, categorización y ponderación de una selección de criterios (Bachu 2002). Estos criterios en conjunto establecen un marco que permite estandarizar la evaluación de los candidatos seleccionados, asegurando que los resultados obtenidos sean comparables entre sí y, en muchos casos, con los de otras metodologías semejantes. En ese sentido, distintos autores confluyen en técnicas similares de evaluación, pero que presentan variaciones en la categorización, cantidad y peso de los criterios, y en el sistema de normalización y análisis posterior de los datos (Bachu 2002, 2003; Ruíz *et al.* 2006; Bachu *et al.* 2007; Llamas 2009; Llamas & Cienfuegos 2012; Wright *et al.* 2013; Blondes *et al.* 2013; Bentham 2014; Halland 2018; DOE/NETL-2017/1844; Carlotto 2019; Alcalde *et al.* 2021).

En este trabajo se han comparado y homogeneizado los flujos de trabajo citados generando una tabla de criterios (Fig. 2) especialmente enfocada en características de las unidades geológicas, en particular, de rocas clásticas y carbonáticas convencionales. A esto siguió una categorización, valoración y ponderación de los datos, y un ranqueo de los resultados.

La calificación se estableció de forma independiente para cada criterio. Para algunos de ellos, ciertos valores fueron considerados inaceptables, descartándose los candidatos en los que estuvieran presentes, estableciendo de este modo un conjunto de criterios de corte (Fig. 2). Por ejemplo, los valores de corte de temperatura y presión están asociados a la necesidad de que el CO₂ sea inyectado en estado supercrítico, condición que se alcanza a los 7,38 MPa y 31,1 °C.

Existen otros criterios no incluidos en este trabajo que son necesarios para realizar un análisis más refinado del potencial de almacenamiento de CO₂ en unidades geológicas; estos deberán ser tenidos en cuenta en etapas más avanzadas de estudio.

CRITERIOS	Valores de corte
Almacén	
Tipo de almacenamiento	
Capacidad de almacenamiento [Mt CO ₂]	
Porosidad [%]	<10 %
Presión (MPa)	<7,38 MPa
Temperatura (°C)	<31,1 °C
Ambiente geológico	
Permeabilidad [mD]	<10 mD
Salinidad del agua de formación [ppm]	<Valor legal
Profundidad [m]	<800 y >2500
Contención	
Sello: Litología	
Sello: Homogeneidad lateral	
Sello: Espesor [m]	<10 m
Ocurrencia de entrapamiento eficiente	Ausente
Densidad de Pozos [pozos/km ²]	
Factores de superficie	
Áreas protegidas	En el área
Presencia de infraestructura en superficie	

Figura 2. Tabla de criterios utilizados en la evaluación.

Cálculo de la capacidad de almacenamiento

A fines exploratorios, la capacidad de almacenamiento de CO₂ de una unidad geológica representa la cantidad máxima de CO₂ que esta puede retener, asumiendo que la totalidad de su volumen poroso y permeable estará en contacto con el CO₂. Esta capacidad no tiene en cuenta restricciones operacionales ni regulatorias ya que pretende únicamente evaluar y cuantificar el potencial de las unidades e identificar aquellas en las que sería más conveniente avanzar con estudios de detalle. Sin embargo, en este trabajo la capacidad no se considera como el volumen bruto del espacio en la roca disponible para almacenar CO₂, que es conocido como su capacidad teórica, sino que es aminorada por coeficientes de eficiencia (Bachu *et al.*, 2007).

El Departamento de Energía de los Estados Unidos (USDOE, por su sigla en inglés) propone una metodología de cálculo que incluye coeficientes de eficiencia, los cuales, si bien fueron calculados utilizando información de Norteamérica, pueden ser utilizados para conocer el potencial de almacenamiento de CO₂ a alto nivel de posibles unidades almacenes alrededor del mundo (Goodman *et al.*, 2011).

La capacidad evaluada por la USDOE se estima utilizando el volumen global de una unidad geológica a partir del área y el espesor mapeados, el valor de porosidad y distintos grupos de coeficientes de eficiencia calculados para una selección de ambientes geológicos, lo cual queda resumido en la siguiente expresión:

$$G_{CO_2} = A_t h_g \phi \rho_{CO_2} E^*$$

donde G_{CO_2} es la capacidad de almacenamiento másica de la unidad en estudio, A_t es el área total de la unidad en estudio, h_g es el espesor total, ϕ es la porosidad total, ρ_{CO_2} es la densidad del CO₂ en la profundidad de interés y E^* es el coeficiente de eficiencia que convierte el volumen bruto en volumen físicamente accesible para un ambiente geológico determinado. Para realizar estos cálculos, la USDOE, en Sanguinito *et al.* (2018, 2020), ofrece una herramienta denominada CO₂-SCREEN (CO₂ storage prospective resource estimation excel analysis), que arroja como resultado los cuantiles P10, P50 y P90 de la distribución de capacidad (Mt CO₂). En el presente estudio se tomó el P50 como estimador de la capacidad de almacenamiento de CO₂ en unidades geológicas del subsuelo.

Metodología de decisión multi-criterio: TOPSIS

El siguiente paso en la evaluación de los datos recopilados y categorizados consiste en analizar la importancia de cada criterio y ordenar los candidatos de acuerdo con su aptitud para el almacenamiento de CO₂, aplicando una metodología de decisión multi-criterio.

Las metodologías de decisión varían en complejidad, pero la mayoría parte de la asignación de pesos numéricos a cada criterio para luego aplicar distintas normalizaciones y técnicas de ponderación, generando finalmente una valoración de cada candidato que permita compararlo con los demás y generar un ranking que sirva como guía inicial en la toma de decisiones.

En este trabajo se aplicó el método de decisión multi-criterio TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*), previamente considerado por Carlotto (2019) y Alcalde *et al.* (2021) para la evaluación y selección de sitios para almacenamiento subterráneo de CO₂.

El punto de partida del método es la matriz de criterios. A cada criterio se le asigna un peso y a cada intervalo/categoría se le asigna una calificación. A partir de las calificaciones pesadas y normalizadas, se determinan las características del mejor y el peor candidato posible, en principio ficticios, construidos tomando para cada criterio el valor del mejor y el peor escenario entre los

candidatos analizados. Finalmente, para cada candidato se calcula su puntaje TOPSIS $T \in [0,1]$ considerando la distancia, en sentido matemático, de cada uno al mejor (S^+) y peor (S^-) sitio posible, tal como es expresado en la siguiente fórmula:

$$T = \frac{S^-}{S^- + S^+}$$

donde el valor máximo $T = 1$ corresponde a un candidato igual al mejor posible ($S^+=0$, distancia cero al sitio ideal), mientras que el valor mínimo $T = 0$ corresponde a un candidato igual al peor posible ($S^-=0$, distancia cero al peor sitio).

Evaluación de cuencas

Luego de establecida la metodología de trabajo, se procedió a recopilar y analizar la información disponible, en primera instancia, de bases de datos públicas y privadas de libre acceso, y en una segunda etapa, proveniente de la Gerencia de Exploración de YPF S.A.

Debido a la complejidad geológica de las cuencas y al alcance del trabajo, fue necesario realizar una selección de unidades del subsuelo para una primera etapa de evaluación. A tal efecto, se analizaron las unidades estratigráficas indicadas en la Fig. 3.

Cuenca	Unidad del subsuelo
Neuquina	Grupo Neuquén Inferior (indiferenciado)
	Formación Huitrín (Miembro Troncoso Inferior)
	Formación Agrio (Miembro Avilé)
	Formación Centenario (Miembro Superior)
	Formación Centenario (Miembro Inferior)
	Formación Mulichinco
	Formación Tordillo
	Grupo Cuyo Superior (indiferenciado)
Golfo San Jorge	Formación Yacimiento El Trébol (FN) / Meseta Espinosa (FS) / Bajo Barreal Superior (FO)
	Formación Comodoro Rivadavia (FN) / Cañadón Seco (FS) / Bajo Barreal Inferior (FO)
	Formación Mina del Carmen / Castillo (FO)

Figura 3. Listado por cuenca de las unidades geológicas evaluadas.

Una vez definidas las unidades geológicas, y en base a la información recopilada de yacimientos y de mapas exploratorios, y a los criterios de corte establecidos, se delimitó para cada unidad un área con condiciones favorables para su evaluación como potencial almacén de CO_2 . Luego, se

realizó un nuevo filtrado para reducir aún más el abanico de opciones a evaluar, por lo cual se decidió enfocar el estudio en áreas en las cuales hubiese antecedentes de sistemas probados de contención en subsuelo que disminuyeran la incertidumbre en ese sentido, identificando a los yacimientos de hidrocarburos como lugares ajustados a esa premisa. El resultado de este filtrado derivó en que la evaluación se llevara a cabo dentro de los límites geográficos de los yacimientos presentes en las áreas definidas para cada unidad estratigráfica mencionada.

En cada yacimiento se analizaron todas las unidades geológicas listadas, descartándose aquellas que no pasaran al menos uno de los criterios de corte propuestos previamente, o simplemente no estuvieran presentes en el sitio.

Las unidades geológicas fueron conceptualizadas teóricamente como acuíferos salinos profundos, sin tener en cuenta para esta etapa de trabajo su historial de producción de hidrocarburos, su estado actual de presiones, saturaciones u otras características relacionadas a la presencia y/o producción de hidrocarburos. Esto permitió homogeneizar la metodología de evaluación para todos los candidatos y realizar un estudio expeditivo y sistemático. Estas y otras características, tanto de subsuelo como de superficie, deberán ser tenidas en cuenta en etapas siguientes de estudio.

Los valores de capacidad de almacenamiento en megatoneladas (Mt) de CO₂ fueron calculados previamente a la evaluación por TOPSIS. Para esto, se seleccionó de la base de datos generada la información necesaria para los cálculos, tal como fuera mencionado en la sección anterior.

En las Figs. 4 y 5 se presenta la distribución de capacidades calculadas, observándose amplios

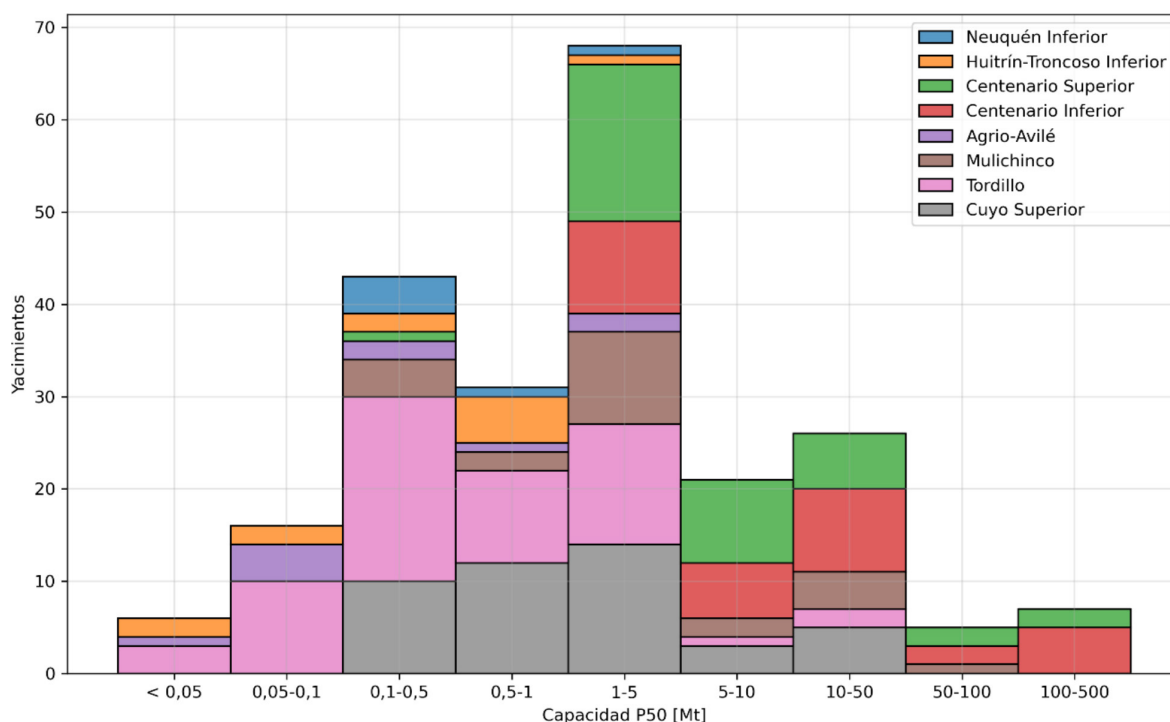


Figura 4. Histograma de valores de capacidad P50 por yacimiento en cuenca Neuquina. Los colores indican la fracción correspondiente a cada unidad estratigráfica en subsuelo.

rangos de valores para las unidades geológicas seleccionadas en cada cuenca, abarcando hasta tres órdenes de magnitud.

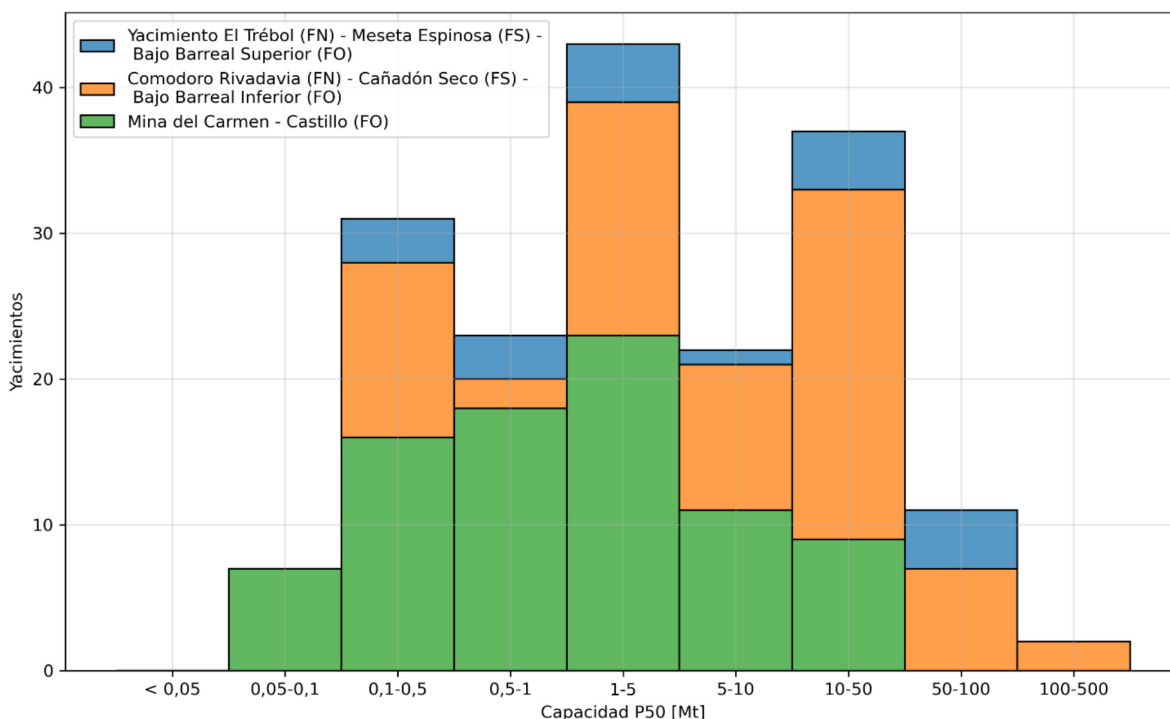


Figura 5. Histograma de valores de capacidad P50 por yacimiento en Cuenca del Golfo San Jorge. Los colores indican la fracción correspondiente a cada unidad estratigráfica en subsuelo.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados por cuenca.

Cuenca Neuquina

En esta cuenca se evaluaron aquellos candidatos que pasaron los filtros previos, siendo estos 226 pares unidad estratigráfica-yacimiento (Fig. 6). Se identifica una importante variación en la cantidad de yacimientos en los cuales las unidades del subsuelo se presentan en condiciones de estudio, lo cual se debe a la presencia de criterios fuera de los rangos adecuados para su evaluación o a una reducida distribución areal en la cuenca.

Paralelamente, tal como fue mencionado, se delimitó para cada unidad un área con condiciones favorables para su evaluación como potencial almacén de CO₂ (Fig. 7). Luego, se evaluó por la metodología TOPSIS la totalidad de los pares unidad-yacimiento que estuvieran enmarcados en las áreas definidas; esto se resume en el histograma de puntajes TOPSIS de la Fig. 8.

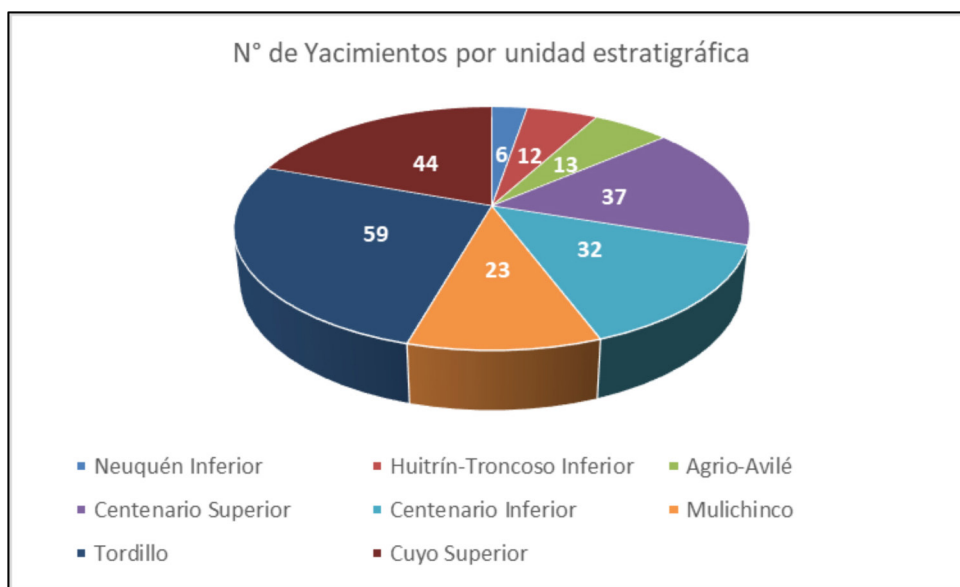


Figura 6. Cuenca Neuquina. Recuento de yacimientos por unidad estratigráfica en condiciones favorables para su evaluación.

A cada región se le asignó una calificación general basada en las premisas planteadas en la Fig. 9. En la Fig. 10 se vuelcan en mapas los resultados obtenidos para cada unidad estudiada.

De lo expuesto, se observa que la Formación Centenario se encuentra en el grupo con los puntajes TOPSIS máximos más altos (grupo 1: azul), seguida la sección superior del Grupo Cuyo y por la Formación Mulichinco, pertenecientes al grupo 2 (verde). En el grupo 4 de puntajes TOPSIS se encuentran el Miembro Avilé de la Formación Agrio y la Formación Tordillo, y en el segmento más bajo, la sección inferior del Grupo Neuquén y el Miembro Troncoso Inferior de la Formación Huitrín. No se observan candidatos en el grupo 3 (amarillo).

Se reconoce también en este trabajo una clara correlación entre los puntajes alcanzados por la metodología multicriterio para los pares unidad-yacimiento con los valores de capacidad de almacenamiento (P50, Mt CO₂) de estos, lo cual se debe en gran medida al peso asignado a este criterio en la matriz de análisis y a la variación de los volúmenes de las unidades geológicas entre los yacimientos seleccionados respecto a los demás parámetros estudiados, los cuales presentan mayor uniformidad. Así, la sumatoria de los valores de capacidad P50 de las unidades de los grupos 1 (azul) y 2 (verde) de la Fig. 10, arroja un valor superior a las 2 gigatoneladas (Gt) de CO₂ almacenable a este nivel de evaluación, mientras que la suma de las capacidades de los demás grupos no superaría las 100 Mt. Estos valores pueden tener variaciones significativas en etapas posteriores de análisis al incorporar mayor detalle a los conceptos evaluados y nuevos parámetros y técnicas de evaluación (Bachu *et al.*, 2007).

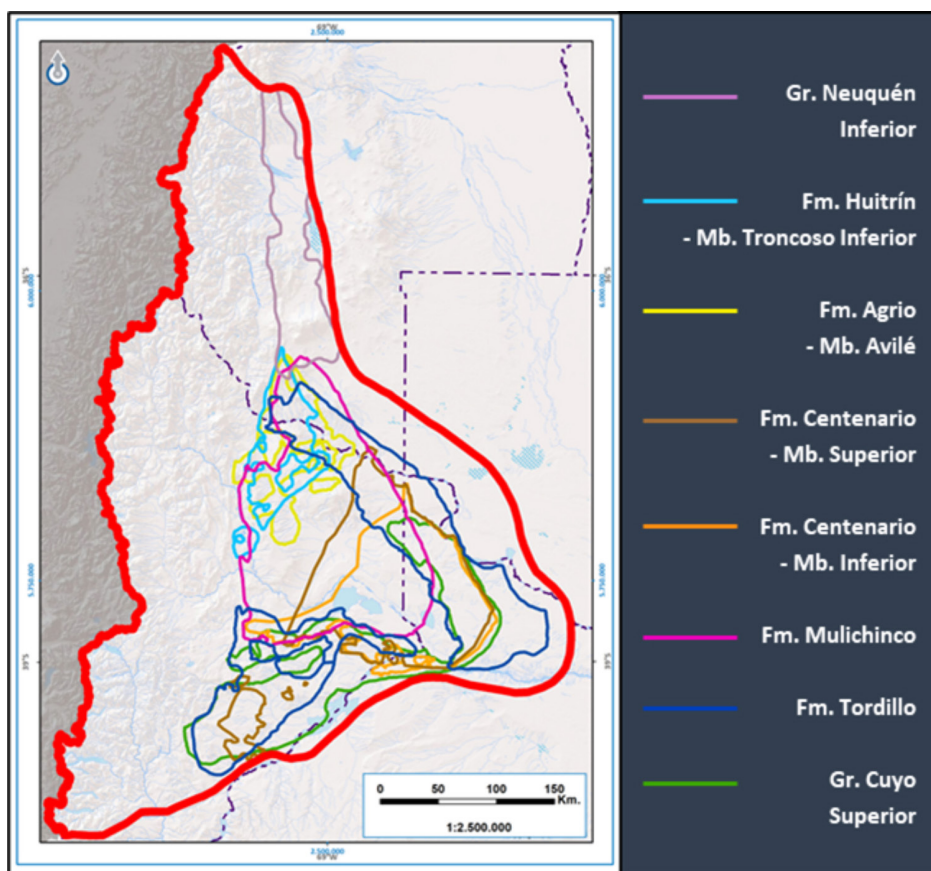


Figura 7. Áreas favorables para la evaluación del potencial de almacenamiento de CO₂ en las unidades estratigráficas seleccionadas de la Cuenca Neuquina.

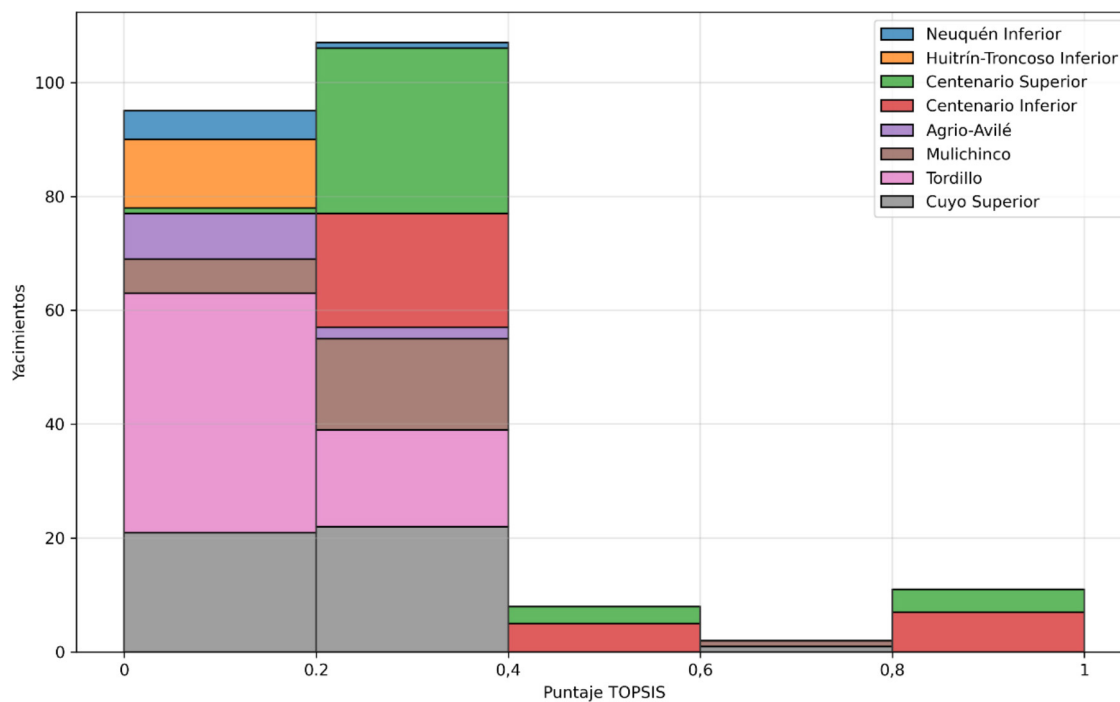
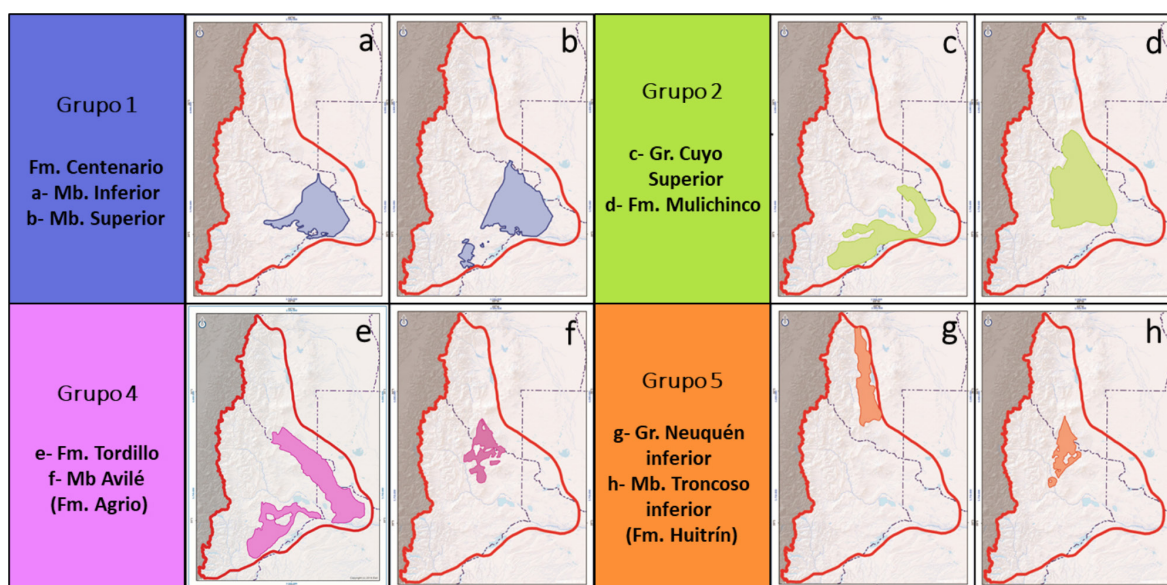


Figura 8. Histograma de puntajes TOPSIS por yacimiento en Cuenca Neuquina. Los colores indican la fracción correspondiente a cada unidad estratigráfica en subsuelo.

Grupo	Características
1	Presencia de valores TOPSIS máximos > 0,9
2	Presencia de valores TOPSIS máximos <0,9 y > 0,7
3	Presencia de valores TOPSIS máximos <0,7 y > 0,3
4	Presencia de ≥10 valores TOPSIS máximos <0,3 y > 0,1
5	Presencia de <10 valores TOPSIS máximos <0,3 y > 0,1

Figura 9. Tabla resumen de los puntajes TOPSIS utilizados para calificar las unidades geológicas seleccionadas.



Cuenca del Golfo San Jorge

En esta cuenca, en línea con lo expuesto anteriormente, se evaluaron aquellos candidatos que pasaron los filtros previos (Fig. 11), quedando definidos 176 pares unidad estratigráfica-yacimiento. La variación en la cantidad de yacimientos en los cuales las unidades del subsuelo se presentaron en condiciones de estudio también es significativa, lo cual respondería a las mismas causas que para la Cuenca Neuquina.

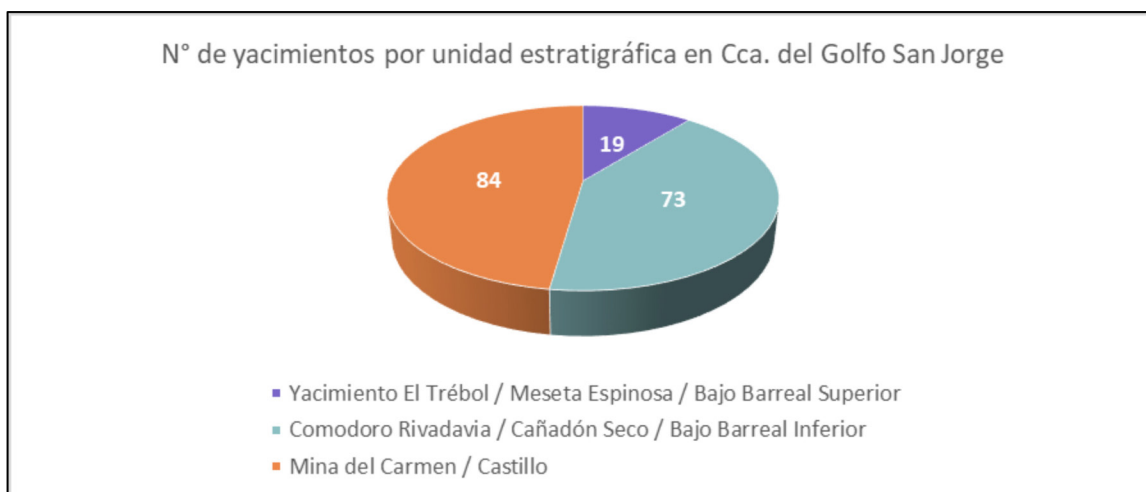


Figura 11. Cuenca del Golfo San Jorge. Recuento de yacimientos por unidad estratigráfica en condiciones favorables para su evaluación.

Siguiendo con la metodología planteada, se trazó para cada unidad el área con condiciones favorables para su evaluación como potencial almacén de CO₂ (Fig. 12).

Luego, se evaluó por la metodología TOPSIS la totalidad de los pares unidad-yacimiento que estuvieran enmarcados en las áreas delimitadas; esto se resume en el histograma de puntajes TOPSIS de la Fig. 13.

A cada región definida se le asignó una calificación general basada en las premisas planteadas en la Fig. 9. En la Fig. 14 se vuelcan en mapas los resultados obtenidos para cada unidad estudiada.

La Formación Comodoro Rivadavia/Cañadón Seco/Bajo Barreal Inferior se encuentra en el grupo con los puntajes TOPSIS máximos más altos (grupo 1: azul), los cuales estarían mejor representados en los flancos Sur y Norte de la cuenca. En el siguiente grupo (2, verde) se ubica la Formación Yacimiento El Trébol/Meseta Espinosa/Bajo Barreal Superior, que tiene su mejor expresión en el Flanco Norte de la cuenca. Por último, la Formación Mina del Carmen/Castillo se encuentra en el grupo 3 (amarillo), con los mejores candidatos en el Flanco Sur.

Respecto a la relación entre los valores alcanzados por la metodología multicriterio con los valores de capacidad de almacenamiento (P50, Mt CO₂) para los pares unidad-yacimiento, tal como fue evaluado para la cuenca Neuquina, se observa una evidente correlación entre ambos, lo cual se debe en gran medida al peso asignado a este criterio en la matriz de análisis y a la variación de los volúmenes de las unidades geológicas entre los yacimientos seleccionados respecto a los demás parámetros estudiados, los cuales presentan menor heterogeneidad. Así, la sumatoria de los valores de capacidad P50 de las unidades de los grupos 1 (azul) y 2 (verde) de la Fig. 14, arroja un valor superior a las 2 Gt de CO₂ almacenable a este nivel de evaluación, mientras que la suma de las capacidades de los grupos restantes sumaría unas 300 Mt.

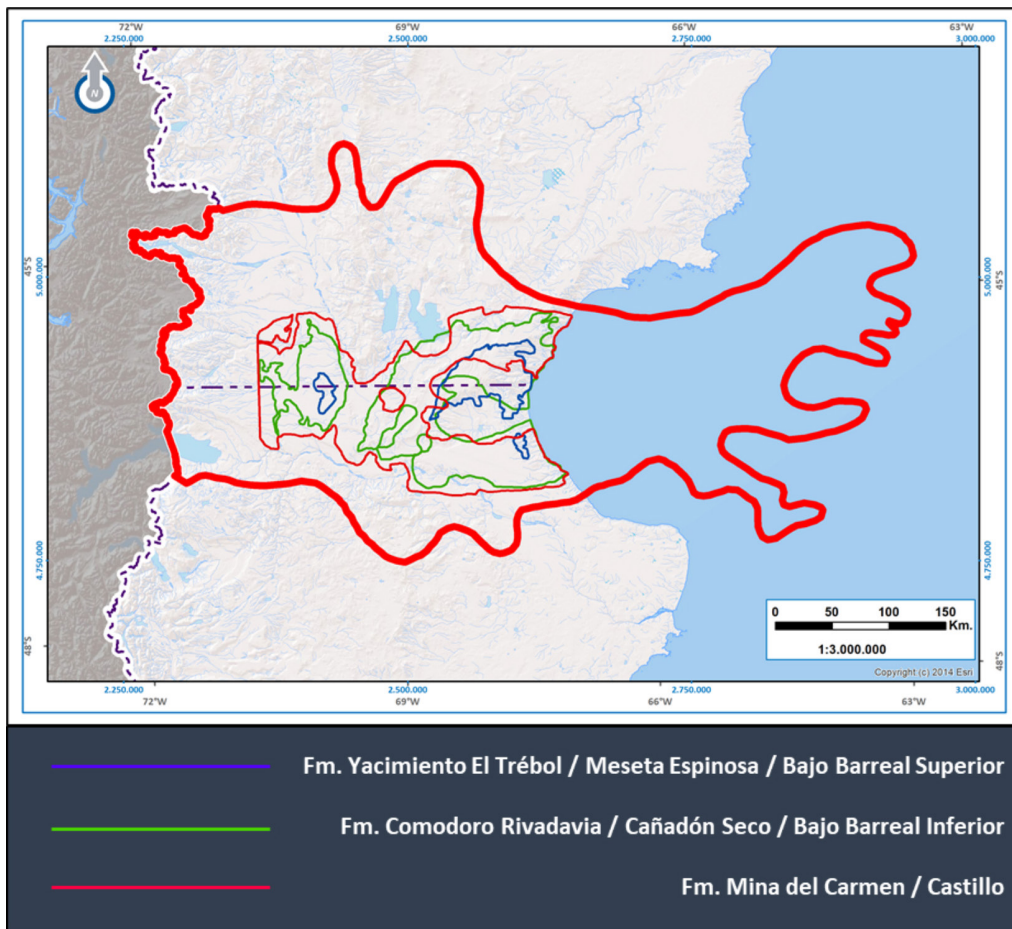


Figura 12. Áreas favorables para la evaluación del potencial de almacenamiento de CO₂ en las unidades estratigráficas seleccionadas de la Cuenca del Golfo San Jorge.

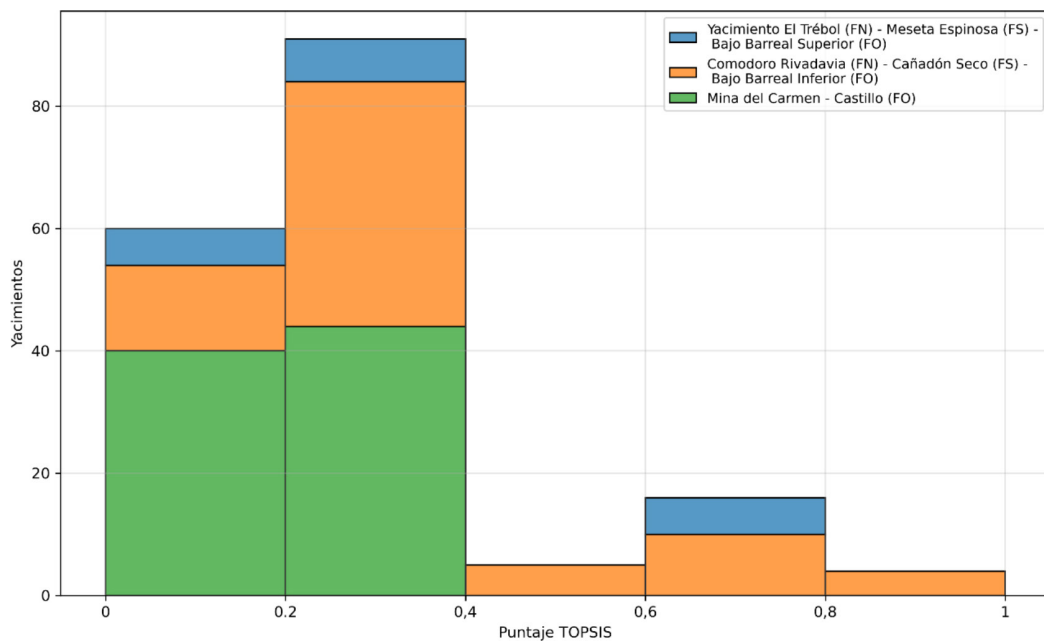


Figura 13. Histograma de puntajes TOPSIS por yacimiento en Cuenca del Golfo San Jorge. Los colores indican la fracción correspondiente a cada unidad estratigráfica en subsuelo.

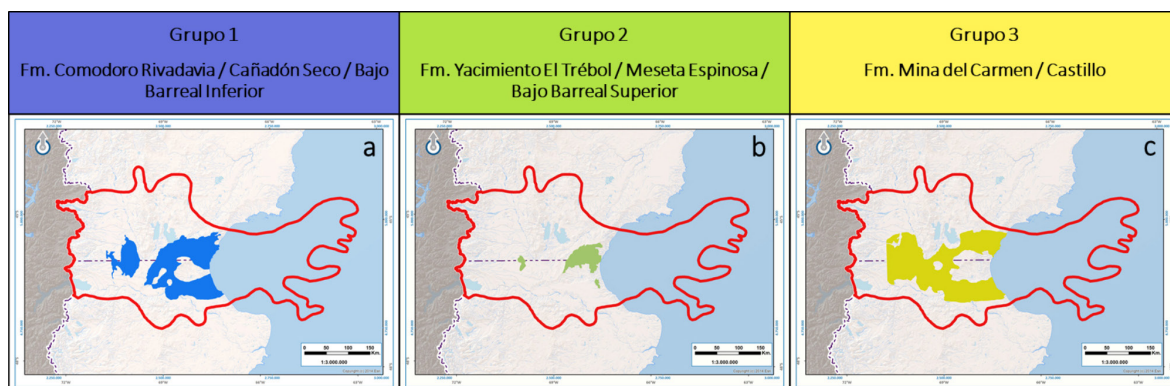


Figura 14. Cuenca del Golfo San Jorge. Grupos asignados a las áreas delimitadas para cada unidad estratigráfica, basados en los criterios de la Fig. 9. a) Formación Comodoro Rivadavia/Cañadón Seco/Bajo Barreal Inferior; b) Formación Yacimiento El Trébol/Meseta Espinosa/Bajo Barreal Superior; c) Formación Mina del Carmen/Castillo.

CONCLUSIONES

En base a lo expuesto en este trabajo, se concluye:

- Ambas cuencas pudieron ser estudiadas satisfactoriamente según el alcance propuesto. A partir de información bibliográfica y exploratoria se evaluó una selección de unidades estratigráficas en yacimientos de las cuencas Neuquina (226) y del Golfo San Jorge (176), luego de la delimitación del área favorable de cada unidad por la aplicación de un conjunto de criterios de corte en mapas exploratorios.
- Las metodologías de cálculo de capacidad y análisis multicriterio mostraron resultados representativos de la heterogeneidad de cada cuenca a una escala de evaluación regional.
- La cuenca Neuquina presenta en su región centro-este, para este nivel de evaluación, un potencial de almacenamiento que ameritaría avanzar con estudios de mayor detalle, principalmente en la Formación Centenario.
- En la Cuenca del Golfo San Jorge, la Formación Cañadón Seco y equivalentes presentan el potencial más relevante, especialmente en los flancos Sur y Norte de la cuenca, en tanto que la Formación Yacimiento El Trébol y semejantes también tendrían condiciones favorables, pero con una extensión areal mucho menor y restringida mayormente al Flanco Norte.

Los resultados obtenidos podrían servir como base de posteriores estudios a partir de los cuales se evalúe a las unidades del subsuelo de estas cuencas como potenciales almacenes de CO₂.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Y-TEC SA, YPF SA, UNRN, UNS y MinCyT por el apoyo brindado en la elaboración y difusión de este trabajo. También, a Eduardo Vallejo, Martín Sánchez y Juan Spacapan por sus valiosos aportes.

REFERENCIAS CITADAS

- Alcalde, J., Heinemann, N., James, A., Bond, C. E., Ghanbari, S., Mackay, E. J., Haszeldine, R. S., Faulkner, D. R., Worden, R. H., Allen, M. J., 2021. A criteria-driven approach to the CO₂ storage site selection of East Mey for the acorn project in the North Sea, *Marine and Petroleum Geology*, Volume 133, 105309, ISSN 0264-8172.
- Bachu, S., 2002. Sequestration of CO₂ in geological media in response to climate change: roadmap for site selection using the transform of the geological space into the CO₂-phase space. *Energy Convers Manage* 43:87–102.
- Bachu, S., 2003. Screening and ranking of sedimentary basins for sequestration of CO₂ in geological media in response to climate change. *Environmental Geology*, 44(3), 277-289.
- Bachu, S., Bonijoly, D., Bradshaw, J., Burruss, R., Holloway, S., Christensen, N., Mathiassen, O., 2007. CO₂ storage capacity estimation: Methodology and gaps, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Volume 1, Issue 4, Pages 430-443.
- Bentham, M., 2014. CO₂ Storage Evaluation Database (CO₂ Stored). The UK's online storage atlas. *Energy Procedia* 63:5103 – 5113.
- Blondes, M.S., Brennan, S.T., Merrill, M.D., Buursink, M.L., Warwick, P.D., Cahan, S.M., Cook, T.A., Corum, M.D., Craddock, W.H., DeVera, C.A., Drake, R.M., II, Drew, L.J., Freeman, P.A., Lohr, C.D., Olea, R.A., Roberts-Ashby, T.L., Slucher, E.R., and Varela, B.A., 2013. National assessment of geologic carbon dioxide storage resources—Methodology implementation: U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1055, 26 p. <http://pubs.usgs.gov/of/2013/1055/>
- Carlotto, V., 2019. Análisis multicriterio para la ubicación de los posibles proyectos de inyección geológica de CO₂ en el Perú. Tesis. Especialidad de Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- Goodman, A., Sanguinito, S., Levinea, J. S., 2011. Prospective CO₂ Saline Resource Estimation Methodology: Refinement of Existing US-DOE-NETL Methods Based on Data Availability. *International Journal of Greenhouse Gas Control*.
- Halland, E., 2018. Characterization and Classification of CO₂ storage sites on the Norwegian Continental Shelf. 14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-14, 21st -25th October 2018, Melbourne, Australia.
- Llamas, B., 2009. Captura y Almacenamiento de CO₂: criterios y metodología para evaluar la idoneidad de una estructura geológica como almacén de CO₂. Universidad de Huelva, p. 153-155.
- Llamas, B. y Cienfuegos, P., 2012. Multicriteria decision methodology to select suitable areas for storing CO₂. *Energy & Environment*, 23 (2-3): 249-264.

- Ruíz, C. A., Prado, J., Campos, R., Hurtado, A., Pelayo, M., de la Losa, A., Martínez, R., Ortiz, G., Sastre, J., Pérez del Villar, L., Eguilior, S., Lomba, L., Recreo, F., 2006. Almacenamiento Geológico de CO₂. Criterios de Selección de emplazamientos. 1085. Informes Técnicos Ciemat.
- Sanguinito, S., Goodman, A., Sams, J., 2018. CO₂-SCREEN tool: Application to the Oriskany Sandstone to estimate prospective CO₂ storage resource International. *Journal of Greenhouse Gas Control* 75:180–188
- Sanguinito, S., Goodman, A.; Haeri, F., 2020. CO₂ Storage prospeCtive Resource Estimation Excel aNalysis (CO₂-SCREEN) User's Manual; DOE/NETL-2020/2133; NETL Technical Report Series; U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory: Pittsburgh, PA.
- Sitio web de U.S. Department of Energy (DOE), National Energy Technology Laboratory (NETL), <https://netl.doe.gov/node/5829>, Best Practices: Site Screening, Site Selection, and Site Characterization for Geologic Storage Projects DOE/NETL-2017/1844, Junio 2017. Acceso 02 de junio de 2022.
- Sitio web del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, <https://argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/contribucion-nacional>, segunda contribución determinada a nivel nacional actualizada, Argentina, octubre 2021. Acceso 02 de junio de 2022.
- Wright, R., Mouritz, F., Rodríguez, L., Dávila, M., 2013. The First North American Carbon Storage Atlas. *Energy Procedia* 37:5280 – 5289.