

Evaluación de las imágenes satelitales del sensor TROPOMI para el análisis de los niveles de metano en la provincia de Neuquén

Corina Sanucci¹, Soledad Represa^{1,2} y Andrés Porta¹

¹ Centro de Investigaciones del Medioambiente (CIM), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), National University of La Plata (UNLP), 47 y 115, s/n. CP B1900AJL, La Plata, Argentina

`rinasanucci@gmail.com`, `{aporta, sol.represa}@quimica.unlp.edu.ar`

² Geo-Environmental Cartography and Remote Sensing Group, Department of Cartographic Engineering, Geodesy and Photogrammetry, Universitat Politècnica de València, Camí de Vera, s/n. CP 46022, Valencia, Spain

Resumen. La teledetección ofrece una gran ventaja para el monitoreo de metano en zonas de difícil acceso, como son los pozos de producción petrolera. El satélite Sentinel-5P, recientemente lanzado por la Agencia Espacial Europea, cuenta con un nuevo sensor de alta resolución diseñado para la detección de gases en la columna atmosférica. En este trabajo se evaluó el uso de las imágenes del sensor TROPOMI para estudiar la distribución de las concentraciones de metano en el área de la cuenca neuquina. Si bien este es un estudio preliminar, se pudo observar con claridad una mayor concentración en las zonas de extracción. A su vez, se observó una relación directa entre los meses de mayores concentraciones y los de mayor producción de petróleo.

Palabras Clave: Metano, Teledetección, Sentinel-5P, TROPOMI.

1 Introducción

La Industria petrolera representa el primer eslabón en la cadena productiva de hidrocarburos, con producciones anuales de petróleo y gas natural entre 28 y 47 millones de m³ en Argentina [IAPG, 2018]. En este sentido, Argentina se caracteriza por tener el segundo recurso más grande de gas no convencional a nivel mundial, y el cuarto de petróleo no convencional [EIA, 2013]. Esta actividad genera emisiones de CH₄ a lo largo de toda la cadena de producción, como consecuencia tanto de operaciones normales como de problemas operativos.

El CH₄ es un gas incoloro e inodoro, y es el principal componente del gas natural, recurso que representa más del 50% de la energía primaria en nuestro país [Griffa, 2018]. Además, es el segundo gas de efecto invernadero (GEI) más importante, con una vida media en la atmósfera de una década y teniendo como principal producto de degradación el CO₂, el mayor GEI [Allen et al., 2018].

Las fugas de CH₄ ocurren en la producción, procesamiento, transporte y distribución del gas natural y en la producción de petróleo, en cantidades de 52-68 Tg/año, representando un 20% de las emisiones totales de origen antropogénico [Denman et al., 2007]. Si bien, parte de estas fugas son operaciones habituales y premeditadas, como los venteos en bocas de pozo, una alta proporción se debe a sistemas de monitoreo poco eficientes que no logran su detección a tiempo [Varon et al., 2019].

Actualmente, las empresas cuentan con distintos métodos para la detección y medición de los escapes. Sin embargo, todos ellos implican la manipulación directa del instrumental por parte de un operador en las inmediaciones de las instalaciones, actividad que requiere de medidas de seguridad especiales [Bylin et al., 2011]. Aún los métodos más efectivos que permiten detectar las fugas a cierta distancia, como cámaras infrarrojas, requieren de un operador y su costo es elevado [Bylin et al., 2011].

La implementación de imágenes satelitales en el monitoreo de rutina permite abarcar una extensa cobertura espacial, brindando información de amplias zonas e incluso áreas inaccesibles. Los sensores empleados en la teledetección de gases presentan una buena resolución radiométrica y un período de revisita diario o de pocos días, permitiendo identificar los componentes de la atmósfera mediante un monitoreo regular [Engel-Cox et al., 2004].

El sensor TROPospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) a bordo del satélite Copernicus Sentinel-5P (S5P), lanzado en octubre del 2017 por la European Space Agency (ESA), brinda una mejor resolución espacial que su antecesor, el sensor OMI a bordo del satélite Aura [Veefkind et al., 2012]. Su reciente lanzamiento convoca a la comunidad científica a pensar en futuras aplicaciones para estos productos satelitales.

En este sentido, algunos trabajos muestran la posibilidad de desarrollar un sistema de detección de escapes de CH₄ diario con imágenes satelitales, facilitando su localización temprana y disminuyendo los riesgos y los costos que estos generan [Cusworth et al., 2018; Jacob et al., 2016; de Gouw et al., 2020]. En esa línea, en este trabajo presentamos una evaluación preliminar de las mediciones de CH₄ en la columna atmosférica para el área de la cuenca Neuquina, principal zona de explotación hidrocarburífera del país. Para ello, se evaluó la calidad de los productos satelitales de TROPOMI para el CH₄ en la columna atmosférica y las concentraciones medias detectadas desde su lanzamiento hasta febrero del 2020.

2 La Teledetección de metano

La teledetección es un modo de obtener información desde la distancia. Para ello, se cuenta con instrumentos ópticos de observación que utilizan la energía lumínica, desde una fuente artificial o la energía proveniente del sol, para realizar la identificación [Engel-Cox et al., 2004]. La teledetección atmosférica permite medir gases, sólidos y líquidos presentes en la columna atmosférica, posibilitando el monitoreo de calidad de aire de manera sistemática y continua [Represa, 2020].

El funcionamiento de los sensores remotos se basa en los fenómenos fisicoquímicos a nivel molecular, donde los componentes de la atmósfera interactúan con la luz, mediante los fenómenos de absorción o dispersión [Simonds et al., 1994]. La recuperación de la concentración de CH_4 en la columna atmosférica se centra en las diferencias entre los espectros de absorción de los componentes atmosféricos [Jacob et al., 2016]. El algoritmo de recuperación del instrumento S5P está basado en el modelo RemoTeC [Butz et al., 2010; Butz et al., 2011], el cual emplea la banda A del Oxígeno alrededor de los 760 nm (IR cercano 757-774 nm) y la banda de absorción del CH_4 en el IR de onda corta (2305-2385 nm).

El instrumento TROPOMI es un espectrómetro de imagen a bordo del satélite S5P y cubre las bandas de longitud de onda UV y visible (270-500 nm), IR cercano (675-775 nm) e IR de onda corta (2305-2385 nm). Utilizando técnicas de teledetección pasiva mide, en la cima de la atmósfera (TOA), la radiación solar reflejada por la Tierra y radiada desde ésta. Esto permite visualizar una amplia gama de contaminantes gaseosos como el NO_2 , el O_3 , el formaldehído, el SO_2 , el CH_4 y el CO . El sensor TROPOMI tiene un ancho de barrido de ~2600 km en la superficie de la Tierra. Desde su fecha de lanzamiento hasta el 6 de agosto de 2019 su resolución espacial fue de 7x3.5 km cerca del nadir, la cual luego fue corregida a 5.6x3.5 km.

3 Metodología

Se definió como área de estudio la cuenca Neuquina, localizada al este de los Andes, en la Patagonia Argentina (Fig. 1). Gran parte de la cuenca se encuentra ubicada en la provincia de Neuquén, pero se extiende por las provincias de La Pampa, Río Negro y Mendoza, alcanzando un área superior a los 120.000 km². Actualmente, el 42% de la producción de petróleo de la Argentina y el 55% de la producción de gas provienen de yacimientos ubicados en esta cuenca.

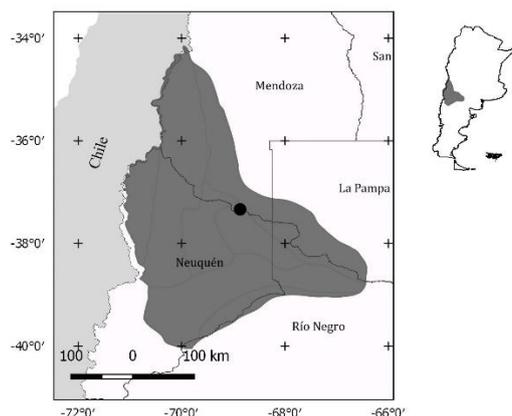


Fig. 1. Mapa de la cuenca Neuquina. El círculo negro se ubica en el yacimiento Chachahuén.

4

Los datos de CH₄ en la columna atmosférica del sensor TROPOMI se descargaron en formato NetCDF de Mundi Web Services (<http://mundiwebservices.com>), una plataforma para el acceso de datos del Programa Copernicus de la ESA. Se trabajó con el producto Nivel 2, que presenta un período de revisita diario.

El dominio de trabajo se delimitó entre las coordenadas (-72.1, -41, -67.5, -35.8). El pretratamiento de los datos consistió en extraer de los archivos NetCDF las mediciones de CH₄ para cada píxel con un nivel de calidad superior a 0.4 y se corrigió la codificación de los valores faltantes. Tras esto, se crearon mosaicos diarios del área de estudio para realizar mapas con las concentraciones medias mensuales. En la Figura 2 puede verse un esquema de la metodología empleada. Finalmente, se evaluó la evolución de las mediciones de CH₄ en uno de los pozos del yacimiento Chachahuén, de la formación Vaca Muerta, ubicado al sur de Mendoza dentro de la cuenca (-68.870, -37.335).

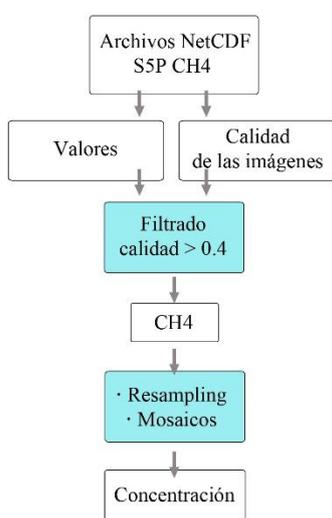


Fig. 2. Descripción de la metodología empleada.

4 Resultados preliminares y discusión

4.1 Preprocesamiento de los datos

Para el período comprendido entre el 28 de noviembre de 2018 y el 17 de febrero de 2020 (14 meses) se descargaron un total de 908 archivos NetCDF. El dominio seleccionado no queda cubierto dentro de una única franja de barrido del satélite, por lo que se requirieron 2 imágenes diarias para cubrir completamente el área. Solo 491 imágenes presentaron algún dato para el área dentro del período. La proporción de datos ha sido muy baja, cercana al 5%. La pérdida de datos al aplicar la capa de calidad nivel 0.4 fue aún mayor, conteniendo finalmente escenas con solo un 2.5% de datos para cada día. Tras esto se hizo un remuestreo utilizando el método del vecino más cercano para

generar imágenes únicas diarias. Finalmente, obtuvimos 381 imágenes diarias para toda la escena estudiada con solo un 64% de datos faltantes.

4.2 Descripción estadística

La concentración media diaria detectada para el dominio de estudio fue de 1789.47 ppb. Si bien esta concentración es inferior a la media global (1869 ± 2 ppb) [World Meteorological Organization, 2019], esta comparación debe considerar el gradiente latitudinal que sucede a nivel planetario. La radiación solar influye en la tasa de descomposición del CH_4 [Seinfeld & Pandis, 2016] y, por tanto, en las concentraciones observadas. Por ello, se observa un gradiente norte-sur de la relación de mezcla de CH_4 , el cual es del orden del 1% por grado de latitud [Rasmussen & Khalil, 1984]. Al comparar con los valores de referencia para nuestra latitud (1740 ppb) [Marinone, 2016], se observa que las concentraciones en este área son mayores a la media de la región [Park et al., 2013].

Resulta llamativo que la distribución espacial no es homogénea en el territorio. En la **Figura 3** se muestra un mapa de los niveles medios y la desviación media absoluta para cada pixel en todo el período de estudio. Las zonas en gris claro señalan una falta de datos para el período de estudio, lo cual puede deberse a problemas en la recuperación de las concentraciones por el algoritmo. Como puede observarse en el primer mapa, se detectan zonas en la región central y noreste del área analizada donde la concentración de CH_4 atmosférico es más elevada. Esta zona coincide con el área de mayor explotación petrolera. También, podemos analizar en el segundo mapa, donde se muestra el MAD, que la variación de las concentraciones medidas es baja respecto a los valores medidos, promediando los 12 ppb (min= 0 ppb, máx= -69.7 ppb).

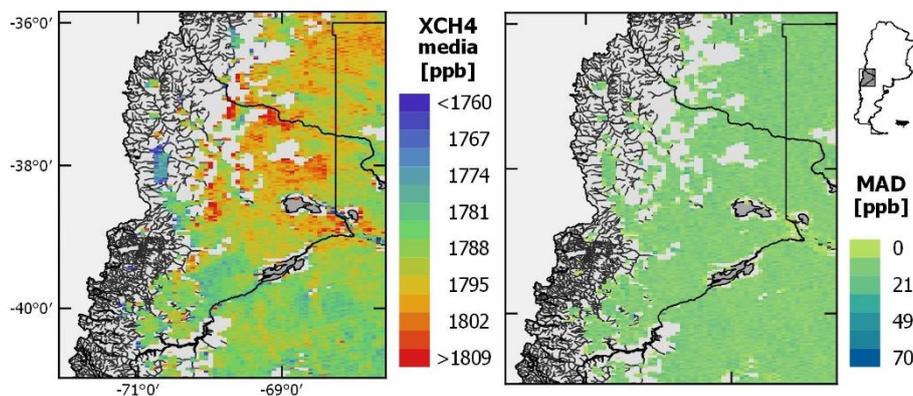


Fig. 3. Mapa de los niveles medios y de la desviación media absoluta de la concentración de CH_4 atmosférico.

Como el período de estudio abarca un año completo, se analizó la variación interanual. En la Figura 4 se pueden observar los cambios en las concentraciones de CH_4 en los distintos meses del año. En todos los meses la zona central del dominio presenta las concentraciones más altas, tal como se señalaba anteriormente. El mes de julio presenta

6

una mayor proporción de valores faltantes, lo cual puede deberse a las condiciones meteorológicas que afectan la detección del instrumento.

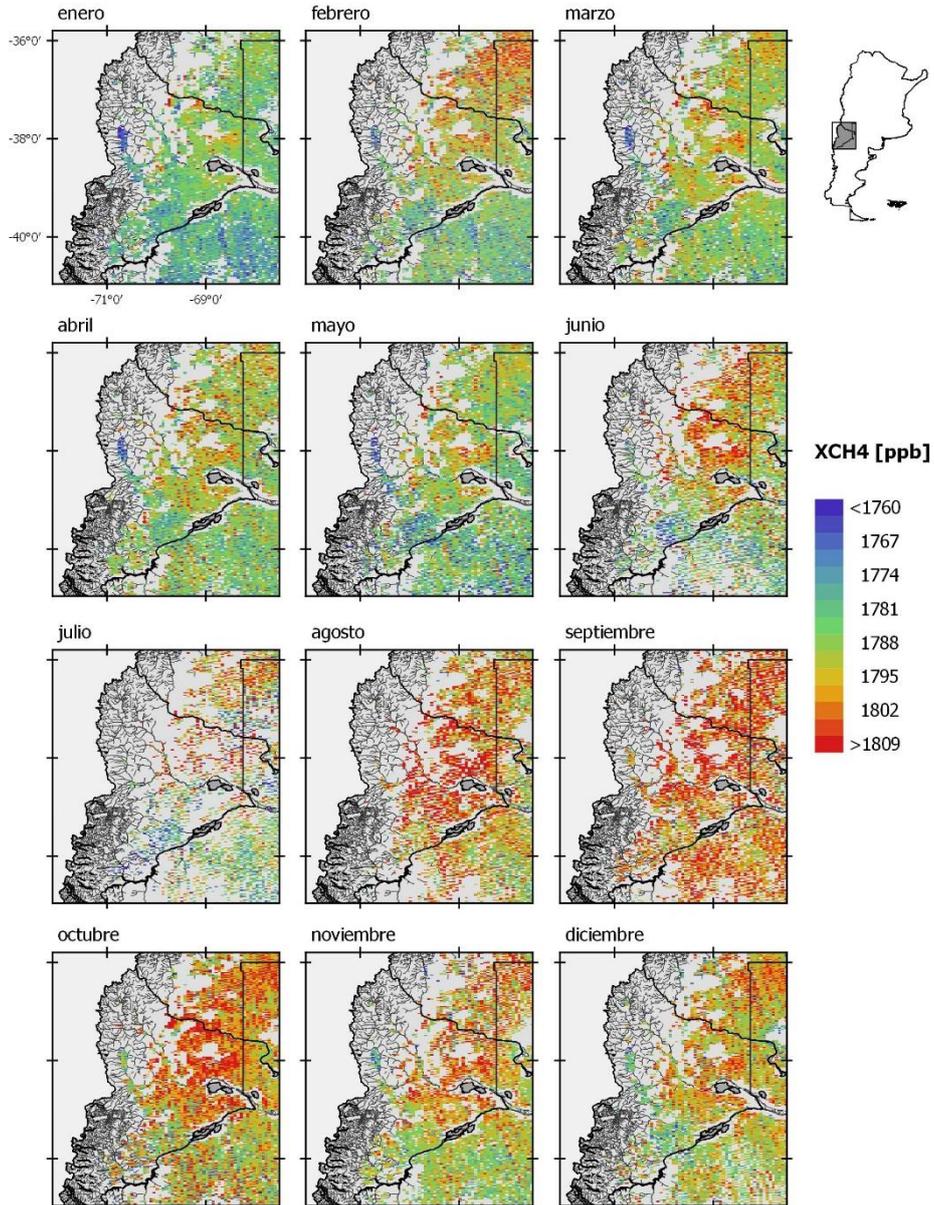


Fig. 4. Fluctuación estacional de la concentración de metano. Concentración media mensual para el año 2019.

Según la bibliografía, las concentraciones de CH₄ tienden a ser más altas en invierno y más bajas en verano [Dalsøren et al., 2015]. Esta distribución estacional se debe a que la concentración del radical OH[•], principal agente oxidante del CH₄, suele ser más alta en verano y baja en invierno debido a las variaciones en la intensidad de la radiación ultravioleta y la concentración de vapor de agua que favorecen su formación. Como puede verse en la Figura 5, el patrón observado no responde a las fluctuaciones estacionales esperadas. La concentración media mensual menor se registró en enero (1781 ppb), y la concentración media mensual más alta se detectó en septiembre (1800 ppb).

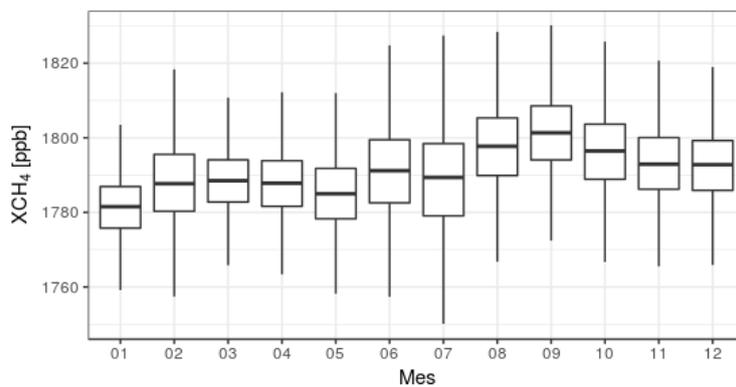


Fig. 5. Variación interanual de CH₄. Concentración media mensual para el año 2019.

Este apartamiento del comportamiento observado respecto a las variaciones descritas en la bibliografía, podrían deberse a modificaciones de las emisiones de CH₄. Al consultar los registros de “Producción de Pozos de Gas y Petróleo - 2019” de la Secretaría de Energía [2020] constatamos una mayor producción de petróleo y gas en la primavera de 2019, lo cual podría explicar los niveles más altos de CH₄ atmosférico en ese período.

Finalmente, se evaluó la concentración de CH₄ alrededor del yacimiento Chachahuén, de la formación Vaca Muerta, para todo el período de estudio (Figura 6). Este sitio presentó concentraciones por encima de la media para toda el área de trabajo, siendo su concentración media de 1808 ppb. Resalta que toda el área presenta valores elevados respecto a la media, y que el comportamiento interanual observado responde al de toda el área estudiada, con concentraciones mayores para octubre (1819 ppb) y septiembre (1816 ppb).

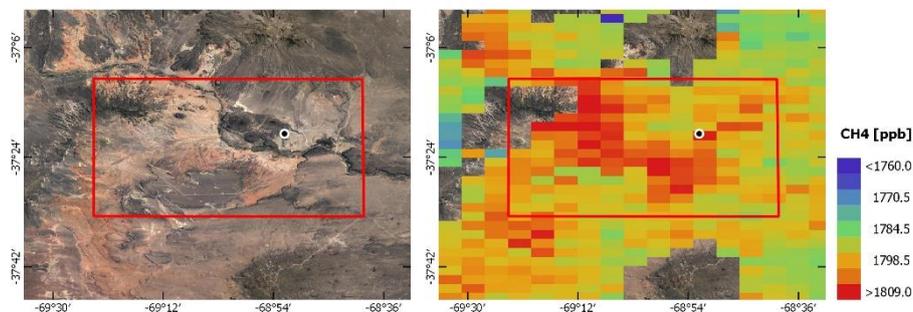


Fig. 6. Punto de observación utilizado para el análisis. El recuadro en rojo delimita el área de pozos de extracción sobre la imagen satelital (izquierda). A la derecha las concentraciones medias anuales para el 2019 de CH₄ sobre el área de pozos.

5 Conclusiones Parciales

En este trabajo abordamos el estudio de los niveles de CH₄ a partir de las imágenes satelitales generadas por el sensor TROPOMI, del satélite S5P. A partir de un pretratamiento de los datos pudimos construir mapas mensuales medios donde se observa la variación interanual de este compuesto en la columna atmosférica.

Si bien los resultados aquí expuestos responden al período de monitoreo de este instrumento satelital, es posible apreciar un comportamiento estacional que se aparta de lo señalado en la bibliografía para este contaminante. Esto puede deberse a la influencia de las fuentes antrópicas, pozos petroleros y gasoductos, en las concentraciones de CH₄ para el área de estudio. Este trabajo muestra la potencialidad de la teledetección para estudiar los contaminantes en la atmósfera y la influencia de las actividades productivas.

Bibliografía

- Allen, M. R., Shine, K. P., Fuglestedt, J. S., Millar, R. J., Cain, M., Frame, D. J., Macey, A. H.: A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. *npj Climate and Atmospheric Science*, (2018).
- Butz, A., Hasekamp O. P., Frankenberg C., Vidot J., Aben I.: CH₄ retrievals from space-based solar backscatter measurements: Performance evaluation against simulated aerosol and cirrus loaded scenes. *J. Geophys. Res.*, 115,D24302 (2010), doi:10.1029/2010JD014514.
- Butz, A., Guerlet, S., Hasekamp, O., Schepers, D., Galli, A., Aben, I., Warneke, T.: Toward accurate CO₂ and CH₄ observations from GOSAT. *Geophysical Research Letters*, 38(14), n/a (2011), doi: 10.1029/2011gl047888.
- Bylin, C., Robinson, D., Gillis, B., & Cacho, M.: Reduciendo las Emisiones de Metano en la Industria del Petróleo y del Gas para Alcanzar Beneficios Económicos, Operacionales y Medioambientales. *Met&Flu* (5), (2011).

- Cusworth, D. H., Jacob, D. J., Sheng, J.-X., Benmergui, J., Turner, A. J., Brandman, J., Randles, C. A.: Detecting high-emitting methane sources in oil/gas fields using satellite observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(23), 16885-16896 (2018), doi: 10.5194/acp-18-16885-2018.
- de Gouw, J. A., Veefkind, J. P., Roosenbrand, E., Dix, B., Lin, J. C., Landgraf, J., & Levelt, P. F.: Daily Satellite Observations of Methane from Oil and Gas Production Regions in the United States. *Scientific Reports*, 10(1), 1379 (2020), doi: 10.1038/s41598-020-57678-4.
- Denman, K.L., G. Brasseur, A. Chidthaisong, P. Ciaus, P.M. Cox, R.E. Dickinson, D. Hauglustaine, C. Heinze, E. Holland, D. Jacob, U. Lohmann, S Ramachandran, P.L. da Silva Dias, S.C. Wofsy and X. Zhang: Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (2007).
- Dalsøren, S.B., Myhre, C.L., Myhre, G., Gomez-Pelaez, A.J., Søvde, O.A., Isaksen, I.S.A., Weiss, R.F. and Harth, C.M.: Atmospheric methane evolution the last 40 years. *Atmospheric Chemistry & Physics Discussions*, 15(21), (2015).
- EIA, U.S. Energy Information Administration: *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States*, (2013).
- Engel-Cox, J.A., Hoff, R.M. and Haymet, A.D.J.: Recommendations on the use of satellite remote-sensing data for urban air quality. *Journal of the Air & Waste Management Association* 54(11), 1360-1371 (2004).
- Griffa, B.: *Informe sobre el mercado del Gas Natural*. Centro de Investigación en Economía y Planeamiento Energético (2019).
- Instituto Argentino del Petróleo y del Gas: *Informe Anual 2018: Producción de Petróleo y Gas Natural* (2019).
- Jacob, D. J., Turner, A. J., Maasackers, J. D., Sheng, J., Sun, K., Liu, X., Frankenberg, C.: Satellite observations of atmospheric methane and their value for quantifying methane emissions. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(22), 14371-14396 (2016), doi: 10.5194/acp-16-14371-2016.
- Marinone, E.: *Identificación de fuentes y sumideros de metano dentro del territorio nacional a partir de mediciones satelitales* (2016).
- Park, S.Y., Park, J., Kim, C.S. and Shin, I.: Clarification of Methane Emission Sources Using WDCGG Data: Case Study of Anmyeon-do Observatory, Korea. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 7(2), 85-94 (2013).
- Rasmussen, R. A., & Khalil, M. A. K.: Atmospheric methane in the recent and ancient atmospheres: concentrations, trends, and interhemispheric gradient. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 89(D7), 11599-11605 (1984).
- Represa, N.S.: *Elaboración e implementación de una propuesta metodológica para la evaluación y gestión de la calidad del aire mediante el enfoque de la ciencia de datos* (2020) <<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/94380>>.
- Secretaría de Energía: *Producción de Pozos de Gas y Petróleo – 2019*, (2020).
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N.: *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*. John Wiley & Sons (2016).
- Simonds, M., Xiao, H., & Levine, S. P.: Optical remote sensing for air pollutants-review. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 55(10), 953-965 (1994).
- Varon, D. J., McKeever, J., Jervis, D., Maasackers, J. D., Pandey, S., Houweling, S., Jacob, D. J.: Satellite Discovery of Anomalously Large Methane Point Sources From Oil/Gas Production. *Geophysical Research Letters*, 46(22), 13507-13516 (2019), doi: 10.1029/2019gl083798.
- Veefkind, J.P., Aben, I., McMullan, K., Förster, H., De Vries, J., Otter, G., Claas, J., Eskes, H.J., De Haan, J.F., Kleipool, Q. and Van Weele, M.: TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor:

A GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and ozone layer applications. *Remote Sensing of Environment*, 120, 70-83 (2012).
World Meteorological Organization: *WMO Greenhouse Gas Bulletin: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2018* (15), (2019).