

Análisis de factores críticos para el diseño del transporte de CO₂ en EE.UU.

Critical factors analysis for the design of CO₂ transportation in the USA.

Presentación: 17/10/2023

Agustina Trucharte

Centro de Aplicaciones Informáticas y Modelado en Ingeniería, Facultad Regional Rosario, Universidad Tecnológica Nacional
agustinatrucharte@gmail.com

Resumen

El CO₂ es el representante por excelencia de los gases de efecto invernadero en nuestro planeta, principales responsables del cambio climático que se ha visto acelerado en las últimas décadas. Con el objetivo de reducir tales efectos, se han propuesto diferentes metodologías que permiten la disminución de las emisiones de CO₂, siendo una de las más conocidas por su efectividad la captura - transporte y disposición final de dicho gas. Esta presenta un gran desafío de diseño ingenieril, fundamentalmente el transporte de CO₂ considerando la reducción del costo y el impacto tecnológico- ambiental. En este trabajo se abordan las principales problemáticas asociadas a esta operación en Estados Unidos. Se evalúan la ubicación de las fuentes fijas de CO₂, las plantas de captura existentes y los posibles puntos de almacenamiento; la influencia del relieve del terreno, la densidad poblacional y las medidas de mitigación- prevención de fugas de CO₂ sobre el costo de instalación- operación.

Palabras clave: Transporte de CO₂, riesgo tecnológico, impacto ambiental.

Abstract

CO₂ is the quintessential representative of greenhouse gases on our planet, primarily responsible for the climate change that has accelerated in recent decades. In order to mitigate these effects, various methodologies have been proposed to reduce CO₂ emissions, with one of the most well-known and effective being the capture, transport, and final disposal of this gas. This presents a significant engineering design challenge, particularly in the transportation of CO₂, considering cost reduction and technological-environmental impact. This work addresses the main issues associated with this operation in the United States. It evaluates the location of fixed sources of CO₂, existing capture plants, and possible storage points; the influence of terrain relief, population density, and CO₂ leakage mitigation and prevention measures on installation and operation costs.

Keywords: CO₂ pipelines, technological risk, environmental impact.

Introducción

La actividad industrial se ha incrementado en forma potencial en las últimas décadas, y uno de los impulsores que posibilita este desarrollo es el uso de combustibles fósiles como abastecedor de energía. Los mismos se caracterizan por no forman parte del ciclo de carbón natural que se desarrolla en nuestra atmósfera.

El efecto principal que ha causado el consumo de estos combustibles es el calentamiento global, el mismo se da por la acumulación de gases de efecto invernadero en nuestra atmósfera siendo el principal el CO₂. Esto se debe a que el conjunto de sistemas biológicos disponibles en el planeta tiene una capacidad limitada de retención de carbono y las cantidades producidas en los últimos años sobrepasan ampliamente este límite. Los depósitos de carbono que componen los combustibles fósiles utilizados se encontraban fuera del ciclo, dentro de la corteza terrestre, pero la desmesurada actividad industrial puso en circulación más de lo que nuestro planeta es capaz de reabsorber (IPCC, 2023).

La disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero ha sido una de las principales preocupaciones de la comunidad científica en la actualidad. Una de las medidas de mitigación del cambio climático adoptadas en Estados Unidos y Europa radica en la captura y transporte del CO₂ emitido, para su almacenamiento en depósitos naturales o para ser utilizado como materia prima

Una vez realizada estas divisiones se procedió a cuantificar las emisiones y capturas de CO₂ (DOE, 2015) en cada una de las celdas mediante la herramienta de geoproceso – unión de capas vectoriales, obteniendo los resultados expuestos en las figuras 2 y 3.

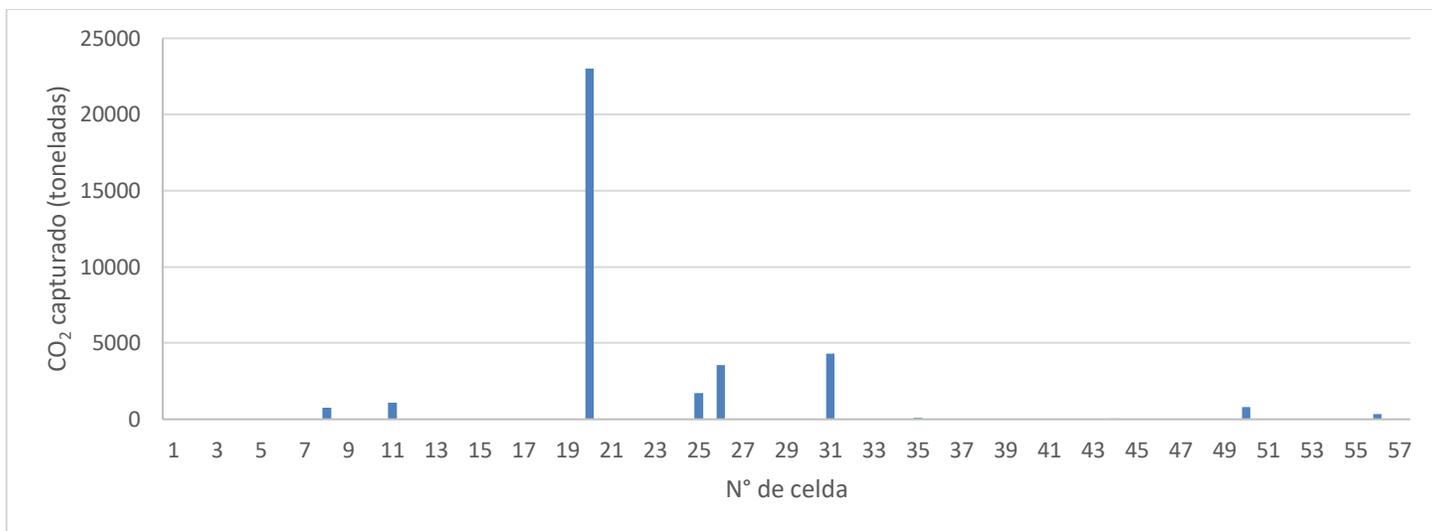


Figura 2. Toneladas de CO₂ capturadas por celda.

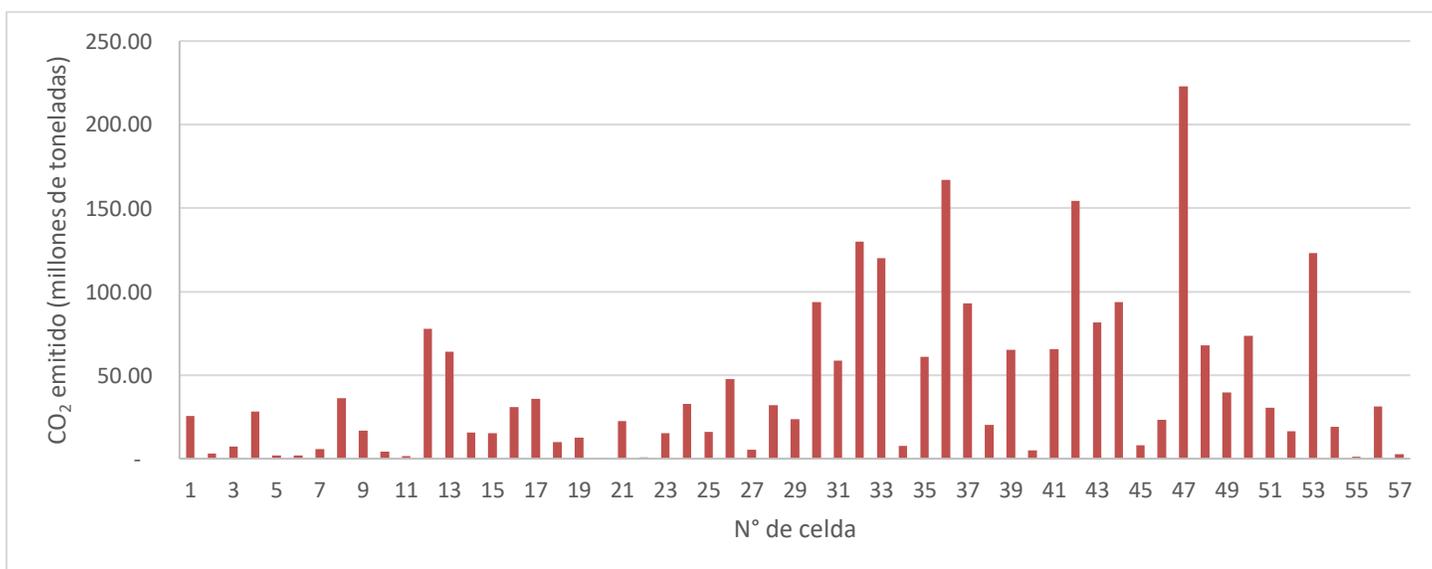


Figura 3. Millones de toneladas de CO₂ emitidas por celda.

De esta forma se pueden identificar las celdas con las mayores cantidades de CO₂ emitidas y porcentaje que es capturado actualmente. Como puede observarse en las figuras, el dióxido de carbono capturado no llega a representar ni el 1% del emitido en ninguna de las celdas.

Finalmente se realiza un análisis de la disposición final del CO₂. A la hora de seleccionar el sitio óptimo y seguro para el almacenamiento geológico del dióxido de carbono, el mismo debe cumplir una serie de características generales. Es decir, debe poseer la capacidad y permeabilidad suficiente para la inyección de la sustancia (roca reservorio), contar con una unidad confinante adecuada que asegure el almacenamiento sin posibilidades de escape del gas (roca sello), bajos gradientes geotérmicos (la seguridad del almacenamiento aumenta a mayor densidad de CO₂) y por último una ubicación sin actividad sísmica (lejos de los bordes las placas tectónicas o cerca de márgenes pasivos) (Dublo, 2015). En la figura 4, se pueden observar la ubicación de los depósitos naturales subterráneos de CO₂ en el territorio de EE.UU. (DOE, 2015).

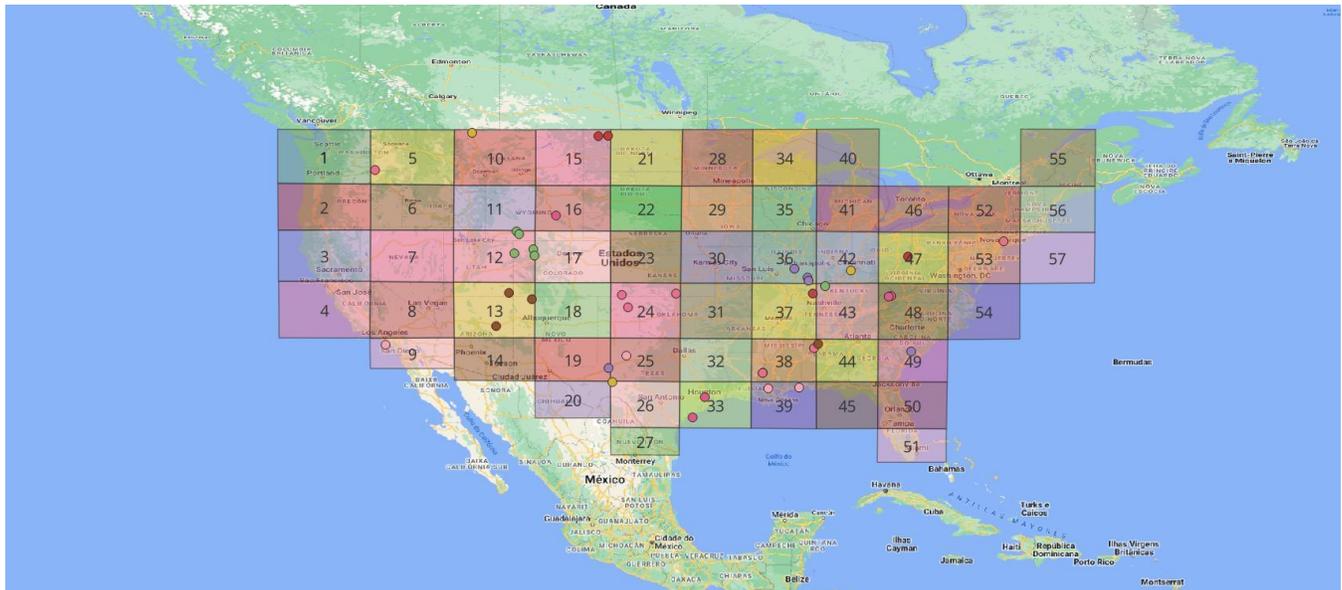


Figura 4. Puntos estratégicos de almacenamiento de CO₂

Algunos de estos depósitos son yacimientos petroleros en los cuales el CO₂ se inyecta a altas presiones con el objetivo de extraer el petróleo de los mismos. En estos yacimientos el CO₂ fue un excelente reemplazo del agua debido a la gran dificultad de purificar la misma una vez inyectada (Abel, 2007). A partir de esta información se identificaron también los principales reservorios naturales, destacando ante todo la región de la cuenca pérmica (Permian Basin) en el oeste del estado de Texas (celdas 19 y 20) debido a su gran potencial para el almacenaje de la sustancia ya que se estima que tendría la capacidad de almacenar 2.97 millones de toneladas de CO₂ y la posibilidad de utilizar este gas en la extracción del petróleo en los yacimientos de la zona. Se seleccionó este punto estratégico como uno de los principales destinos para la disposición final de las rutas a optimizar dada su elevada capacidad de almacenamiento. Se identificó también una gran cantidad de industrias productoras de metanol que se encuentran en el estado de Texas y en el de Luisiana (celdas 32 y 38). Estas industrias utilizan como materia prima el CO₂ por lo que estos destinos también se seleccionaron como puntos de disposición final estratégicos.

A la hora de realizar un análisis para la implementación de nuevas rutas de transporte se debe contemplar el peso del relieve que atravesará el sistema de transporte en la función costo, ya que cuanto más montañoso el relieve más costosa y dificultosa la instalación de la red de tuberías. En la figura 5, se muestra el modelo digital de elevaciones obtenido mediante el uso de una extensión del software QGis (Open Topography DEM) junto con el mapa físico del país. Este tratamiento de datos, permite penalizar de acuerdo a una escala propuesta por (D'Amore, F. et al, 2018) la conexión de tuberías por distintos relieves en un rango de 1 (llanuras) a 1.5 (>80% montañoso). De esto se desprende, que las zonas abarcadas por las celdas 1 a la 20 presenta un relieve montañoso. Simultáneamente en estas zonas las emisiones de CO₂ no son menores y actualmente no son abarcadas por la red de transporte implementada en el territorio. Razón suficiente para ser incluidas en una red de transporte futura, considerando una penalización en la función del costo, dada la característica del terreno.

Además de esto, otro factor que se tuvo en cuenta a la hora de determinar las rutas de transporte de esta sustancia fue la densidad poblacional del país. Este factor es fundamental al momento de evaluar el riesgo social ya que se debe evitar la red de transporte abarque estas zonas donde el riesgo es mayor. Para lograr esto en el desarrollo del modelo se le asignó distintos pesos a las celdas en función de la densidad poblacional de las mismas de forma tal que el modelo evite pasar por las celdas sobre las cuales el transporte presentaba un mayor riesgo social. En la figura 6 se muestra el mapa de la densidad poblacional de EE.UU donde puede apreciarse que la zona oeste del país (abarcada por las celdas 28 a 57) es aquella con la mayor densidad poblacional.

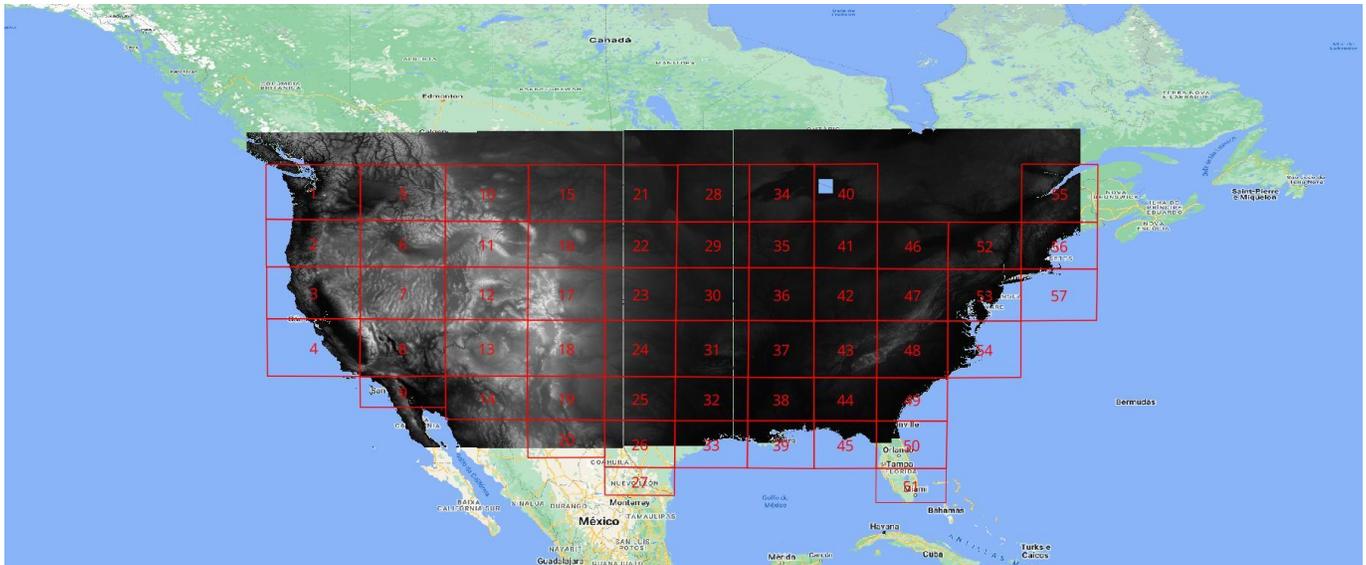


Figura 5. Mapa físico de Estados Unidos.

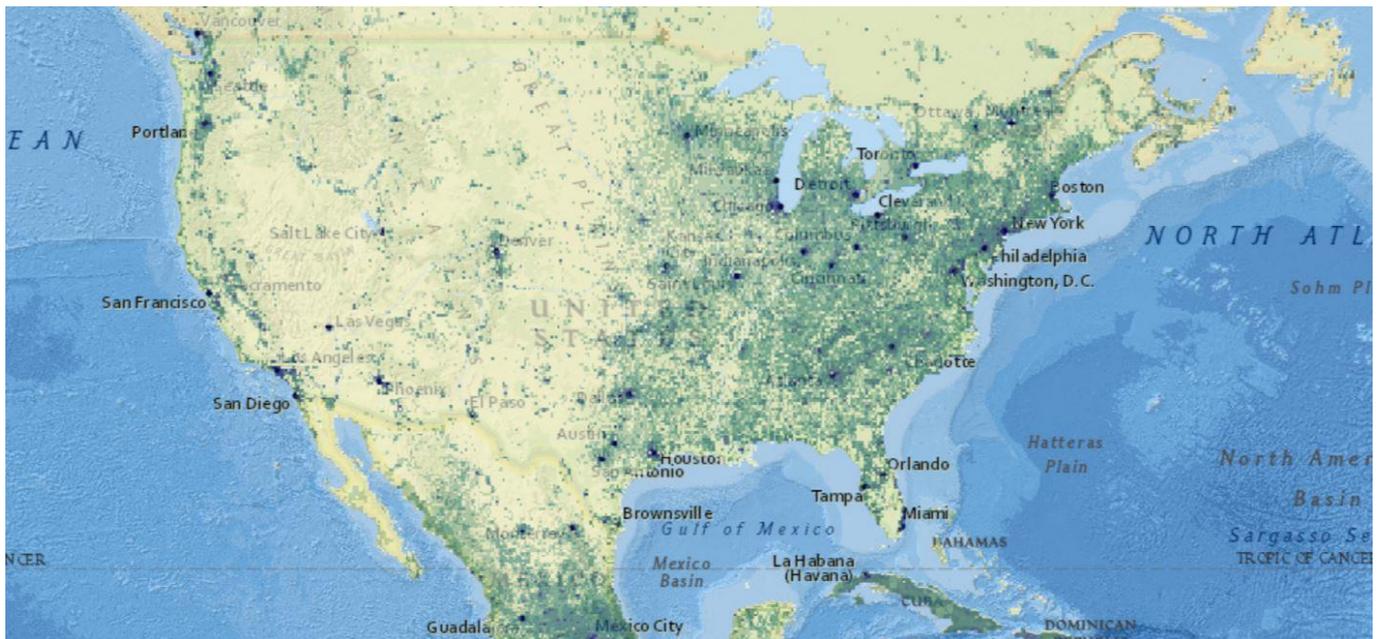


Figura 6. Densidad poblacional de Estados Unidos.

Otro aspecto analizado fueron los peligros para la salud que provocan la exposición al CO_2 . Estar expuesto al CO_2 en concentraciones que rondan entre el 2 y el 5% dificulta notablemente la respiración, provocando que esta pueda incrementarse hasta el doble de la velocidad de respiración normal. Para concentraciones mayores al 10% las probabilidades de pérdida de conocimiento aumentan drásticamente. Para concentraciones iguales a 10% el umbral estimado para la inconsciencia es de 30 minutos mientras que para concentraciones del 20% la pérdida de conocimiento se alcanza en menos de un minuto. Al tratarse el CO_2 como un gas inerte no suele existir suficiente concientización acerca de los peligros que puede generar en la salud humana estar expuesto a este. Sin embargo, es interesante observar que las fugas de determinados gases inertes o las atmósferas ricas en los mismos pueden ser extremadamente peligrosas, ya que posiblemente no sean detectadas al ser respiradas (inodoros y no irritantes). Uno de los potenciales peligros de los gases inertes radica en que su presencia provoca la reducción de la concentración de oxígeno; cuando se respira en una atmósfera suboxigenada, es decir, con una proporción de oxígeno inferior a la normal, se corre un riesgo de asfixia tanto más grave cuanto menor sea la cantidad de oxígeno y cuanto mayor sea el tiempo de exposición (Casal, 2018).

Resultados esperados

Se pretende que este análisis facilite el planteo de un problema de optimización que permita el diseño de una red de transporte de CO₂ y posibles nuevas localizaciones de plantas de captura de CO₂ dado la falta de las mismas en función del CO₂ emitido, es decir contemplando la cantidad emitida, cual es el beneficio de instalar una planta de captura en función del tipo de captura a efectuarse, costos y riesgos asociados.

Al mismo tiempo se deberá considerar como restricción el riesgo social (la cantidad de personas afectadas dado un eventual accidente que involucre la fuga de CO₂) para seleccionar desde la celda de partida (origen de CO₂ capturado), la celda adyacente (celda de disposición final o transitoria) con menor densidad poblacional como camino óptimo. Para reducir el riesgo social, podrían considerarse diferentes medidas de mitigación asociadas a un costo a modo de penalización.

También deberá considerarse el relieve del terreno sobre el que se instalarán las redes de transporte de CO₂ teniendo en cuenta que cuanto más montañoso el mismo mayor la dificultad de la implementación de la red y mayor el costo de mantenimiento de la misma. Por esta razón es fundamental reducir el transporte por celdas de relieve montañoso, lo cual se logra penalizando el mismo por medio de un factor designado como factor terreno.

Todos estos factores analizados, serán considerados al implementar un modelo de logística definiendo como función objetivo la minimización del costo de instalación y operación de las plantas de captura y la red de tuberías.

Este modelo de logística podría emplearse para cualquier territorio, siempre y cuando se disponga de una base de datos de emisiones, captura y almacenamiento de CO₂.

Conclusiones

Por medio del análisis realizado en este trabajo, se expone la importancia del estudio de nuevas instalaciones para la captura y transporte de CO₂ en EE.UU. Con este objetivo, se vinculan diferentes aspectos a tener en cuenta: fuentes de emisiones de CO₂ fijas, posibles puntos de almacenamientos, nuevas localizaciones de plantas de captura como así también la necesidad de considerar la densidad poblacional del territorio y los desafíos que se plantean en cuanto al relieve de cada zona. La posibilidad de salvar tales dificultades con diferentes medidas de mitigación asociadas a un costo económico para reducir el riesgo social, un factor importante a considerar dado los daños ocasionados sobre las personas en caso de fuga de CO₂.

El objetivo de este análisis es contribuir en la comprensión de la lógica del transporte de CO₂ desde un punto de vista del riesgo tecnológico. Se espera que en un futuro trabajo se cuente con un mayor volumen de emisiones capturadas ya que en la actualidad las emisiones capturadas son mínimas en comparación con las fuentes de CO₂ que se liberan a la atmósfera.

Referencias bibliográficas

Aaron Paul Abel (2007) *CO₂ sequestration in the permian basin: examination of above-ground mineralization and subsurface solubility trapping capacities and evaluation of dawsonite kinetics in geologic sequestration*. Socorro, New Mexico: New Mexico Institute of Mining and Technology.

Casal, J. (2018). *Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants*. Elsevier, 2da Ed.

D'Amore, F., Mocellin, P., Vianello, C., Maschio, G. y Bezzo, F. (2018). "Economic optimisation of European supply chains for CO₂ capture, transport and sequestration, including societal risk analysis and risk mitigation measures". *Applied Energy* 223 401-415.

D'Amore, F. y Bezzo, F. (2017). "Economic optimisation of European supply chains for CO₂ capture, transport and sequestration". *International Journal of Greenhouse Gas Control* 65 99-116.

Dlamini, G. M., Fosbøl, P. L., Ness, K., Remiezowicz, E., Losnegård, S. E. y Von Solms, N. "Optimisation of carbon dioxide pressurisation pathways for pipeline offshore delivery". *International Journal of Greenhouse Gas Control* 128

DOE Department of Energy – NETL National Energy Technology Laboratory (2015). *Carbon Storage Atlas (Atlas V)*, 5th Ed.

Dublo, A. R. (2015). *Estudio de potencial de mitigación - Potencial de Captura y Almacenamiento de Carbono Volumen 1 – Energía*.

IPCC, 2023: Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Faruque Hasan, M.M., First, E. L., Boukouvala, F., Floudas, C. A. (2015). “A multi-scale framework for CO2 capture, utilization and sequestration: CCUS and CCU”. *Computers and Chemical Engineering* 81 2-21

United Nations Environment Programme (2022). *Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies*. Nairobi. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>