



Repositorio Digital de
Trabajos finales y Tesinas



Esta obra es compartida bajo Licencia Creative Commons **CC BY-NC-SA 4.0**
Atribución/Reconocimiento-No Comercial -Compartir Igual:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Usted es libre de:

Compartir: copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato.

Adaptar: remezclar, transformar y construir a partir del material.

El licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia.

Bajo los siguientes términos:

Atribución: Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo del licenciente.

No Comercial: Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

Compartir Igual: Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la la misma licencia del original.



Universidad Nacional de Avellaneda



www.undav.edu.ar



**Departamento de Ambiente y Turismo
Licenciatura en Ciencias Ambientales**

TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA

**“Análisis sobre el empleo del gas natural como posible
vector de relevancia para la transición energética nacional
en el marco del desarrollo sostenible.”**

Estudiante: José Luis Perrino

Legajo 1553

Mail: jope65@gmail.com

Director: Esp. Ing. Mario Manuel Pais

Mail: mmpais@undav.edu.ar

2025

Contenido

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Relevancia de la investigación	8
1.2. Problema abordado	9
1.3. Objeto de estudio	9
1.3.1. Objetivos	10
1.4. Ubicación geográfica y temporal	10
1.5. Marco Teórico	11
1.5.1. Energía y desarrollo socioeconómico	11
1.5.2. Transición energética	13
1.5.3. Desarrollo sostenible	15
1.5.4. Compromiso mundial contra el cambio climático: el Acuerdo de París	17
1.5.5. Sistemas petroleros convencionales y no convencionales	18
1.5.6. Descripción de la técnica de fractura hidráulica	19
1.5.7. Huella de carbono del gas natural	23
1.5.8. Energías renovables: ventajas y desventajas	26
2. METODOLOGÍA	30
3. CAPÍTULOS DE ANÁLISIS	31
3.1. Potencial energético de Argentina	31
3.1.1. Los hidrocarburos en Argentina	31
3.1.2. La energía primaria: evolución y particularidades de la matriz argentina	32
3.1.3. Breve historia del gas en la Argentina: producción y consumo	33
3.1.4. Reservas y recursos gasíferos	35
3.1.5. Proyección de la producción, demanda local y exportaciones de gas natural en el período 2022-2050	37
3.1.6. Energías renovables para la generación eléctrica en Argentina	39
3.1.7. Crecimiento de las energías renovables y su normativa	42
3.1.8. Integración de las energías fósiles y renovables en la matriz eléctrica. Potencia instalada y generación	42
3.2. Viabilidad técnico-económica	46
3.2.1. Costo nivelado de la energía o LCOE	46
3.2.2. Costos de instalación y tiempos de puesta en marcha	48
3.2.3. La competitividad de las tecnologías renovables frente a distintos precios de los combustibles	50
3.2.4. Impacto de las potenciales exportaciones de gas y petróleo de Vaca Muerta y el offshore en la generación de empleo y desarrollo industrial	51
3.2.5. Demanda global de petróleo y gas a futuro	52
3.2.6. Subsidios a los combustibles fósiles y falta de fomento a las renovables	54
3.2.7. Vaca Muerta: inversiones acumuladas y por venir	55
3.2.8. La descarbonización y la generación de fuentes de trabajo	54
3.3. Impacto socioambiental	54
3.3.1. Emisiones de GEI del sector energético de Argentina	55
3.3.2. El impacto social de la explotación no convencional en Vaca Muerta: riqueza, desigualdad y conflictos irresueltos	56
3.3.3. Conflictos ambientales y riesgos sanitarios	57
3.4. Alineación con compromisos globales	63

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
4.1. Hallazgos Clave	67
4.1.1. Caracterización del potencial del gas natural en Argentina y su rol en la matriz energética	67
4.1.2. Potencial y crecimiento de las energías renovables (Solar Fotovoltaica y Eólica) en Argentina	68
4.1.3. Evaluación técnico-económica comparativa de opciones energéticas	69
4.1.4. Impactos socioambientales de la explotación de gas natural no convencional vs. energías renovables	70
4.1.5. Alineación de la estrategia energética nacional con compromisos climáticos globales	71
4.1.6. Interrelación entre seguridad energética, reducción de emisiones y justicia socioambiental	73
4.2. Discusión de los hallazgos	74
4.2.1. El gas natural: ¿Puente u obstáculo para la transición energética argentina?	74
4.2.2. Desafíos y oportunidades en el equilibrio del Trilema Energético	75
4.2.3. Consecuencias de la política energética actual en los compromisos climáticos y el desarrollo sostenible	76
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
5.1. Conclusiones	77
5.1.1. El rol ambivalente del gas natural en la transición energética argentina	77
5.1.2. La urgencia de acelerar la transición hacia energías renovables	77
5.1.3. Desafíos críticos para la sostenibilidad y la justicia socioambiental	78
5.1.4. Brecha entre compromisos globales y la realidad nacional	78
5.2. Recomendaciones	78
5.2.1. Políticas públicas para una transición energética justa y sostenible	78
5.2.2. Medidas para abordar los impactos socioambientales del gas no convencional	78
5.2.3. Fortalecimiento del compromiso climático internacional	80
6. BIBLIOGRAFÍA	81
7. GLOSARIO	96

RESUMEN

La presente tesina analiza el rol del gas natural como posible vector de relevancia para la transición energética en Argentina, en el marco del desarrollo sostenible, evaluando sus ventajas y desventajas competitivas frente a fuentes renovables como la energía solar fotovoltaica y la eólica. Actualmente, el gas natural con un 56% de participación es la principal fuente de energía en la matriz argentina, cuyo dominio ejerce desde hace treinta años, luego de haber desplazado al petróleo en la última transición energética nacional.

A partir del 2011, se comprobó la existencia de enormes recursos hidrocarburíferos no convencionales en la Formación Vaca Muerta de la Cuenca Neuquina que aseguran el abastecimiento de la demanda interna de gas por décadas como también su exportación por gasoducto a los países vecinos o vía GNL a puntos muy distantes.

Sin embargo, el gas junto con las otras fuentes de energía fósil, el petróleo y el carbón, son responsables de buena parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que aumentan el forzamiento radiativo que conduce al calentamiento del planeta.

Existe un esfuerzo de la comunidad internacional por alcanzar el objetivo de emisiones cero netas de gases de efecto invernadero hacia 2050 para detener el alza de la temperatura promedio de la Tierra e impedir que se desaten procesos irreversibles que pondrían en riesgo la vida tal como la conocemos.

En función de ello y por medio de acuerdos como el de París, se propicia un proceso de transición energética hacia fuentes bajas en carbono como la solar fotovoltaica y la eólica que conduzcan al desplazamiento definitivo de los combustibles fósiles.

Estudios recientes han demostrado que el gas natural, al que se había considerado hace poco tiempo como un combustible “puente” para la transición, en su ciclo de vida completo libera tantos gases de efecto invernadero (GEI) como el carbón, hasta superarlo bajo ciertas condiciones, como cuando es licuado para su transporte como GNL.

El marco nacional en el que se desarrollan estos acontecimientos es de dependencia tecnológica y financiera, inestabilidad institucional y macroeconómica, con una deuda externa asfixiante, a la vez una situación social que denota una gran inequidad en el desarrollo territorial, altos niveles de pobreza e indigencia y una necesidad imperiosa de alcanzar una balanza comercial superavitaria que permita superar estas condiciones que constituyen una barrera al desarrollo armónico del país.

El avance tecnológico en la industria petrolera permite actualmente considerar la extracción de los recursos no convencionales, que, si bien ya habían sido descubiertos con anterioridad, no habían podido ser aprovechados hasta que se puso en práctica la técnica de la fractura hidráulica o fracking.

Sin embargo, esta ventana de oportunidad de convertir esos recursos en energía y divisas coincide temporalmente con la necesidad urgente a nivel planetario de realizar una transición energética hacia fuentes bajas en carbono, y, por otra parte, estudios numerosos han llegado a la conclusión categórica de que el fracking no puede ser practicado de una forma que no implique una amenaza para la salud humana.

Se añade a lo anterior la incertidumbre acerca de qué velocidad tomará el proceso de transición a nivel de los países: si se produce lentamente sería viable, desde una perspectiva económica, el plan de exportación de gas tal como se está proyectando, caso contrario las cuantiosas inversiones necesarias para poner en marcha el complejo exportador podrían resultar activos varados ante la caída abrupta de la demanda mundial.

Como contrapartida el despliegue territorial de las energías renovables posibilitaría el cumplimiento del trilema energético, haciendo equilibrio entre sus tres objetivos estratégicos: garantizar un suministro energético competitivo (seguridad energética), facilitar el acceso universal a la energía (equidad social) y promover la protección ambiental (mitigación del impacto ambiental).

Se pone en evidencia en este trabajo la incompatibilidad de los compromisos asumidos por el país frente a la comunidad internacional en materia climática, las políticas públicas en materia energética y las acciones de gobierno desplegadas y proyectadas. Numerosas organizaciones dan cuenta de ello.

A su vez, el llamado bloqueo de carbono, entendido como la suma de la tendencia que marca el devenir histórico tecnológico, los hábitos sociales colectivos en cuanto al uso de la energía y el poderoso lobby empresarial de los hidrocarburos, conducen a una inercia que tiende a cristalizar el proceso de transición energética.

Adicionalmente, en el contexto mundial se percibe un resurgimiento de la negación del origen antropogénico del cambio climático en las voces de algunos personajes relevantes de la geopolítica, que, amenazando con retirarse de los acuerdos internacionales, ponen en jaque un objetivo de por sí muy difícil de alcanzar: la neutralidad de emisiones al 2050.

Se concluye que considerar al gas como el combustible puente de la transición es un argumento falaz para darle continuidad a la hegemonía energética de los combustibles fósiles y a sus promotores. El desarrollo sostenible del país implica desembarazarse de lo viejo e ingresar a una nueva etapa signada por la justicia energética en la que las energías renovables deberán jugar un papel central.

La metodología de investigación empleada es de tipo cualitativa y se integran datos cuantitativos de fuentes oficiales para respaldar los objetivos formulados. Para alcanzar los objetivos específicos se realiza una búsqueda bibliográfica y recopilación de información de fuentes de datos secundarias. Estas fuentes incluyen documentos oficiales, publicaciones científicas e informes oficiales y de Organizaciones No Gubernamentales.

Palabras clave: gas natural, hidrocarburos no convencionales, transición energética, fractura hidráulica, desarrollo sostenible, cambio climático, trilema energético, impactos socioambientales.

1. INTRODUCCIÓN

Gas natural es el nombre genérico que se les da a ciertas mezclas de hidrocarburos ligeros de la serie de los alcanos dominadas por su componente más liviano que es el metano (CH_4). El etano (C_2H_6) y el propano (C_3H_8) están presentes en proporciones mucho menores y pueden contener también butano (C_4H_{10}) y pentano (C_5H_{12}). Es empleado en la generación de energía eléctrica y para calefaccionar eficientemente hogares, comercios e instituciones. También es una excelente fuente de calor para procesos industriales, como la fabricación de vidrio, alimentos, la reducción directa del hierro y materia prima fundamental para la producción económica de fertilizantes nitrogenados y materiales plásticos a partir del etano y el propano ([Smil, 2021](#)).

Los otros dos combustibles fósiles que han sido fundamentales hasta el presente para la generación de energía son el petróleo y el carbón. Esas fuentes de energía no renovables en Argentina representan en la matriz primaria el 88% (petróleo 30%, gas natural 56% y carbón mineral 2%), el resto de las fuentes son la nuclear con un 3%, y la hidroenergía, la eólica, solar, biocombustibles, leña, caña de azúcar y derivados componen el 9 % restante ([Organización Latinoamericana de Energía \[OLADE\], 2023](#)).

A nivel mundial la matriz energética se compone de petróleo en un 31%, carbón 26%, gas natural 23%, biocombustibles 10%, energía nuclear 5%, hidroeléctrica 3% y otras renovables 2% ([Clementi et al., 2021](#)). Representando globalmente las energías de origen fósil un 80%.

Crisis climática mundial

Ciertos gases como el vapor de agua, el metano y el dióxido de carbono en la atmósfera actúan a modo de cobertura de la Tierra evitando que escape toda la radiación que esta emite luego de recibir la energía del sol, generando un fenómeno natural conocido como efecto invernadero. Gracias a este, la temperatura media de la Tierra es de 14°C , de lo contrario descendería hasta los -19°C ([IPCC, 2007](#)).

Las actividades humanas como la quema y explotación de combustibles fósiles liberan gases como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), que al aumentar su concentración en la atmósfera contribuyen al mencionado efecto ([IPCC, 2007](#); [2018](#)), intensificando el efecto cobertura. Estas acciones de origen antropogénico que comprenden el uso desigual y no sostenible de la Tierra y la energía, quemando combustibles fósiles masivamente por más de un siglo, el proceso de industrialización creciente, la tala de bosques y ciertas prácticas agrícolas ([Acacio y Wyczykier, 2023](#)) entre otros, han derivado inequívocamente en el calentamiento global de nuestro planeta por la exacerbación del efecto invernadero. Como consecuencia de ello, la temperatura superficial de la tierra llegó a aumentar, en el período 2011-2020, $1,1^\circ\text{C}$ por encima de la registrada entre los años 1850 a 1900. Esto ha provocado impactos adversos, pérdidas y daños a la naturaleza y a las personas ([IPCC, 2023](#)) que tenderán a agravarse y tornarse irreversibles si el incremento de la temperatura global supera el umbral de $1,5-2^\circ\text{C}$ para fin de este siglo.

Los impactos climáticos registrados más significativos en Argentina incluyen el aumento sostenido de las temperaturas, una mayor frecuencia de olas de calor, el incremento de

eventos de precipitaciones extremas y sequías, el ascenso del nivel del mar y el retroceso de los glaciares. Como consecuencia, se intensifican las inundaciones en algunas regiones, mientras que en otras disminuye la disponibilidad de agua, además de la ocurrencia más frecuente de incendios, extensos y difíciles de controlar ([Aneise, Möhle, Schteingart y Risaro, 2024](#)).

El uso sostenible de la energía implica fundamentalmente el abandono de los combustibles fósiles, responsables directos del incremento en la temperatura global, eje central de la transición energética actual y su reemplazo por energías renovables de bajas emisiones de carbono como la eólica y la solar. A diferencia de las transiciones ocurridas anteriormente, esta persigue como objetivo principal detener el calentamiento de la tierra.

Para abordar el cambio climático y sus impactos negativos, los líderes mundiales en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21), en París, firmaron en 2015 el histórico Acuerdo de París, en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

El Acuerdo estableció objetivos a largo plazo como guía para todas las naciones. En lo referido a las emisiones de gases de efecto invernadero se propuso reducirlas sustancialmente para limitar el aumento de la temperatura global en este siglo a 2°C y proseguir los esfuerzos para que el incremento no exceda de 1,5°C respecto a los niveles preindustriales. Cada país signatario del acuerdo presenta ante la CMNUCC sus compromisos de acción climática que renueva cada cinco años y se espera que con cada nueva presentación estos sean más ambiciosos ([CMNUCC, sf](#)).

Por caso, Argentina, en relación a la energía, se comprometió a llevar adelante una transición mediante el fomento de las energías renovables e impulsando la generación distribuida, sirviéndose del gas natural “como combustible de transición” ([Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible \[MAYDS\], 2020](#)).

Argentina y su dependencia del gas natural

En nuestro país el sector energético es el que más contribuye al calentamiento global con un 50% del total de las emisiones, seguido del sector de la agricultura y ganadería con un 25% ([Subsecretaría de Ambiente, 2024](#)). Esto se explica por una matriz primaria ampliamente dominada por las energías fósiles y esta, a su vez, por el gas con un 56% de participación.

Por consiguiente, el sistema energético argentino es altamente dependiente de la provisión de gas natural. Los repetidos faltantes del combustible en los meses de invierno ocasionan serios inconvenientes en las actividades económicas y productivas y en la vida cotidiana de los ciudadanos.

El hallazgo de abundantes reservas de gas natural no convencional en la formación sedimentaria de Vaca Muerta en la Cuenca Neuquina permitió, a partir del 2014, que la producción aumentara año a año, tras haber declinado durante una década en la que la importación del combustible erosionó gravemente la balanza comercial. La explotación a gran escala de esa formación cuyas reservas de gas la colocan en el 2° lugar de importancia en el

mundo y a las de petróleo en el 4° ([U.S. Energy Information Administration \[EIA\], 2013](#)), abastecería el mercado interno y dejaría un saldo exportable con el consiguiente ingreso de divisas, pasando de una situación deficitaria en 2022 ([Acacio y Wyczykier, 2023](#)) a una superavitaria sostenida en el tiempo. En el primer semestre de 2024 las exportaciones lograron superar a las importaciones por primera vez desde 2009 ([D'Angelo y Calzada, 2024](#)).

Considerando el aspecto económico, al tiempo que se acelera la explotación de los combustibles fósiles en Argentina, el promedio ponderado mundial de los costos totales de instalación para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables como la solar y la eólica terrestre, como también los costos nivelados de la electricidad (LCOE, por sus siglas en inglés) a partir de dichas fuentes, continúan descendiendo marcadamente. Tanto es así que el LCOE de estas renovables cayó por debajo del costo de generación de electricidad mediante centrales térmicas de ciclo combinado en 2023 ([International Renewable Energy Agency](#)), [IRENA], 2024).

Potencial para la explotación de las energías renovables

A la par de la abundancia del recurso gasífero en Argentina, están la energía solar y la eólica. La región Patagónica, y el litoral de la provincia de Buenos Aires, presentan vientos de calidad internacional de hasta 9-12 m/s siendo superiores a la media mundial ([MECON, 2023](#)). En Argentina los valores de irradiancia global horizontal, parámetro que mide la cantidad total de radiación solar de onda corta recibida desde arriba por una superficie horizontal con respecto al terreno se encuentran entre 2,3 y 7,4 kWh/m². Los máximos valores se encuentran al oeste de las provincias de Jujuy, Salta, Catamarca y La Rioja superando a los registrados en países como Alemania, Reino Unido y Francia que ostentan un gran despliegue de instalaciones fotovoltaicas ([Secretaría de Energía \[SECENERGIA\], 2017](#)).

1.1. Relevancia de la investigación

Lo expuesto en los párrafos precedentes justifica el análisis de las consecuencias que se derivan de la decisión del empleo del gas natural como vector hacia la transición en energías bajas en carbono ya que estos cambios históricamente han necesitado décadas para materializarse y la urgencia en llevarlos a cabo a nivel planetario plantea un escenario con un cierto nivel de incertidumbre y escaso margen para decisiones erradas.

El potencial renovable es de gran magnitud, pero la inercia de los sistemas energéticos y la urgencia climática obligan a evaluar críticamente el papel del gas natural en este proceso de transición.

En este contexto, resulta fundamental reconocer que la energía cumple un papel clave en el proceso de desarrollo socioeconómico, constituyendo un pilar esencial para el crecimiento de la agricultura, las empresas, las comunicaciones, la educación, la sanidad y el transporte.

Argentina, como país en vías de desarrollo, exhibe grandes carencias y desigualdades en el acceso y la asequibilidad energética que agravan esta problemática. La realidad nacional evidencia una marcada situación de pobreza energética, definida como la incapacidad de los

hogares para satisfacer de manera continua y segura sus necesidades energéticas ([CEPAL, 2024](#)).

Consecuentemente las políticas públicas diseñadas para la transición energética deberán orientarse observando tanto el compromiso internacional del plan de reducción de emisiones asumido por Argentina, como el de propiciar el desarrollo sostenible en su triple dimensión: ambiental, social y económica.

1.2. Problema abordado

En Argentina la transición energética se enfrenta a varios obstáculos tales como la dependencia tecnológica y financiera, la inestabilidad institucional y la macroeconómica ([Roger y Arroyo, 2023](#)). La simple existencia del recurso natural, en este caso el gas, aunque abundante, no es condición suficiente para que esta pueda concretarse en el marco del desarrollo sostenible. En efecto, a las dificultades mencionadas se le suman las objeciones formuladas en la dimensión ambiental de la sostenibilidad, ya que la explotación no convencional se vale de la técnica de fractura hidráulica o fracking en la que se emplean grandes cantidades de agua y aditivos químicos. Además de la emisión de GEI en la quema de los combustibles fósiles, la extracción, tratamiento y transporte genera un volumen importante de emisiones fugitivas de metano que según algunos autores podría hacer perder la ventaja comparativa que tiene el gas respecto del carbón y el petróleo ([Blanco Santos et al., 2018](#)). Otro aspecto de relevancia a considerar es el pasivo ambiental producto de la explotación de los hidrocarburos ([Himitian, 2020](#)) y los conflictos territoriales con comunidades indígenas en Neuquén, entre otros impactos de carácter social.

El impulso a la producción gasífera en línea con la estrategia anunciada de gasificación introduce el interrogante acerca del cumplimiento de la reducción de emisiones de GEI en el marco del Acuerdo de París, y a la vez podría obturar el camino de transición hacia las energías renovables que también demandan importantes inversiones para su desarrollo.

De manera que en este punto surge una controversia como lo señalan [Acacio y Wyczykier, \(2023\)](#): resumiendo las posturas y los argumentos, por un lado, están aquellos que sostienen que el gas puede considerarse el “puente” de la transición, por su abundancia, sus bajas emisiones respecto del carbón y el petróleo al quemarse, sumado a la posibilidad de generar divisas. Y por el otro, los que afirman que, si se analiza el ciclo de vida del gas, este pierde su condición de combustible de bajas emisiones. A ello se suma la volatilidad de su precio (en mercados fuera del control argentino) y la inconveniencia de invertir en energías fósiles, ya que la demanda mundial desaparecerá en un futuro cercano, dejando esos activos hundidos.

1.3. Objeto de estudio

El presente trabajo pretende abordar el estudio del recurso gas natural como posible vector de relevancia, y sus ventajas/desventajas competitivas frente a otros recursos de tipo renovable, como energía solar fotovoltaica y energía eólica, para la transición energética en Argentina, en el marco del Desarrollo Sostenible.

1.3.1. Objetivos

Objetivo general

“Analizar el recurso gas natural como posible vector de relevancia para la transición energética nacional en el marco del desarrollo sostenible.”

Objetivos específicos

- Caracterizar el potencial del gas natural en Argentina, enfatizando en la formación sedimentaria Vaca Muerta, sus reservas, técnicas de extracción y proyecciones de producción. Su papel histórico y actual en la matriz energética primaria y secundaria. Comparar con el potencial de las energías solar fotovoltaica y eólica en distintas regiones del país.
- Evaluar los costos y viabilidad técnica-económica de las siguientes opciones energéticas: generación eléctrica mediante gas natural y las energías renovables solar fotovoltaica y eólica. Comparar las inversiones requeridas, costos operativos y dependencia tecnológica.
- Analizar los impactos socioambientales de la generación eléctrica a base de gas natural vs las energías renovables solar fotovoltaica y eólica, considerando emisiones de gases de efecto invernadero, uso de recursos hídricos en la fractura hidráulica y los pasivos ambientales y conflictos territoriales derivados de la explotación de hidrocarburos.
- Analizar la factibilidad del cumplimiento de los compromisos internacionales en materia climática comprendidos en el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 en particular el ODS 7 sobre energía y el ODS 13 sobre acción climática. Evaluar la relación de las variables seguridad energética, reducción de emisiones y justicia socioambiental en el marco de la transición energética en base a gas natural.
- Proponer criterios para una transición energética sostenible integrando el rol a desempeñar del gas natural y políticas públicas para fomentar el cuidado ambiental desde el sector energético como control y fiscalización de emisiones, incentivos a fuentes renovables y promoción de la eficiencia energética.

1.4. Ubicación geográfica y temporal

El análisis se enfocará geográficamente en Argentina y se enfatizará en la formación sedimentaria de Vaca Muerta ubicada en la Cuenca Neuquina, al considerar el potencial de la explotación hidrocarburífera no convencional (Figura 1). El período en estudio abarcará desde la mitad del siglo XX en que comienza el desarrollo gasífero nacional hasta proyecciones al 2030-2050.

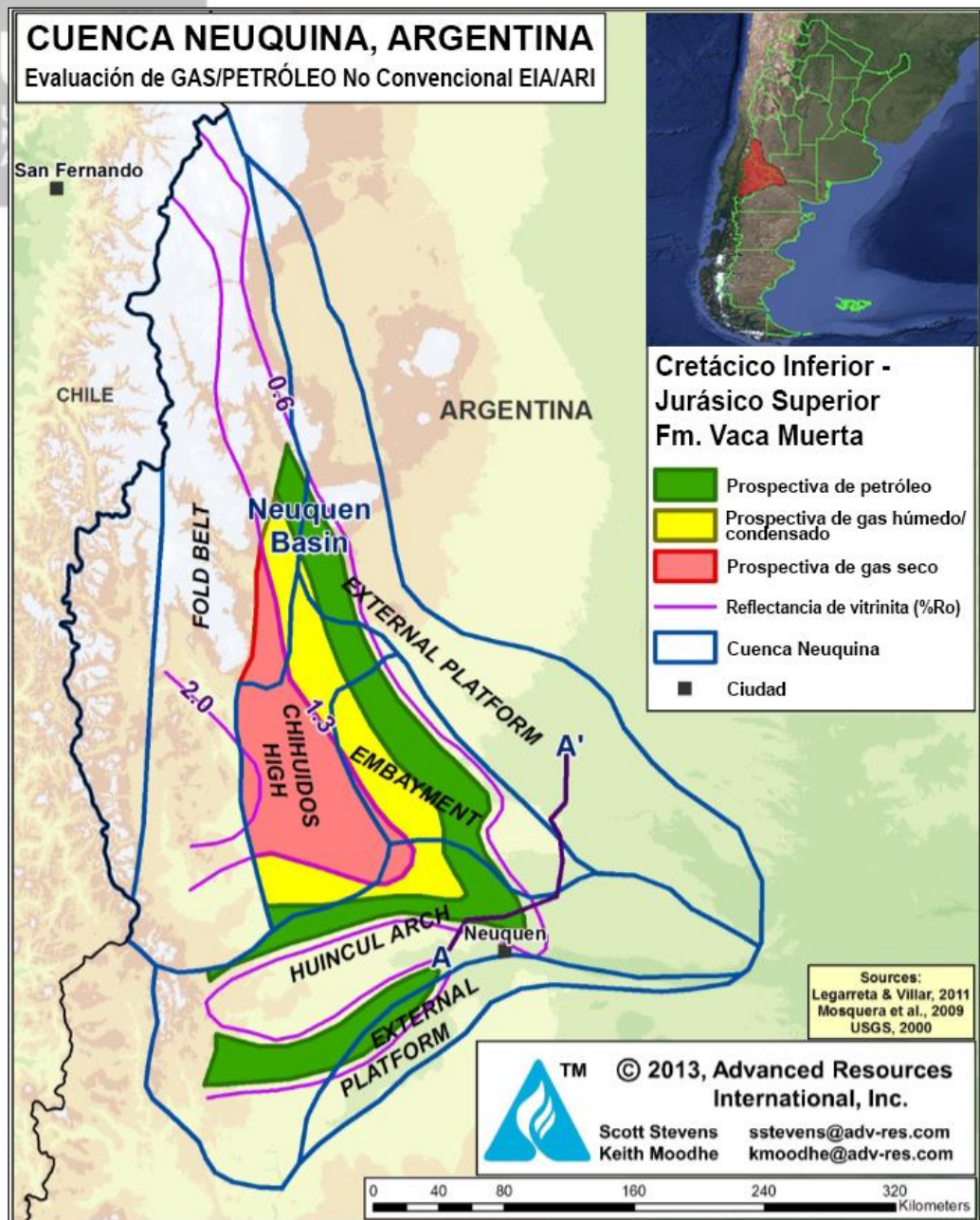


Fig. 1. Ubicación de la formación sedimentaria Vaca Muerta en la Cuenca Neuquina. Fuente: elaboración propia en base al mapa de [EIA \(2013\)](#).

1.5. Marco Teórico

1.5.1. Energía y desarrollo socioeconómico

La energía como bien social

La energía puede ser definida como la capacidad que poseen los cuerpos para efectuar un trabajo a causa de su constitución (energía interna), de su posición (energía potencial) o de su movimiento (energía cinética) ([FORO NUCLEAR, s.f.](#)).

[Recalde y Guzowski, \(2016\)](#) entienden que su rol es clave en el proceso de desarrollo socioeconómico de un país porque satisface necesidades sociales y tiene gran incidencia en el aparato productivo, es por ello que se la considera un bien social. Está directamente relacionada con el grado de cobertura de los llamados servicios energéticos (calefacción, cocción, iluminación, refrigeración), con la calidad de los recursos utilizados para lograr dicha cobertura y con el impacto del costo de la energía en los ingresos familiares y, por lo tanto, con la pobreza y la desigualdad.

En ese sentido su carencia en países menos adelantados se refleja en tres impactos: el desarrollo económico, el saldo de la balanza comercial y un tercero en la dimensión social por su papel como bien de consumo ([Recalde y Guzowski, 2016](#)). Sin energía se dificulta el desarrollo de actividades económicas y productivas, generando retraso y un impacto directo.

El sistema energético interactúa con diferentes dimensiones como la economía, la sociedad, el ambiente y el plano político, de ahí que, para respetar tan importantes interacciones, las políticas energéticas que promuevan el desarrollo sustentable deben tener un carácter sistémico ([Zabaloy et al., 2023](#)) que permita superar el trilema energético.

El Trilema Energético: equilibrio entre seguridad, equidad y sostenibilidad

El trilema energético representa el desafío que enfrentan los gobiernos para conciliar tres objetivos estratégicos: garantizar un suministro energético competitivo, facilitar el acceso universal a la energía y promover la protección ambiental. Estos pilares, definidos por el Consejo Mundial de la Energía (WEC, por sus siglas en inglés), abarcan aspectos clave para el desarrollo sostenible: la seguridad energética, la equidad social y la mitigación del impacto ambiental ([Roger et al., 2017](#)).

1. Seguridad energética:

Hace referencia a la gestión eficiente del suministro energético, tanto de fuentes nacionales como externas, para satisfacer la demanda actual y futura.

2. Equidad social:

Se centra en garantizar que toda la población tenga acceso a energía asequible y accesible, eliminando barreras económicas o geográficas que excluyan a grupos vulnerables.

3. Mitigación del impacto ambiental:

Prioriza la eficiencia energética, el ahorro de recursos y el desarrollo de fuentes renovables y bajas en carbono para reducir emisiones y proteger los ecosistemas ([Camacho Parejo, 2013](#)).

Según Camacho Parejo (citada en [Zabaloy, 2016](#)), este trilema implica un trade-off (o compensación), ya que perseguir un objetivo puede limitar el avance en los demás. Por ejemplo, priorizar la seguridad energética con combustibles fósiles afecta la sostenibilidad, mientras que enfocarse en energías limpias podría elevar costos y restringir el acceso universal.

No obstante, las energías renovables emergen como una solución integradora:

- Su competitividad económica ha aumentado, favoreciendo la seguridad energética.
- Tecnologías como la solar descentralizada permiten llevar energía a zonas remotas, impulsando la equidad social.
- Al ser bajas en emisiones, contribuyen directamente a la protección ambiental.

Así, aunque el trilema plantea tensiones inherentes, la innovación en renovables ofrece un camino para equilibrar estos objetivos, reduciendo la necesidad de sacrificar uno en favor de los demás.

1.5.2. Transición energética

La preocupación mundial por el calentamiento global motoriza en esta época una transición energética que puede ser entendida como un proceso de cambio que implica el pasaje de un régimen energético con altas emisiones de gases de efecto invernadero a otro que las reduzca tanto como para detener el aumento de la temperatura, promoviendo las energías renovables y la eficiencia energética.

A lo largo de la historia se sucedieron distintas transiciones energéticas como la que llevó al carbón mineral a predominar entre los combustibles después de desplazar a la leña y, posteriormente, fue el petróleo el que ocupó ese lugar hegemonizando la matriz energética. Cada uno de estos cambios llevaron décadas para generarse y consolidarse (40 a 130 años) ya que cada régimen energético corresponde a una formación histórica definida por un modo de producción, distribución y consumo de energía indisolublemente ligados a un entramado socio-económico-tecnológico-político ([Roger y Arroyo, 2023](#))

Desde una perspectiva de justicia social nos podemos aproximar a la transición energética superando la noción apolítica y gerencial del concepto ([Sovacool y Goldthau, 2012](#)) como también desde la mirada de la justicia ambiental, con la que, a la vez de aliviar la amenaza del cambio climático, se podrían evitar reproducir o exacerbar las desigualdades ambientales ([Rivera Albarracín, 2020](#)).

Así llegamos al concepto de transición justa que viene impulsado por su inclusión en el Acuerdo de París y su vinculación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, la que puede ser entendida como “un camino de transición que reconcilia las necesidades materiales de las personas más pobres del planeta con la necesidad de salvaguardar la estabilidad del clima de la Tierra” ([Jakob y Steckel, 2016](#))

La agenda climática plantea desplazar los sistemas energéticos históricamente dominantes, basados en combustibles fósiles, reconocidos por su alta densidad energética y suministro constante, hacia fuentes renovables. Estas alternativas, aunque esenciales para la descarbonización, presentan limitaciones: la energía solar y eólica, por ejemplo, son intermitentes y menos densas en energía, lo que las hace menos predecibles que los hidrocarburos ([Pearson, 2018](#)). Esta transición, además, introduce desafíos técnicos, como la gestión de redes eléctricas, y presenta conflictos socioambientales, como el destino que se le

da a las tierras y la dependencia de minerales críticos, así como tensiones geopolíticas vinculadas a qué país o grupo de países detentan el poder energético global. Así, el proceso demanda equilibrar objetivos ambientales con viabilidad tecnológica y estabilidad socioeconómica, evidenciando su complejidad.

Obstáculos para la transición: el bloqueo de carbono

El bloqueo de carbono (carbon lock-in) es un fenómeno crítico que explica los obstáculos de la transición energética baja en emisiones. Según el [Stockholm Environment Institute \(s.f.\)](#), este proceso no se debe a la falta de tecnología o apoyo social, sino a barreras multidimensionales, sociales, políticas y técnicas, que perpetúan la dependencia de los combustibles fósiles. Estas barreras forman un sistema autosostenido: las inversiones en infraestructura fósil se retroalimentan, dificultando el avance de las energías renovables. Este bloqueo opera a través de una trama de tecnologías, normas e instituciones incompatibles con la sostenibilidad, generando una inercia que consolida la hegemonía de los hidrocarburos ([Strambo et al., 2022](#)).

Un factor clave es la influencia de grupos de interés minoritarios pero poderosos (como corporaciones energéticas o sectores políticos afines), que se benefician del statu quo y promueven mediante lobby políticas que refuerzan dicho sistema ([Seto et al., 2016](#)). Por ejemplo, subsidios a combustibles fósiles o marcos regulatorios laxos. No menos importante es el valor de los activos vinculados al negocio hidrocarburífero que en 2019 significaron: USD 39 billones en reservas, USD 32 billones en infraestructura y operación, y USD 26 billones en bonos y acciones, conformando más de dos tercios del PBI mundial para ese año ([Bond et al., 2020](#)). Desinvertir para disminuir las emisiones de GEI implicaría convertir esa masa de dinero en activos obsoletos ([Kazimierski y Argento, 2021](#)).

Por otro lado, desarticular el bloqueo requiere enfrentar barreras sociales profundas: transformar hábitos individuales (como el consumo energético) y prácticas colectivas arraigadas en normas culturales (por ejemplo, la asociación entre progreso y uso intensivo de energía). Estas dinámicas, al estar institucionalizadas, exigen intervenciones sistémicas que combinen educación, incentivos y cambios estructurales.

Cabe destacar que el bloqueo de carbono es un caso paradigmático de dependencia del devenir histórico, típico en sistemas complejos. Su consolidación se ve favorecida por factores como:

1. Costos de capital elevados (inversiones en infraestructura fósil que priorizan rentabilidad a corto plazo),
2. Larga vida útil de activos (centrales térmicas, oleoductos), y
3. Interdependencias socio-técnicas (sistemas económicos y legales diseñados para combustibles convencionales) ([Seto et al., 2016](#)).

1.5.3. Desarrollo sostenible

La humanidad enfrenta hoy una crisis multidimensional que expone las limitaciones de los modelos de desarrollo vigentes. Estos no solo carecen de soluciones estructurales y perdurables para los desafíos globales actuales, sino que también ignoran la garantía de una vida digna para las generaciones presentes y ponen en riesgo el bienestar futuro al degradar los sistemas naturales esenciales para la supervivencia ([Curi Chacón, 2020](#)).

La economía argentina en la última década ha estado marcada por la inestabilidad y la tendencia al estancamiento, luego de pasar por una etapa de desarrollo expansivo entre el 2002 y el 2011. La crisis de la estrategia de desarrollo condujo a la fragmentación social y el deterioro profundo de las condiciones materiales de vida de la población, pero los intentos de salida de esa crisis no logran evitar la repetida dependencia de la súper explotación de la naturaleza, ahondando en la degradación de las condiciones para la reproducción de la vida y sin arribar a un nuevo ciclo expansivo ([Félez, 2024](#)).

Estos modelos tienen sus raíces en enfoques anteriores al desarrollo sostenible, los cuales priorizaban el crecimiento económico como núcleo central, relegando a un plano secundario las dimensiones social y ambiental, incluso al pretender generar mejoras sociales ([Márquez Ortiz et al., 2020](#)). Un indicador que se toma para evaluar el crecimiento económico es el Producto Bruto Interno (PBI), entendiendo que a un aumento del PBI le corresponde un avance en el desarrollo, subyaciendo aquí la idea de la expansión infinita de la economía y del consumo ([Bohoslavsky y Cantamutto, 2024](#)). Un hito clave para cuestionar esta visión fue el informe *Los Límites al Crecimiento* del Club de Roma (1972), que incorporó la dimensión ambiental al análisis del progreso de las naciones al advertir que los modelos basados en el crecimiento ilimitado agotarían los recursos naturales o amenazarían la vida en el planeta a mediano plazo ([Reyes Pontet et al., 2023](#); [Gutiérrez, s.f](#)).

Posteriormente, el Informe Brundtland (1987) profundizó esta crítica al vincular directamente los problemas ambientales globales con los paradigmas de desarrollo dominantes y definió el desarrollo sostenible como aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para cubrir las propias ([Reyes Pontet et al., 2023](#)).

En la Cumbre de la Tierra sobre Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en Río de Janeiro en 1992, se buscó redefinir el concepto de desarrollo sostenible mediante un análisis sistémico que abarcaba desde los procesos productivos hasta los culturales. En este marco, la sostenibilidad se planteó como un principio articulador que equilibraba las dimensiones económica, social, ambiental y cultural ([Curi Chacón, 2020](#)).

En esta línea, [Sierra Ludwig \(2002\)](#) sostiene que el desarrollo sostenible debe integrar tres sistemas interdependientes: el ecológico, por ser el fundamento de la vida y las actividades humanas; el económico, como generador de bienes y servicios materiales; y el social, base para la organización de la sociedad y las instituciones.

[Gutiérrez \(s.f\)](#) afirma que una auténtica sostenibilidad requiere, a nivel de recursos, respetar los tiempos de renovación de los recursos renovables, no utilizando más de los que se generan y minimizar la utilización de los no renovables. En cuanto a emisiones y residuos,

adoptar la economía circular para que todos ellos puedan entrar en los ciclos técnicos o de la naturaleza, en procura de no superar la capacidad de absorción del sistema. Todo ello implica necesariamente un profundo cambio de hábitos y estructuras.

Más allá de las distintas interpretaciones sobre el concepto de desarrollo sostenible, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), antes del final del siglo pasado, ya advertía que el progreso hacia ese futuro global sostenible era demasiado lento, que se carecía de sentido de urgencia, y calificaba de insuficientes a los fondos y la voluntad política puestos en juego. En el mismo sentido [Redclift \(1996\)](#) puntualizaba que las políticas vigentes en ese entonces resultaban de la interpretación del desarrollo sostenible como una modificación de la visión establecida y no como una alternativa a la misma. [Artaraz \(2002\)](#) coincide con este planteo al afirmar que no se alcanzará la sostenibilidad si lo que se busca es una adaptación de los modelos de desarrollo económico en boga.

Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible fue aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, estableciendo una visión transformadora en el camino hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental. Fue suscripta por 193 países, incluida la Argentina, para constituirse en una referencia orientadora del trabajo de la comunidad internacional hasta el año 2030 ([CEPAL, s.f.](#)).

Los Estados Miembros reconocieron que la erradicación de la pobreza constituye la clave para hacer posible el desarrollo sostenible. En consecuencia, propusieron una agenda civilizatoria que coloca la dignidad humana y la igualdad en el centro de sus prioridades, e invita a transformar el actual modelo de desarrollo ([UN, s.f.](#)).

La Agenda plantea 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), acompañados por 169 metas de carácter integrado e indivisible, que abarcan los tres pilares del desarrollo sostenible: económico, social y ambiental. Además de poner fin a la pobreza, los ODS incluyen metas como la erradicación del hambre y la garantía de la seguridad alimentaria; el acceso a una vida sana y a una educación de calidad; la promoción de la igualdad de género; el aseguramiento del acceso universal al agua y a la energía; el impulso al crecimiento económico sostenido; la adopción de medidas urgentes frente al cambio climático, y la promoción de la paz y el acceso a la justicia.

Si bien el compromiso asumido es común y universal, cada país enfrenta desafíos particulares en su camino hacia el desarrollo sostenible. En este sentido, los Estados conservan plena soberanía sobre su riqueza, recursos y actividad económica, y tienen la facultad de establecer sus propias metas nacionales, en consonancia con los ODS ([UN, s.f.](#)).

El ODS 1, que busca poner fin a la pobreza en todas sus formas y en todo el mundo, se reconoce como el eje rector de la Agenda 2030. En el marco de este trabajo, adquieren especial relevancia el ODS 7, orientado a garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos, y el ODS 13, que promueve la adopción de medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Estos objetivos resultan

particularmente significativos a la luz del enfoque que adopta la Argentina en relación con su implementación ([Agenda 2030, 2020](#)).

1.5.4. Compromiso mundial contra el cambio climático: el Acuerdo de París

El Acuerdo de París es un tratado internacional legalmente vinculante que entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. Hasta el año 2023, 198 partes (197 países más la Unión Europea) lo han firmado y fue adoptado por Argentina mediante la Ley Nacional N° 27.270. Tiene como objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza. Para ello las partes propusieron reducir los riesgos y efectos del cambio climático manteniendo el aumento de la temperatura media global debajo de los 2°C respecto de los niveles preindustriales y continuar con los esfuerzos para que este no supere los 1,5°C.

Asimismo, convinieron mejorar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático, propender a un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero sin afectar la producción de alimentos y situar a los flujos financieros de forma compatible con el desarrollo sostenible y resiliente al clima.

Cada país comunica su compromiso mediante la presentación ante la secretaría de la CMNUCC de un documento denominado Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés), que se debe renovar cada cinco años. En él se explicitan las medidas que adoptará para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero con el fin de alcanzar los objetivos propuestos, como también las acciones que se ejecutarán para crear resiliencia y adaptarse a los efectos del aumento de las temperaturas ([UNFCCC, sf](#)).

En su artículo 2°, el Acuerdo de París, destaca que su aplicación deberá reflejar la equidad y el principio de las responsabilidades comunes pero diferenciadas y las capacidades respectivas, a la luz de las diferentes circunstancias nacionales.

La mecánica propuesta para alcanzar la meta de aumento de la temperatura de largo plazo, fue que las Partes llegaran lo antes posible a su pico de emisiones para luego, a partir de ahí las redujeran rápidamente en la segunda mitad de este siglo, contando para ello con un balance neto entre las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros. Se tuvo presente que los países en desarrollo, a los que se les reconoce que tienen capacidades económicas y técnicas limitadas para enfrentar el cambio climático, demorarán más en alcanzar esos objetivos ([UN, 2015](#)).

Responsabilidades comunes, pero diferenciadas

Argentina se encuentra dentro de este grupo de países denominado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como No Anexo I.

Por el contrario, los que integran el Anexo I son los países desarrollados, a los que se les atribuye una responsabilidad histórica mayor en la crisis climática porque se industrializaron antes y aprovecharon el uso intensivo de combustibles fósiles para su desarrollo económico, emitiendo la mayor cantidad de GEI. Y esa industrialización temprana les permitió alcanzar

mayores capacidades económicas y tecnológicas para mitigar y adaptarse al cambio climático. De ahí surge la necesidad de establecer un criterio de equidad en la acción contra el calentamiento global con las responsabilidades comunes pero diferenciadas y capacidades respectivas.

A pesar de que el criterio de equidad está explícitamente mencionado en el Acuerdo de París y está profundamente arraigado en la CMNUCC, nunca se ha logrado un consenso sobre cómo hacerlo operativo en la mitigación del cambio climático al interior de ese organismo internacional. No sólo está en discusión cómo operativizar la equidad, sino que también hay opiniones diferentes en cuanto al punto de partida temporal para “exigir” responsabilidad a los países por la emisión de gases de efecto invernadero. Algunos autores sostienen que es razonable comenzar el conteo desde 1750 en el inicio de la era industrial, otros, sin embargo, indican que la plena conciencia de los efectos de las emisiones sobre el clima global se adquirió a principio de los '90 cuando se creó la CMNUCC, de tal modo que no se podría reclamar responsabilidad a ningún país antes de esa fecha ([Ramírez-Padilla et al., 2024](#)).

1.5.5. Sistemas petroleros convencionales y no convencionales

Los hidrocarburos se forman cuando la materia orgánica queda sepultada en una cuenca bajo enormes capas de sedimentos, y la presión ejercida por estos más la temperatura que aumenta con la profundidad, sumado a la condición anóxica del medio, van transformando los restos orgánicos, hasta convertirlos eventualmente en petróleo y gas. Esa gruesa capa de sedimentos donde se produce la transformación de la materia orgánica y su litificación se denomina roca generadora o roca madre. Este proceso de sedimentación y maduración térmica puede durar entre decenas y cientos de millones de años.

En el caso de la cuenca neuquina, la materia orgánica provino de restos marinos (microorganismos, plancton) producto de una ingesión del actual océano Pacífico hace 150 millones de años en el período Jurásico de la era Mesozoica (aún no se había levantado la cordillera de los Andes) ([Ortiz y Zabalo, 2022](#)).

Un sistema petrolero convencional consta de una roca madre madura (en la que se cumplen las condiciones de generación detalladas), una roca reservorio con buena permeabilidad, a donde fluyen ascendiendo los hidrocarburos ya formados; y de una roca sello que detiene su ascenso y los hace permanecer en la roca reservorio. El gas y el petróleo convencionales se extraen de esa roca reservorio.

En ocasiones, el proceso de migración de los hidrocarburos de la roca madre no es completo quedando abundantes restos de ellos en poros minúsculos o nanoporos. En ese caso se habla de un sistema petrolero no convencional, como el de Vaca Muerta en el que la roca generadora es a la vez la roca reservorio ([Pazos, 2016](#)).

Los hidrocarburos extraídos de los sistemas petroleros no convencionales son el gas no convencional y petróleo no convencional, también llamados shale gas y tight gas para el primero, y shale oil para el segundo. Lo que diferencia al tight gas del shale gas es que el primero proviene de rocas compactas de baja porosidad o semipermeables y el segundo se

obtiene de rocas que presentan menos porosidad y son consideradas casi impermeables ([Álvarez Pelegry y Suárez Diez, 2016](#))

1.5.6. Descripción de la técnica de fractura hidráulica

La técnica de fractura hidráulica o fracking genera los canales artificiales necesarios para que se comuniquen los poros, de manera que los hidrocarburos de los sistemas no convencionales puedan desplazarse hacia el interior del pozo y posteriormente salir a la superficie.

Se comienza con la perforación del pozo en sentido vertical, como en cualquier sistema convencional. A poca profundidad se atraviesan acuíferos de agua dulce que quedan aislados por medio de cañerías de acero y cemento. Se continua la perforación hasta un punto en que cambia el ángulo de avance y se sigue en sentido horizontal o inclinado dentro de la formación shale (Figura 2). Finalizada la perforación se introduce otra cañería y se vuelve a inyectar cemento en el espacio anular que queda entre las paredes del pozo y la cañería. A continuación se “punza” la cañería mediante cargas explosivas que una vez detonadas abren agujeros en la cementación y en la formación rocosa. Los pasos descriptos son comunes a los pozos convencionales y los no convencionales. Pero para estos últimos esta operación no es suficiente para que fluyan los hidrocarburos, de ahí la necesidad de fracturar la roca para lo cual se inyectan en el pozo grandes cantidades de agua a alta presión con arena y una serie de aditivos que permiten que la roca se fracture en muchas partes.

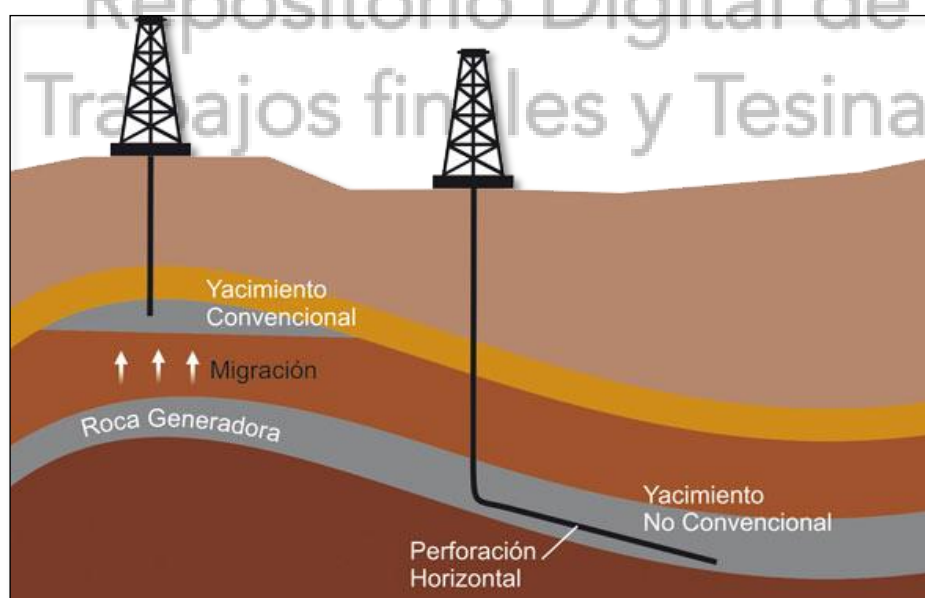


Fig. 2. Sistemas petroleros convencionales y no convencionales. Fuente: [Shale en Argentina \(s.f\)](#)

De esta manera se consigue la comunicación entre los poros donde están alojados los hidrocarburos, permitiendo que fluyan hacia el pozo y sean extraídos a la superficie. La arena es el componente que sostiene las paredes de las fracturas para que estas permanezcan abiertas una vez que la presión vuelve a la normalidad ([Bertinat et al., 2014](#)). Arena y agua componen el 98/99% del total del fluido de inyección que se completa con una serie de aditivos (0,5 a 2%) ([Frac Focus, s.f](#)) entre los que se pueden encontrar:

Ácidos, como el clorhídrico o el acético; cloruro de sodio; poliacrilamida y otros compuestos reductores de la fricción; etilenglicol; sales de borato; carbonatos de sodio y potasio, glutaraldehído; goma guar y otros agentes solubles en agua; ácido cítrico; isopropanol ([Blanco Santos et al., 2018](#)).

Más allá de esta lista, y que las empresas operadoras alegan la inocuidad de los mismos por cuestiones cualitativas y de concentración, también es cierto que ante la solicitud de información de los organismos gubernamentales sobre la composición de los aditivos químicos, las empresas sólo proporcionan una parte, dejando algunos sin identificar justificándose bajo un secreto comercial.

Una vez que finaliza la fractura y disminuye la presión de bombeo con la que se inyectan los fluidos, el gas y/o el petróleo quedan liberados saliendo a la superficie junto a gran parte de lo inyectado. Este fluido de retorno conocido como flowback es un desecho que no sólo contiene el fluido inicial para la fractura sino que además arrastra los compuestos que naturalmente se encuentran en la formación y también los que se podrían producir gracias a la combinación de algunos de los elementos en juego ([Bertinat et al., 2014](#)).

Contaminantes asociados al fracking

La organización [Earth Works \(2014\)](#) y [Blanco Santos et al., \(2018\)](#), coinciden en afirmar que muchos de los productos usados en la fractura hidráulica, que mayoritariamente no figuran entre los declarados por las empresas, son tóxicos para los seres humanos y el ambiente, e incluso varios de ellos producen cáncer. Las sustancias potencialmente tóxicas mencionadas son: destilados de petróleo como kerosene y gasoil (el cual contiene benceno, etilbenceno, tolueno, xileno, naftaleno y otros productos químicos), hidrocarburos aromáticos policíclicos-PAH, metanol, formaldehído, etilenglicol, éteres de glicol, ácido clorhídrico e hidróxido de sodio.

Otros productos químicos tales como el 1,2-dicloroetano son Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC, por sus siglas en inglés), que se han encontrado en el fluido de desecho de fractura en concentraciones que exceden los estándares del agua potable establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). Su característica volátil hace que no sólo sean un peligro para la salud en el agua, sino que también puedan contaminar el aire ([Bertinat et al., 2014](#)).

Un estudio de la Universidad de Colorado ([McKenzie et al., 2011](#)) encontró que normalmente alrededor de los pozos de gas natural se detectan los BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) cuya toxicidad está comprobada. El benceno en el ambiente demuestra un riesgo potencial para desarrollar cáncer, como otros efectos no cancerígenos crónicos y agudos.

Respecto de los fluidos de retorno el estudio señala que son los que más contribuyen a la emisión de hidrocarburos entre los que se encuentran el trimetilbenceno, xileno, benceno y alcanos que pueden afectar al sistema nervioso con manifestaciones como mareos, fatiga, dolores de cabeza, insensibilidad en los miembros, falta de coordinación, temblores, parálisis temporaria de los miembros y pérdidas de conocimiento a exposiciones altas. También se han

hallado materiales radiactivos que ocurren naturalmente (NORM), como también niveles notablemente altos de sodio, cloruros, bromuros, hierro, plomo, magnesio, zinc, cromo y arsénico ([Broderick et al., 2011](#)).

El manejo del flowback cuando este llega a la superficie implica una serie de acciones entre las que se cuentan su captación a la salida del pozo mediante elementos que eviten su fuga, su traslado, su tratamiento para disminuir su peligrosidad y su disposición final tal como lo exige la normativa.

Otro tipo de residuo producido, además del flowback, es el de los recortes de perforación (o cutting, en inglés) que son las partículas de roca y otros materiales que se generan al perforar el pozo y que emergen a la superficie transportados por los lodos de perforación, que es también otro residuo de esta fase inicial. La función de los lodos, además de remover esos recortes, es lubricar, refrigerar la broca, y sostener las paredes del pozo. A su vez, pueden subdividirse en lodos a base de agua y lodos a base de aceite; estos últimos requieren de tratamientos más complejos por su peligrosidad ([Sosa, 2021](#)).

Uso del agua

Un estudio de la US Environmental Protection Agency del 2011 ([Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos \[EPA\], 2011](#)) aporta datos de consumo de agua entre 9.000m³ a 30.000m³ por pozo que si se lo vincula a las concentraciones de aditivos añadidas al fluido de fractura, suponen un gran volumen final de sustancias contaminantes, tóxicas y peligrosas vertidas en superficie o en el subsuelo durante el proceso de inyección en el pozo, así como durante la recuperación del fluido de fractura.

Incremento de la actividad sísmica

La sismicidad inducida por las operaciones de inyección de fluidos en el subsuelo, como el vertido de aguas residuales, está bien documentada desde la década de 1960. Desde 2010, han proliferado los terremotos en Norteamérica, tras la llegada de la fracturación hidráulica para la explotación del gas no convencional. En Estados Unidos, estos sismos se debieron principalmente al aumento del vertido de agua producida por esta técnica extractiva. Las operaciones de fracturación hidráulica también han provocado terremotos en otros puntos del planeta ([Schultz et al., 2024](#)).

Extracción de arenas silíceas

Los impactos ambientales pueden ocurrir fuera del territorio donde se realiza la explotación hidrocarburífera. Uno de ellos es la extracción de arenas silíceas que constituyen un insumo indispensable para la actividad. Junto con el agua y aditivos compone el líquido que inyectado a presión debe fracturar la roca para que libere a los hidrocarburos.

El uso del agua potable para el procesamiento de la arena luego de su extracción amenaza la seguridad de su abastecimiento. El floculante que se usa para separar la arena de los

demás componentes y acelerar el proceso de producción, puede filtrarse en el suelo ([Novas, 2022](#)).

Si las arenas son fluviales, el dragado y/o refulado produce alteraciones en las condiciones físicas, químicas y biológicas del lecho del río y en menor medida, en las zonas adyacentes. Coincidentemente, [Wetlands International \(2019\)](#) indica que la remoción del lecho por dragado, extracción de material, turbulencia y descarga de sedimentos, destruye el hábitat de especies meropláctónicas que transcurren parte de su ciclo de vida en el bentos y que luego pasan a formar parte del plancton.

El Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos (NIOSH por sus siglas en inglés) indica que la exposición al polvo de sílice, está definitivamente relacionada con la silicosis y el cáncer de pulmón, y que es una amenaza particular que sufren los trabajadores en operaciones de fracking donde se emplean las arenas síliceas ([Fundación Cauce, 2022](#)).

Además de las consecuencias para el sistema respiratorio, para quienes viven en cercanías de una cantera de arena o de su planta de procesamiento, la contaminación cotidiana es sonora, lumínica y visual. Sumado a esto, el intenso tránsito de camiones contribuye a la contaminación del aire con polvo de sílice y al desmejoramiento y rotura de los caminos internos y rutas provinciales y nacionales.

Investigaciones sobre los impactos negativos del fracking

La mayor parte de los estudios realizados por la afectación al ambiente y a la salud de las personas provienen de Estados Unidos, país líder a nivel mundial de la extracción de gas y petróleo no convencional, que a partir de 2005 desarrolló una actividad intensa en ese rubro ([Spencer et al., 2014](#)). En relación a ese aumento notable de la producción, la investigación sobre los impactos también se elevó a un punto tal que al año 2019 ya se contaba con 1.778 estudios publicados revisados por pares sobre la temática. Estadísticamente el análisis de las publicaciones científicas disponibles entre 2009 y 2015 realizado por la PSE Healthy Energy, un instituto de investigación independiente con sede en Oakland, California, demostró que:

- 69% de los estudios sobre calidad del agua encontraron evidencias claras o potenciales de contaminación del agua asociada al fracking.
- 87% de los estudios sobre calidad del aire revelaron emisiones significativas de contaminantes y
- 84% de los estudios sobre el impacto en la salud humana encontraron evidencias de daños o indicadores de daños potenciales ([Compendio, 2019](#)).

Gracias a los datos empíricos obtenidos durante esos años de estudio se pudieron comprobar aquellas predicciones científicas realizadas con anterioridad confirmando que los riesgos a la salud pública causados por la extracción no convencional de gas y petróleo son reales, que la magnitud del impacto ambiental adverso es importante y que las consecuencias económicas negativas son considerables. Por lo que concluyen categóricamente que no hay

ninguna evidencia de que el fracking pueda ser practicado de una forma que no implique una amenaza para la salud humana ([Compendio, 2019](#)).

Numerosos países, provincias, estados y ciudades prohibieron o impusieron una moratoria (suspensión por un tiempo determinado) a la explotación del petróleo y gas mediante la fractura hidráulica. El precursor fue Francia en 2011 y le siguieron: Alemania, Bulgaria, Irlanda del Norte, Escocia, Gales, Países Bajos, Costa Rica, Uruguay, Colombia (está suspendido el fracking por resolución judicial, mientras en el Congreso se presentó una ley para prohibirlo), Italia, España, Suiza, República Checa, Entre Ríos, Santa Fe, Tasmania (Australia), Quebec (Canadá), Vermont (EEUU), Nueva York (EEUU), Maryland (EEUU), Condado de Monterrey (California, EEUU) y Pittsburg (Pensilvania, EEUU) ([Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente \[AIDA\], 2019](#); [Fundación Cauce, 2022](#); [Gálvez, 2019](#); [Salazar, 2024](#)).

1.5.7. Huella de carbono del gas natural

Emisiones de GEI en la cadena de valor del gas no convencional y su combustión en centrales térmicas

Los gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), son responsables de retener calor en la atmósfera, impulsando el calentamiento global. Su impacto se mide mediante el Potencial de Calentamiento Global (PCG), una métrica que compara la capacidad de cada gas para retener calor respecto al CO_2 , al que se le asigna un valor de 1. El metano, por ejemplo, tiene un PCG de 82,5 en un horizonte de 20 años y 29,8 a 100 años ([Forster et al., 2021](#)), debido a su corta vida atmosférica (aproximadamente 12 años), en contraste con el CO_2 , que persiste durante siglos. El óxido nitroso, con un PCG de 273 a 100 años ([GHG Protocol, 2024](#)), aunque menos relevante por sus menores emisiones, también contribuye al problema. Estos valores permiten convertir las emisiones de cada gas en "equivalentes de CO_2 " (CO_2eq), simplificando su análisis integrado. La reducción del metano es particularmente urgente, ya que es responsable del 30% del calentamiento global actual, y su mitigación podría desacelerar el aumento de temperaturas en plazos más cortos ([United Nations Environment Programme \[UNEP\], 2023](#)).

Las emisiones de metano, a menudo denominadas "fugas", incluyen el venteo intencionado, como la liberación de gas durante el período de retorno inmediatamente posterior a la fracturación hidráulica, la rápida liberación de gas durante las purgas por emergencias, pero también para el mantenimiento rutinario de tuberías y estaciones de compresión, y la liberación más constante, pero más sutil, de gas desde los tanques de almacenamiento y las estaciones de compresión para mantener la presión de forma segura ([Howarth, 2019](#)).

En este contexto, estudios internacionales como el de [Howarth \(2014\)](#) en Estados Unidos aportan información relevante: tanto el gas no convencional como el convencional tienen una huella de gases de efecto invernadero (GEI) mayor que el carbón o el petróleo, para cualquier uso posible que se les de y, especialmente, para sus aplicaciones principales en calefacción residencial y comercial, siempre que las fugas de metano superen el 3%. A estas últimas las

estimó en el rango de 3,6% a 7,9% (media del 5,8%) de la producción total en el caso del gas no convencional y de 1,7% a 6% (media del 3,8%) de la producción total para el gas convencional. Por lo cual queda a su entender, invalidada su supuesta ventaja climática sobre el carbón. Justifica el empleo del PCG a 20 años para hacer su análisis por la urgente necesidad de reducir las emisiones de metano en los próximos años.

En la Figura 3 se observan los resultados de un estudio similar presentado por [Gould y McGlade \(2017\)](#) donde la intensidad de emisiones de GEI del gas natural se compara con las del carbón con PCG a 100 y 20 años. La ventaja del gas respecto del carbón va decreciendo a medida que las emisiones fugitivas de metano aumentan y lo hacen en mayor medida cuando se considera el PCG a 20 años en lugar de a 100 años.

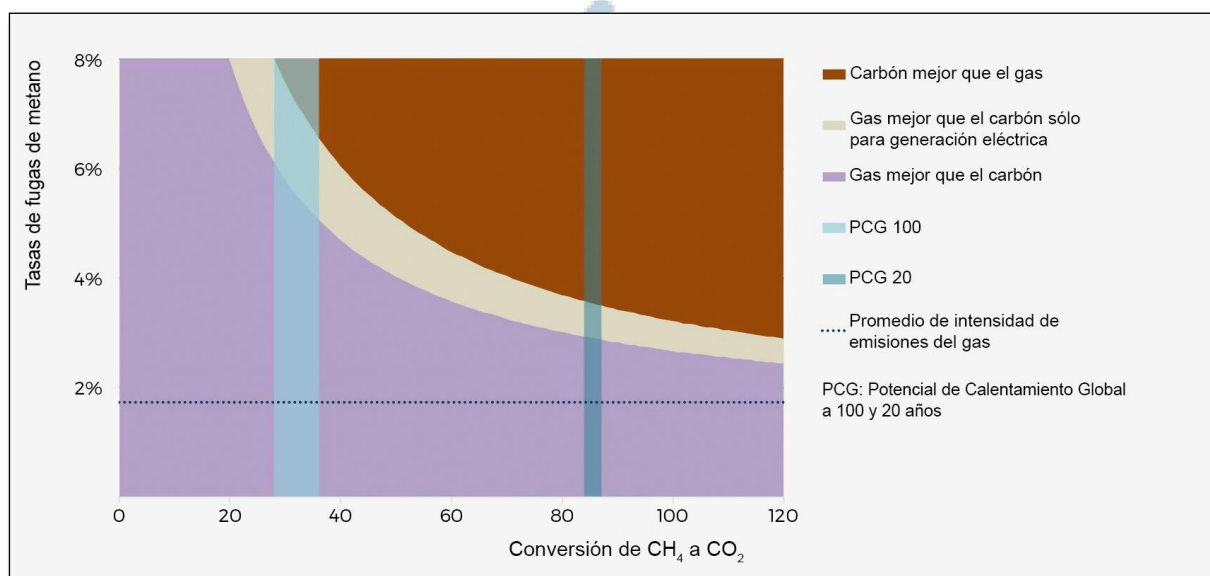


Fig. 3. Intensidad de emisiones de GEI. Gas vs Carbón. Nota: En un horizonte de 100 años (franja vertical celeste), el metano tiene un PCG de 25-35, mientras que si es a 20 años el PCG es de 85-90 (franja vertical azul), en este último caso una tasa de pocos puntos porcentuales de emisiones fugitivas sería suficiente para que el gas sea peor que el carbón excepto para generar electricidad por la mayor eficiencia de las plantas de gas natural de ciclo combinado ([Ritchie, 2020](#)). Fuente: elaboración propia en base a [Gould y McGlade, IEA \(2017\)](#)

Con un enfoque diferente, la IEA en su publicación [Global Methane Tracker 2025 \(2025\)](#), señala que casi todo el gas natural consumido actualmente genera menos emisiones de gases de efecto invernadero durante su ciclo de vida que el carbón. Al considerar su ciclo de vida completo, en promedio, el gas natural produce aproximadamente un 35% menos de emisiones que el carbón. A esto le agrega que si se comparan las intensidades de emisiones de la generación eléctrica, el gas tiene una ventaja aún mayor debido a la mayor eficiencia de las centrales eléctricas de gas frente a las de carbón. Sin embargo, hace lugar a una excepción en cuanto a las ventajas del gas sobre el carbón, y esta ocurre cuando las emisiones de metano por la extracción, procesamiento y transporte son muy elevadas y cuando se considera su impacto en el calentamiento global en períodos más cortos, utilizando un PCG a 20 años en lugar de uno a 100 años.

En ese sentido coincide con lo afirmado por Howarth porque este puntualiza que claramente las emisiones fugitivas del ciclo de vida del gas son muy elevadas. Pero se diferencia al seguir considerando al gas dentro del mix energético para lo cual promueve regulaciones estrictas para fugas y mejoras tecnológicas, mientras que Howarth propone su abandono urgente.

En otro estudio de 2019, [Howarth](#) concluye que la producción de gas no convencional en América del Norte durante la última década puede haber contribuido a más de la mitad del aumento total de emisiones provenientes de combustibles fósiles a nivel mundial, y aproximadamente un tercio del incremento total de emisiones de todas las fuentes globales en el mismo período.

El metano, principal componente del gas natural, no solo impulsa el calentamiento global, sino que también actúa como precursor clave en la formación del ozono troposférico, un contaminante atmosférico nocivo. Aunque este gas no afecta directamente la salud humana ni los cultivos, su presencia está vinculada a cerca de un millón de muertes respiratorias prematuras anuales a nivel global. Además, el incremento de las emisiones de metano es responsable del 50% del aumento en los niveles de ozono troposférico observados mundialmente.

Estos efectos se traducen en impactos significativos: por un lado, el metano contribuye a la pérdida de hasta un 15% anual en cultivos básicos, debido tanto a su papel en la formación de ozono como al aumento de temperaturas. Por otro, sus repercusiones en el clima y la salud pública generan pérdidas económicas equivalentes a aproximadamente 400 millones de horas de trabajo anuales, atribuidas a las olas de calor extremo ([Climate and Clean Air Coalition, s.f.](#)).

Trabajos finales y Tesisas

Emisiones asociadas al Gas Natural Licuado

El gas natural puede ser transportado por gasoductos para cubrir grandes distancias, pero cuando esa modalidad no es posible por tratarse de puntos muy lejanos y la vía marítima está disponible, se transporta en barcos luego de un proceso de licuefacción en el que se lo enfría a -161°C a una atmósfera de presión. A ese gas se lo denomina Gas Natural Licuado o GNL.

En las distintas etapas de la cadena de valor del GNL se producen emisiones principalmente de CO_2 y CH_4 . Además de las ya mencionadas referidas a la exploración, producción y tratamiento, se agregan las correspondientes a su licuefacción y gasificación; y las que resultan de la quema del combustible empleado en los motores de los barcos, además de las emisiones fugitivas por el transporte por gasoducto hasta la planta y las que escapan de los tanques de almacenamiento.

[Howarth \(2024\)](#) destaca que el componente mayor de las emisiones proviene de fuentes del upstream y midstream, de la producción: el procesado, almacenamiento y transporte del gas natural, que combinadas las de CO_2 y CH_4 contribuyen con el 47% del total de GEI emitidos de la cadena de valor del GNL. El proceso de licuefacción también es fuente importante de emisiones de GEI, (8,8%, usando un PCG a 20 años) de las emisiones totales debido a la gran cantidad de energía necesaria para enfriar el metano y la liberación de ese

gas sin quemar en esas instalaciones. El resto de las emisiones son las que corresponden al transporte marítimo, la regasificación, la distribución y la combustión para su uso final.

En ese mismo artículo se llega a la conclusión que las emisiones totales de GEI son 33% más elevadas para la electricidad obtenida mediante GNL que para el carbón. Liberándose 160 g CO₂eq/MJ para el GNL contra 120 g CO₂eq/MJ para el carbón considerando el PCG a 20 años del metano. Incluso si se considera el PCG a 100 años, que subestima severamente el daño climático del metano, la huella del GNL iguala o supera la del carbón.

Aunque Argentina ha dependido históricamente de importaciones de gas natural desde Bolivia y de compras de GNL para cubrir sus déficits estacionales hasta 2025, las abundantes reservas de la Cuenca Neuquina ofrecen un escenario diferente. El desarrollo de estos yacimientos posicionaría al país como potencial exportador de GNL a escala internacional. Sin embargo, esta transición hacia la exportación masiva conllevaría un aumento sustancial en las emisiones de gases de efecto invernadero.

1.5.8. Energías renovables: ventajas y desventajas

Las energías renovables tienen como fuente a los recursos naturales renovables que son aquellos materiales que se reponen en escalas cortas de tiempo (meses o años), tales como la materia orgánica que procede de plantas y animales. Dentro de este grupo incluimos a la energía que se obtiene del viento, de las aguas circulantes y del calor del sol. La característica de renovables está dada por la tasa de utilización de los mismos para distinguirlos de aquellos a los que se los considera no renovables, como a los combustibles fósiles que se encuentran actualmente en proceso de formación, pero con tiempos de transformación excesivamente lentos en relación al ritmo de extracción y consumos del presente. ([Craig et al., 2012](#)).

La energía radiante del sol y la energía geotérmica participan en la formación del gas, petróleo y carbón. A su vez, la misma energía radiante del sol puede ser convertida en electricidad gracias a paneles solares fotovoltaicos, adicionalmente es un factor fundamental para el origen de los vientos cuya fuerza se aprovecha con el mismo fin mediante aerogeneradores. Lo mismo sucede con la energía derivada de biomasa o los biocombustibles que dependen de la energía solar para obtenerlos. A estas últimas las llamamos energías renovables ([Craig et al., 2012](#)).

El uso de estas energías trae amplios beneficios económicos y sociales además de los ambientales. La mejora en la eficiencia y la disminución notable de su costo, particularmente de las energías solar fotovoltaica y eólica, las ha posicionado como una alternativa descarbonizada para competir con los combustibles fósiles y por lo tanto se han constituido como una medida efectiva contra el cambio climático. Algunos de los beneficios de las fuentes de energía renovable para generación eléctrica son:

- Emisión nula o muy baja de gases de efecto invernadero y contaminantes del aire.
- Generación eléctrica a costos bajos, evitando la volatilidad en los precios de los combustibles fósiles.

•Las plantas eólicas y solares pueden operar por décadas y se desarrollan en menos tiempo que otras tecnologías.

•Las energías renovables permiten aprovechar los recursos locales (irradiación solar y vientos).

•Ayudan a reducir la pobreza y fomentan el desarrollo económico local, atrayendo nuevas industrias y negocios en la cadena de valor, con la creación de puestos de trabajo y permitiendo el alcance de la energía a más personas ([Ríos et al., 2022](#)).

Sin embargo, su variabilidad e intermitencia siguen siendo un obstáculo clave para su adopción masiva. La alta penetración de energía renovable en un sistema de potencia afecta diversos aspectos de calidad de la energía, como el voltaje, la frecuencia y la inyección de armónicos al sistema ([Ríos et al., 2022](#)).

La energía eólica, debido a su dependencia de las fluctuaciones del viento, enfrenta restricciones en la cantidad de potencia que las redes eléctricas pueden absorber. Actualmente, cerca del 30% de la energía inyectada a los sistemas interconectados proviene de esta fuente, un umbral que refleja los riesgos para la estabilidad del sistema cuando se supera.

La intermitencia obliga a mantener fuentes de respaldo, como centrales térmicas de gas en modo "reserva caliente", para compensar las caídas repentinas en la generación renovable. Esto implica que, paradójicamente, la expansión de tecnologías limpias aún requiere respaldar o incluso ampliar la infraestructura de combustibles fósiles ([Roger et al., 2017](#)).

Al igual que con la eólica, la participación óptima de la energía solar en un sistema eléctrico ronda el 30%. Superar este límite genera problemas como inestabilidad de tensión, pérdidas de potencia y reducción de la capacidad de carga de la red ([Mesa-Calle et al., 2023](#)).

Las tecnologías de almacenamiento de energía a distintos plazos de tiempo constituyen uno de los conjuntos de soluciones para estas fluctuaciones. Algunas opciones a destacar son las baterías, el almacenamiento de calor latente, los supercondensadores, centrales de bombeo o volantes de inercia y los vehículos eléctricos (como sistemas de almacenamiento distribuido) ([Roger et al., 2017](#)).

Contar con una infraestructura inteligente y digitalizada que permita la existencia de un sistema totalmente flexible, adaptado al aumento de las energías renovables, contribuirá a optimizar la gestión de la demanda y la distribución ([Deloitte, 2023a](#)).

Beneficios económicos de las energías renovables. El caso de España

En el contexto español, las tecnologías renovables cubrieron el 42,2% de la demanda eléctrica nacional en 2022, al tiempo que la electricidad representó el 25% del consumo de energía final. Destacan la energía eólica y la solar fotovoltaica, que ocuparon el primer y tercer lugar en potencia instalada, con 29.994 MW y 19.785 MW respectivamente.

Desde una perspectiva macroeconómica, el sector renovable contribuyó directamente con 16.874 millones de euros al Producto Bruto Interno (PBI) en 2022, lo que supone un

crecimiento del 21,6% respecto a 2021 y equivale al 1,27% del PBI nacional. A esto se suma una actividad económica adicional de 5.088 millones de euros, elevando la contribución total a 21.961 millones de euros, cifra que representa el 1,65% del PBI español.

En materia laboral, el sector cerró 2022 con 130.815 empleos, distribuidos en 80.322 puestos directos y 50.492 indirectos, evidenciando su efecto multiplicador en la economía. Por tecnologías, la solar fotovoltaica y el autoconsumo lideraron la creación de empleo con más de 10.700 nuevos puestos, seguidos por la eólica, que generó 4.793 empleos adicionales ([Deloitte, 2023b](#)).

Uno de los beneficios clave de las renovables es su impacto en la reducción de precios eléctricos. Durante 2023, su integración en el mix abarató el mercado eléctrico en 12.745 millones de euros, con un ahorro promedio de 55,50 €/MWh. De hecho, sin su participación, el precio medio habría alcanzado 142,60 €/MWh, en contraste con los 87,10 €/MWh registrados ([Deloitte, 2024](#)). Este fenómeno subraya cómo el avance renovable no solo impulsa la sostenibilidad, sino también la competitividad económica.

Impactos ambientales de las plantas de generación eléctrica eólicas y solares fotovoltaicas

Los impactos ambientales de las energías solar fotovoltaica y eólica se concentran principalmente en la obtención, procesamiento y fabricación de materiales ([Das et al., 2024](#)). No obstante, su huella de carbono (14-73 g CO₂eq/kWh para solar y 8-23 g CO₂eq/kWh para eólica) es significativamente menor que la de las plantas de combustibles fósiles (607,6 a 975,3 g CO₂eq/kWh) ([Tawalbeh et al., 2020](#); [Bošnjakovic et al., 2023](#)).

Impactos específicos de la energía eólica:

- **Ruido operacional:** Mayor a bajas velocidades de viento ([SAyDS, 2019](#)).
- **Parpadeo de sombras:** Generado por el giro de las palas, afectando a receptores sensibles ([SAyDS, 2019](#)).
- **Colisión y perturbación de fauna:** Riesgo de colisión de aves (3-5 por MW por año en EEUU) y murciélagos (1-30+ por MW por año en EEUU) con las turbinas, además de desplazamiento por ocupación del hábitat ([Strickland et al., 2011](#); [Loss et al., 2013](#); [AWWI, 2016](#); [Palmer y Petracci, 2017](#); [SAyDS, 2019](#); [Camiña, 2012](#)). El barotrauma es un impacto significativo en murciélagos ([Palmer y Petracci, 2017](#)). La colisión de murciélagos aumenta con vientos bajos y cerca de elementos lineales del paisaje ([SAG, 2015](#)).
- **Seguridad y navegación aérea:** Riesgo por la altura de las turbinas y distorsión de radares ([IFC, 2015](#)).
- **Uso de materiales y residuos:** Impacto por la fabricación de cemento para cimentaciones y la falta de reciclaje para materiales compuestos de las palas ([Portillo et al., 2024](#)). El acero de las torres es reciclable.

Impactos específicos de la energía solar fotovoltaica:

- **Emisiones de sustancias peligrosas:** Uso de materiales como silicio, cadmio, telurio, cobre, selenio y galio, obtenidos mediante minería y procesos que generan emisiones de metales pesados ([Tawalbeh et al., 2020](#)). Se utilizan productos químicos y disolventes tóxicos en la fabricación.
- **Afectación de la calidad del suelo y su uso:** Alta ocupación de superficie (2-3 hectáreas por MW) que puede competir con usos agrícolas o ganaderos ([Nobe, 2024](#); [Armstrong et al., 2013](#)). Se investiga la coexistencia con cultivos ([Adeh et al., 2019](#)) y el uso en techos de invernaderos ([Emmott et al., 2015](#)).
- **Impactos en la biodiversidad:** Pérdida de hábitat, efecto barrera y alteración del ecosistema del suelo ([Vivanco Font, 2024](#)). Riesgo para aves por cegamiento y colisiones, y para insectos acuáticos por el "efecto falso lago" ([SAyDS, 2019](#)).
- **Uso de agua:** Consumo para lavado de paneles, relevante en zonas áridas ([SAyDS, 2019](#)).
- **Impacto lumínico:** Deslumbramiento para poblaciones cercanas y transporte ([SAyDS, 2019](#)).
- **Generación de residuos:** Paneles con vida útil de 25-30 años, compuestos principalmente por vidrio, polímeros y aluminio (no peligrosos per se), pero con presencia de materiales peligrosos como plata, estaño y trazas de plomo, además de otros en paneles de capa delgada ([SAyDS, 2019](#)).

La mitigación de los impactos de los sistemas fotovoltaicos se puede lograr mediante diseño optimizado, nuevos materiales, minimización de sustancias peligrosas, reciclaje y selección cuidadosa del emplazamiento. El reciclaje podría reducir las emisiones de GEI hasta en un 42% ([Tawalbeh et al., 2020](#)).

2. METODOLOGÍA

La metodología de investigación empleada será de tipo cualitativa y se integrarán datos cuantitativos de fuentes oficiales para respaldar los objetivos formulados. Para alcanzar los objetivos específicos se realizará una búsqueda bibliográfica y recopilación de información de fuentes de datos secundarias. Estas fuentes incluirán documentos oficiales, publicaciones científicas e informes oficiales y de Organizaciones No Gubernamentales.

Se indagará sobre la historia de las energías renovables y no renovables en la Argentina desde el siglo XX al XXI, como componen la matriz energética nacional y su participación en las actividades económicas de Argentina.

Se buscará información que permita establecer la relación entre los combustibles fósiles: carbón, gas y petróleo, el calentamiento global y la transición energética. Se analizarán informes del IPCC, el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de los años 2020 y 2022, publicaciones científicas que den cuenta de diferentes puntos de vista respecto del rol del gas natural en la transición energética contemplando varios aspectos como la existencia del recurso y el sistema de provisión de energía existente. Asimismo, se relevará información sobre los compromisos internacionales asumidos por el país para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero contenidos en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés) y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relativos al objeto de estudio contenidos en la Agenda 2030.

Se recopilarán datos que describan la cuenca neuquina de Vaca Muerta, su extensión, profundidad, existencia de los distintos tipos de hidrocarburos y técnicas de extracción, como también cuáles son las reservas estimadas de gas y petróleo y qué potencial económico representan para la Argentina. También se consultarán informes de la Agencia Internacional de la Energía (IEA) y de la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA) para obtener la fluctuación de los costos de generación de las distintas energías renovables y su comparación con electricidad obtenida a partir de combustibles fósiles.

También se analizarán publicaciones de diferentes autores que consideran a la transición energética desde distintas perspectivas, algunos poniendo énfasis en el aprovechamiento de un recurso abundante como el gas natural para favorecer el desarrollo, y otros con una visión opuesta, proponiendo orientar las inversiones hacia las energías renovables sin dilaciones porque la demanda de hidrocarburos en el mundo está por llegar a su pico máximo y posterior declinación.

Finalmente, con toda la información presentada se buscará establecer una conclusión respecto de la explotación del gas natural en Argentina en relación a la descarbonización y la necesidad de asegurarse la provisión de energía para que la transición tenga un carácter progresivo, en el marco de las NDC comprometidas y de un Desarrollo Sostenible para nuestro país.

3. CAPÍTULOS DE ANÁLISIS

3.1. Potencial energético de Argentina

3.1.1. Los hidrocarburos en Argentina

Argentina posee cinco cuencas productivas de petróleo y gas. Estas son: Noroeste, Cuyana, Neuquina, San Jorge y Austral ([Alarcón et al, s.f](#)). La producción total de gas natural en 2024 en sus 1.100 yacimientos fue de 50.729 millones de metros cúbicos ([SECENERGIA, 2025a](#)). De todas ellas, la Neuquina es una de las más importantes. Su superficie supera los 120.000 km².

Se encuentra ubicada en el ámbito centro-oeste de Argentina, entre los paralelos 32° y 40° S. Limita hacia el sur con el Macizo Nordpatagónico, al noreste con la Payenia y el sistema de Sierra Pintada o Bloque de San Rafael, y al oeste con la Cordillera Principal. Abarca una gran parte de la provincia de Neuquén y porciones menores de Mendoza, Río Negro y La Pampa ([Alarcón et al, s.f](#)).

En la Cuenca Neuquina se identifican dos formaciones geológicas con potencial hidrocarburífero: Vaca Muerta y Los Molles. La primera es la más relevante, abarca 30.000 km² (30% del territorio neuquino) y actualmente se encuentra en explotación ([Acacio, 2021](#)); la segunda, está ubicada a mayor profundidad y su explotación aún no resulta económicamente viable.

La Formación Vaca Muerta (FM VM) es uno de los recursos de hidrocarburos no convencional de excelencia mundial. Se conoce su importancia como roca generadora desde el comienzo de la actividad petrolera. Fue descubierta en 1931 por el geólogo y paleontólogo estadounidense Charles Edwin Weaver que la encontró aflorando en toda la sierra de Vaca Muerta. Está constituida por sedimentitas conocidas como margas bituminosas, gracias a su contenido de materia orgánica. Se trata de sedimentos marinos de baja energía que se depositaron en el fondo en condiciones reductoras ([Robles, 2012](#)).

Las áreas de explotación convencionales (conocidas con el nombre de plays) ya muestran su agotamiento y eso le confiere a la FM VM gran relevancia, sumado a que sus características geoquímicas, petrofísicas y geográficas la hacen muy atractiva ([Mariñelarena, 2018](#)).

Algunas características de la FM VM por las que adquiere tal relevancia, se listan a continuación:

- Alto contenido orgánico total (COT): Vaca Muerta presenta valores de COT que varían entre 2% y 8%, con un promedio de 3,2%. Este alto contenido orgánico es esencial para la generación de hidrocarburos. ([Bernhardt et al., 2022](#)) ([Mariñelarena, 2018](#)).
- Espesor considerable: La formación tiene un espesor total que varía entre 100 y 450 metros, con un espesor útil de entre 60 y 450 metros. Este espesor significativo proporciona un volumen considerable de roca generadora. ([Mariñelarena, 2018](#))
- Sobrepresión favorable: La sobrepresión en Vaca Muerta, que puede alcanzar hasta 0,83 psi/pie, es beneficiosa para la producción de hidrocarburos no convencionales. ([Mariñelarena, 2018](#))

- Mineralogía propicia para la fracturación: La composición mineralógica de la roca, rica en cuarzo y carbonatos y pobre en arcillas, la hace más frágil y facilita la aplicación de técnicas de estimulación hidráulica (fracking) ([Mariñelarena, 2018](#)) ([Pazos, 2016](#)).
- Ubicación en una cuenca petrolera establecida: Vaca Muerta se encuentra en la Cuenca Neuquina, una región con una larga historia de producción de hidrocarburos y con infraestructura existente ([Pazos, 2016](#)).
- Profundidad adecuada: La formación se encuentra a profundidades que permiten la aplicación de técnicas de perforación y fracturación hidráulica ([Mariñelarena, 2018](#)) ([Pazos, 2016](#)).
- Extensión areal extensa: La Formación Vaca Muerta cubre una vasta área, lo que aumenta su potencial como reservorio no convencional ([Bernhardt et al., 2022](#)).

3.1.2. La energía primaria: evolución y particularidades de la matriz argentina

La energía primaria corresponde a los recursos energéticos en su estado natural, sin transformación previa a su uso final. Esta categoría incluye el petróleo crudo, el gas natural, el carbón mineral, la energía solar, eólica, hidráulica (de ríos o mares) y nuclear.

Al analizar la evolución de la oferta de energía primaria en Argentina (Figura 4), se destaca un cambio significativo a partir de la década de 1970: el gas natural incrementó su participación, mientras que el petróleo perdió protagonismo. Durante los últimos cuarenta años, los hidrocarburos (petróleo y gas) han dominado la matriz, representando en conjunto casi el 90% del consumo energético nacional. Paralelamente, se observa una incorporación gradual de energías más limpias en emisiones, como la hidroeléctrica y la nuclear, junto a una reducción progresiva del uso del carbón. Y a partir de la década del 2010 la irrupción de energías renovables no convencionales, principalmente fotovoltaica y eólica.

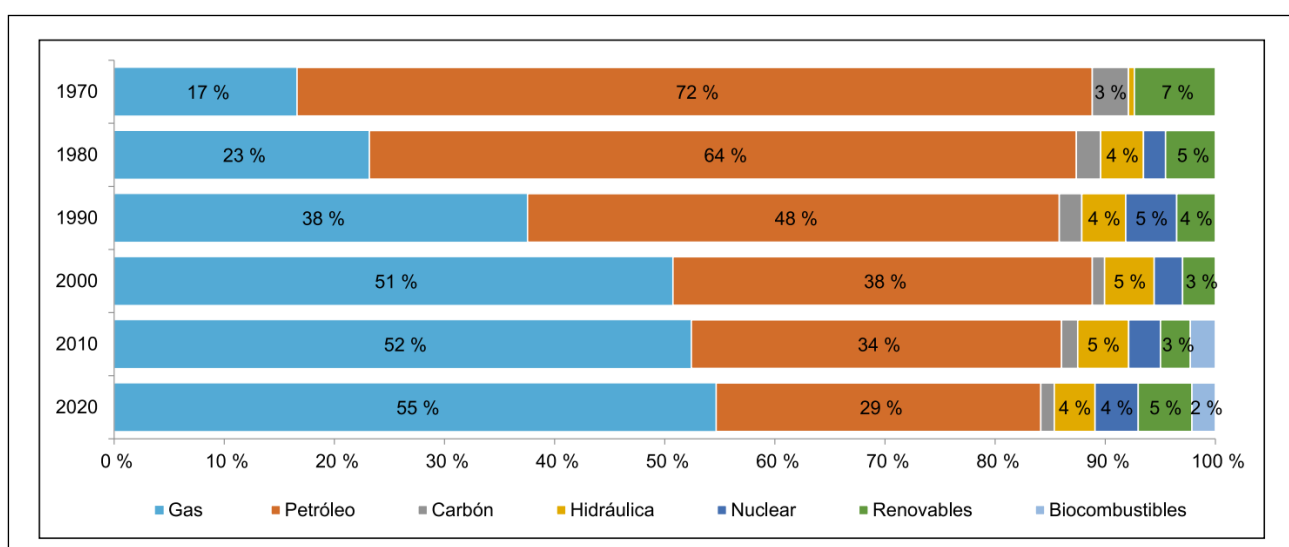


Fig. 4. Oferta de energía primaria en Argentina. 1970-2020. Fuente: [Rozengardt \(2023\)](#)

Una particularidad de Argentina frente a otros países radica en el bajo peso del carbón mineral, el combustible fósil con mayores emisiones contaminantes. Mientras este recurso ha sido históricamente marginal en el país, a nivel global aún aporta el 26% de la energía

primaria. Esta cifra se explica por la dependencia de economías en desarrollo como China, India, Sudáfrica e Indonesia, donde el carbón supera el 40% de su producción energética. Incluso en naciones industrializadas como Japón (26%), Australia (25%) y Alemania (16%), su relevancia sigue siendo notable ([Aneise, Möhle, y Schteingart, 2024](#)).

En comparación con estos casos, la matriz argentina presenta un perfil más sostenible: la escasa participación del carbón reduce las emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de energía consumida. Este contraste subraya las diferencias en las prioridades energéticas y ambientales entre regiones, así como los desafíos globales para avanzar hacia fuentes menos contaminantes.

3.1.3. Breve historia del gas en la Argentina: producción y consumo

La producción de gas natural en el país comienza en 1950. Para ese entonces se inauguró el gasoducto que traía el combustible desde Comodoro Rivadavia, Chubut a Buenos Aires. En la provincia patagónica se explotaba el petróleo y el gas resultaba una molestia, se ventaba sin aprovecharlo hasta que con la creación de la empresa Gas del Estado se avanzó en la nacionalización de los servicios de energía y la construcción del gasoducto que para la época fue una obra de importancia mundial con una extensión de 1600 km. El gas natural reemplazaría a otros combustibles menos eficientes que se estaban empleando para ese entonces en el uso residencial o rural: querosén, leña o carbón o inclusive la electricidad (Rolando, 2010).

Alrededor de los años '70 se produjo otro acontecimiento de importancia para el abastecimiento energético de Argentina: el descubrimiento del yacimiento de gas en Loma La Lata, Neuquén. Considerado en ese momento el más grande de Sudamérica, fue el motor de una transición energética en el país, y permitió que a finales de la década del '90 este combustible desplazara al petróleo como el principal en la oferta de energía primaria ([Furlán, 2017](#)). En la década del '90, la empresa estatal YPF fue privatizada y la empresa adquiriente concentró sus esfuerzos en la extracción de los recursos antes que en la exploración lo que llevó a la disminución de las reservas al tiempo que declinaba la productividad de los pozos convencionales. Tanto fue así que paulatinamente y año tras año comenzó a producirse un déficit energético que se compensó con importaciones de gas desde Bolivia y también con la compra de Gas Natural Licuado que llegaba en buques metaneros para satisfacer los picos de demanda.

Habiendo alcanzado el hito máximo de producción de gas natural en 2004, con 52.160 millones de m³ (MMm³) (Figura 5), en el año 2006 Argentina comenzó a ser importador neto de energía. A la falta de inversión en exploración ya mencionada, se le sumó la recuperación de la actividad económica que siguió a la grave crisis que padeció el país posterior a la caída de la convertibilidad, lo que llevó al aumento sostenido en la demanda del combustible ([Pazos, 2016](#)).

Unos años más tarde, en noviembre de 2011, YPF (controlada por la española REPSOL luego de la privatización) confirma la existencia de 927 millones de barriles equivalentes de

petróleo de hidrocarburos no convencionales livianos y de alta calidad, alojados en la Fm. Vaca Muerta, en la cuenca neuquina.

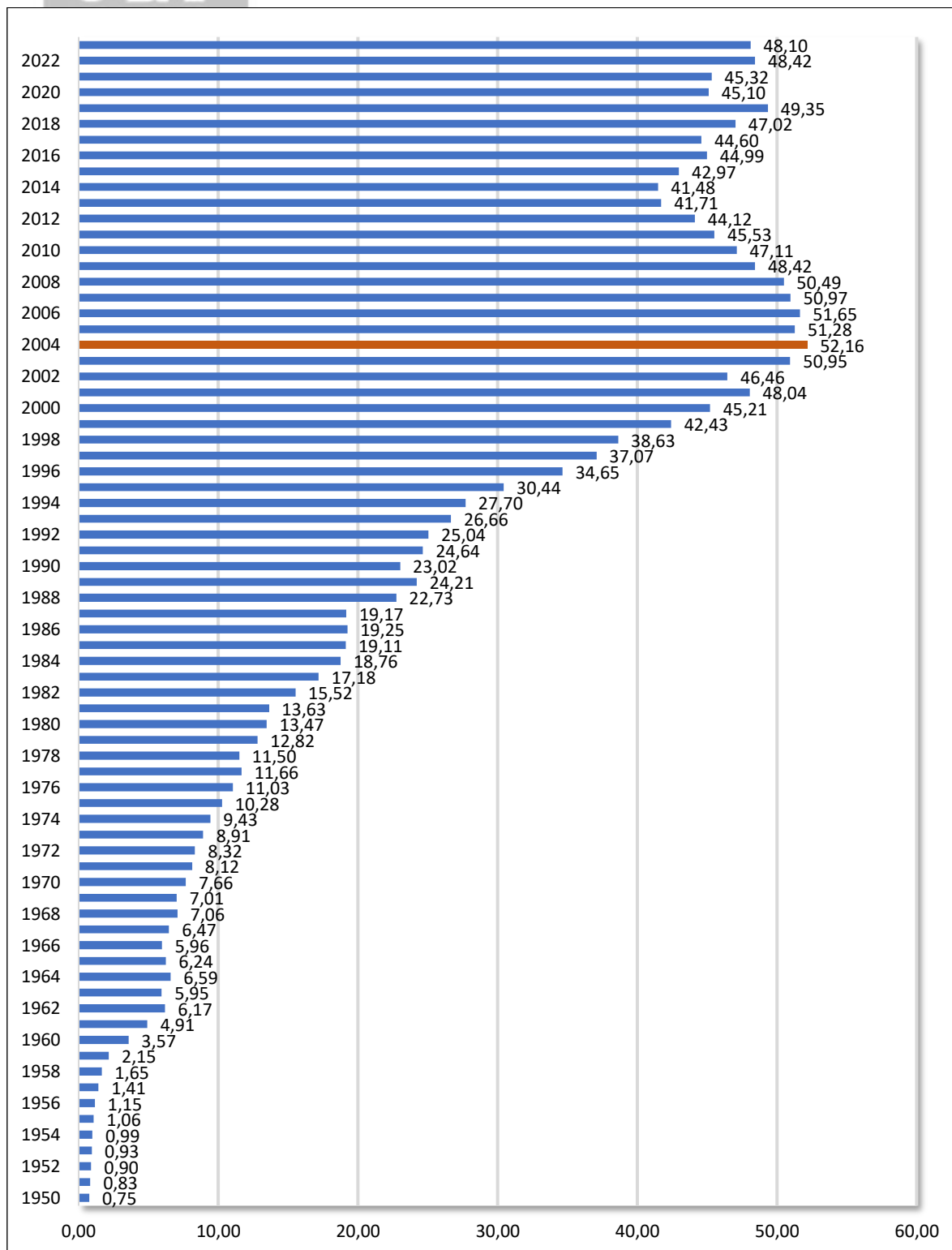


Fig. 5. Producción anual de gas natural (1950-2023) en miles de millones de m³ (miles de MMm³)

Nota. En rojo el récord alcanzado en 2004. Fuente: Elaboración propia en base a datos de ENARGAS

El Estado argentino, para aprovechar este hallazgo y buscando desembarazarse de las limitaciones impuestas por las normas de la etapa neoliberal, decide la expropiación parcial

de YPF con la sanción de la Ley de Soberanía Hidrocarburífera en 2012 que perseguía, entre sus objetivos, conseguir el autoabastecimiento y disponer de esos hidrocarburos para el desarrollo económico con equidad social ([Nuñez, 2021](#)).

La participación de la cuenca Neuquina en la explotación de gas natural se incrementó en el período 2010-2022 un 27,14% al tiempo que las demás cuencas fueron disminuyendo su producción.

Del mismo modo, la producción de gas no convencional frente a la convencional creció desde un magro 2,41% en 2010 hasta un 54,21% en 2022. Inversamente la producción de gas convencional descendió del 97,59% al 45,79% en el mismo período (Figura 6).

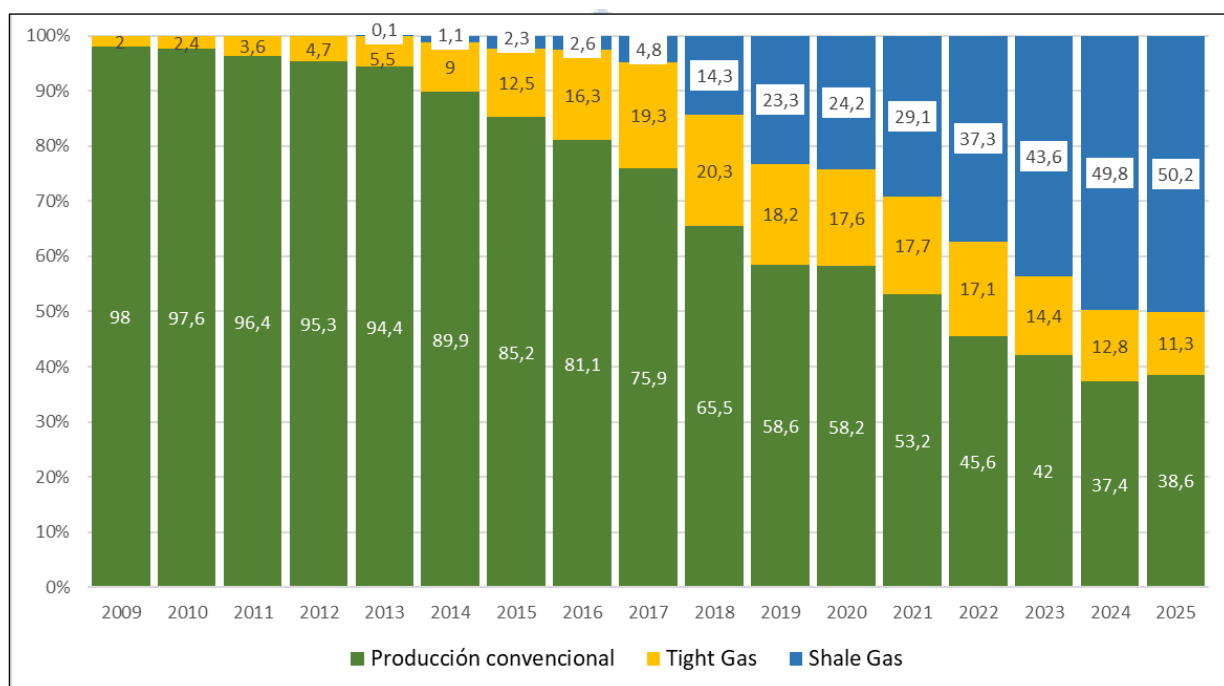


Fig. 6. Porcentaje de producción de gas natural por tipo y por año. 2009-2025. Fuente: elaboración propia en base a datos de [SECENERGIA \(2025b\)](#)

El consumo de gas a nivel país durante el 2023 fue 40.780 MMm³/año (millones de metros cúbicos por año) con un promedio diario de 112 MMm³/d (millones de metros cúbicos por día). El consumo por sector para el mismo año se distribuyó de la siguiente manera: usuarios residenciales, 27 MMm³/d; industriales, 38 MMm³/d; generación eléctrica, 33 MMm³/d y otros consumos 14 MMm³/d ([ENARGAS, 2023](#)).

3.1.4. Reservas y recursos gasíferos

En su informe de 2013, la Administración de Información Energética de los Estados Unidos ([EIA](#)) evaluó los recursos de gas no convencional de Argentina, considerando aquellos técnicamente recuperables, sin tomar en cuenta la viabilidad económica de su explotación. Según este informe, la Formación Vaca Muerta (Fm. VM) contenía 307,7 billones de pies

cúbicos (Tcf), equivalentes a 8,7 billones de metros cúbicos (8.700.000 MMm³). El total de recursos de gas no convencional técnicamente recuperables para Argentina, sumando las cuencas Neuquina, San Jorge, Paraná y Austral-Magallanes, se estimó en 802 Tcf (22,7 billones de metros cúbicos). Es importante señalar que esta clasificación no consideró ni el costo de producción ni el precio del gas. A partir de este relevamiento, los recursos de shale gas de la Formación Vaca Muerta se posicionaron como los segundos en importancia a nivel mundial.

Más recientemente, la Secretaría de Energía ([SECENERGIA, 2025a](#)) realizó una estimación de los recursos gasíferos de todo el país con el propósito de proyectar las exportaciones de este combustible después de restar la demanda interna, información que fue publicada en el texto de la Resolución 157/2025. Los recursos técnicamente recuperables a diciembre de 2023 se estimaron en 273,75 Tcf (doscientos setenta y tres con 75/100 billones de pies cúbicos) o 7.821.268 MMm³ (siete millones ochocientos veintiún mil doscientos sesenta y ocho millones de metros cúbicos) (Tabla 1). Este cálculo se realizó sobre reservas y recursos contingentes, tanto convencionales como no convencionales, certificados por cuenca, cuyo total arrojó 64,35 Tcf (Tabla 2). A esto se añadió la estimación media de los volúmenes no descubiertos o recursos prospectivos de la Formación Vaca Muerta, que resultó en 209,4 Tcf (Tabla 3).

	NEUQUINA	AUSTRAL	CUYANA	G. SAN JORGE	NOROESTE	TOTAL
Tcf	262	8,72	0,01	2,27	0,75	273,75

Tabla 1. Recursos técnicamente recuperables a diciembre 2023. Fuente: elaboración propia en base a datos de [SECENERGIA \(2025a\)](#)

	NEUQUINA	AUSTRAL	CUYANA	G. SAN JORGE	NOROESTE
MMm ³	1.502.936	249.248	387	64.720	21.243
Tcf	52,6	8,72	0,01	2,27	0,75

Tabla 2. Reservas y recursos contingentes, convencionales y no convencionales certificados por cuenca a diciembre 2023. Fuente: elaboración propia en base a datos de [SECENERGIA \(2025a\)](#)

Escenario	RRG	Extraído	Reservas	Recursos Contingentes	Recursos Prospectivos	RTRG
Estimación Baja	147	-3,1	20,7	24,8	98,4	143,9
Mejor Estimación	258	-3,1	20,7	24,8	209,4	254,9
Estimación Alta	396	-3,1	20,7	24,8	347,4	392,9

Tabla 3. Estimación media de los volúmenes no descubiertos o recursos prospectivos de la Formación Vaca Muerta a diciembre 2023 en Tcf. Nota. **RRG**: Recursos Recuperables de Gas, **RTRG**: Recursos Remanentes Técnicamente Recuperables de Gas. Resaltado en amarillo los Recursos Prospectivos de la FM VM que se adicionan para obtener el total de los Recursos Técnicamente Recuperables del país. Fuente: elaboración propia en base a datos de [SECENERGIA \(2025a\)](#)

3.1.5. Proyección de la producción, demanda local y exportaciones de gas natural en el período 2022-2050

En la Resolución 157/2025 de la Secretaría de Energía anteriormente mencionada se publicó la proyección de la demanda local de gas, su producción y exportaciones para el período 2022-2050.

Los parámetros de proyección de la demanda se basan en un crecimiento de la población del 0,8% interanual (a.a.) al 2035, crecimiento de viviendas del 0,9% a.a. y crecimiento de hogares con acceso al gas natural del 0,8% a.a. Para la demanda prioritaria se consideró un crecimiento del 1,5% interanual, a la correspondiente al GNC se la asumió constante porque no se prevén grandes incorporaciones y para la demanda industrial se tuvo en cuenta un crecimiento del 1,75% interanual. Adicionalmente, se considera un aumento de 5 MMm³/d del retenido en las plantas de tratamiento y la incorporación de plantas de procesamiento de amoníaco y urea por 5,5 MMm³/d entre 2025 y 2030.

Se modeló la curva de demanda (Figura 7) teniendo en cuenta la variación estacional con su incremento en los meses de invierno y se proyectaron ampliaciones a la red de transporte entre los años 2026 y 2028 lo que elevó su capacidad máxima a 200 MMm³/d (de producción local). De ese modo cuando la demanda interna exceda ese valor será abastecida mediante importación de GNL que en su pico máximo no excederá de 30 MMm³/d en los meses de invierno.

Finalmente, la demanda total estimada, entre los años 2025 a 2039, es de 874.125 MMm³ (30,6 Tcf) sin considerar las importaciones de GNL necesarias en los picos de invierno ni otra importación ([SECENERGIA, 2025a](#)).

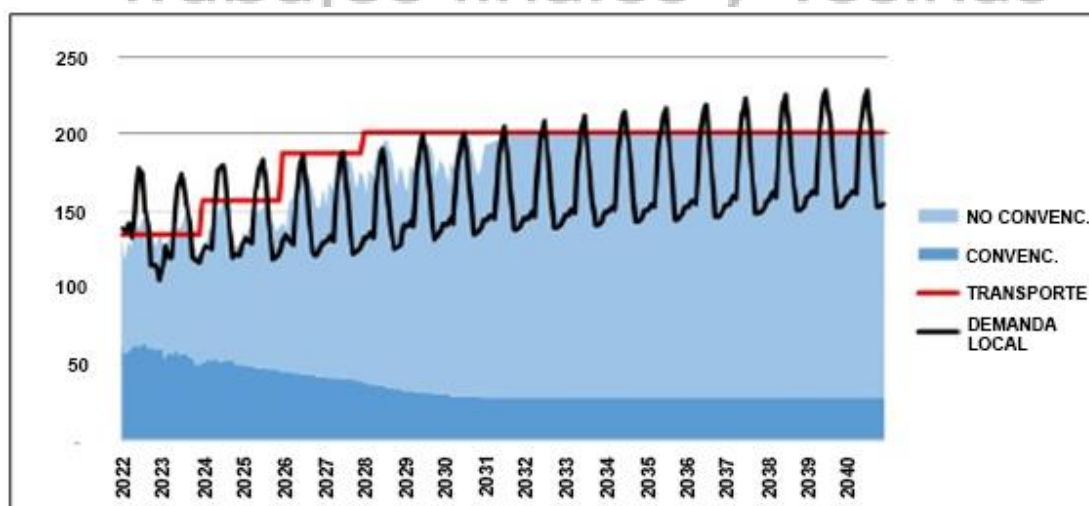


Fig. 7. Proyección de producción de gas natural y demanda (MMm³/d). Nota: La capacidad de transporte, representada por una línea roja, va cortando escalonadamente la variación de la demanda de acuerdo a los planes de ampliación de los gasoductos previstos para el período 2026-2028. En la mayor parte de los años representados el gas producido localmente no logra satisfacer la demanda interna por falta de capacidad de transporte por lo que será abastecida mediante importaciones.

Fuente: [SECENERGIA \(2025a\)](#)

En el caso de la proyección de exportación de gas natural se consideró un escenario para la exportación dentro del sistema de transporte (DST) y dos escenarios para la exportación fuera del sistema de transporte (FST): uno de alta inversión y otro de baja. Dado que una de las premisas del escenario es un polo fuertemente exportador, lo que supone altos niveles de producción, no se analizaron fuentes alternativas al recurso.

Las exportaciones dentro del sistema de transporte consideran una ocupación del 50% de la capacidad de transporte de los gasoductos Gas Andes y Norandino (hacia Chile) y los envíos habituales a Uruguay y Brasil.

Con respecto a la exportación de GNL (Gas Natural Licuado) se considera un buque de 1,5 MTPA en el año 2027, un buque adicional de 2,2 MTPA en 2028 dentro del sistema de transporte. Posteriormente se comercializa por fuera del sistema de transporte y se adiciona un buque de 2,2 MTPA en 2030 y dos buques de 2,2 MTPA en 2035. Este esquema corresponde a un escenario de baja inversión existiendo otro de alta inversión al respecto.

Habiendo estimado los recursos y la demanda interna, se obtuvo por diferencia entre ambos la disponibilidad de gas a largo plazo para suministrarlo sobre base firme e ininterrumpible a los proyectos de exportación de GNL, para lo cual se plantearon tres escenarios de consumo y exportación.

Recursos - Demanda interna = Disponibilidad de gas

$$7.821.268 \text{ MMm}^3 - 874.125 \text{ MMm}^3 = 6.947.143 \text{ MMm}^3$$

Escenario 1: Situación actual

Se asume que se mantienen los valores de consumo interno más exportaciones del año 2024, y que se abastecen totalmente con producción local (sin importaciones).

Exportaciones: 4,35 MMm³/d (1.590 MMm³ anuales).

Consumo: 113 MMm³/d (41.167 MMm³ anuales).

Los recursos abastecerían durante 162 años.

Escenario 2: Considerando los valores mínimos de las proyecciones

Exportaciones GNL constantes en: 60 MMm³/día (21.900 MMm³ anuales). Exportaciones gas natural constantes en: 20 MMm³/día (7.300 MMm³ anuales) Consumo: 200 MMm³/d (73.000 MMm³ anuales).

Los recursos abastecerían durante 68 años

Escenario 3: Considerando los valores máximos de las proyecciones

Exportaciones GNL constantes en: 80 MMm³/día (29.200 MMm³ anuales). Exportaciones gas natural constantes en: 20 MMm³/día (7.300 MMm³ anuales) Consumo: 200 MMm³/día (73.000 MMm³ anuales).

Los recursos abastecerían durante 63 años.

	Exportaciones + Consumo anuales [MMm3]	Recursos Disponibles [MMm3]	Años	Observaciones
Escenario 1	42.757	6.947.143	162	valores de 2024
Escenario 2	102.200	6.947.143	68	proyecciones de baja inversión
Escenario 3	109.500	6.947.143	63	proyecciones de alta inversión

Tabla 4. Resumen de los escenarios considerados. Fuente: elaboración propia en base a datos de [SECENERGIA \(2025a\)](#)

Cabe destacar que en los escenarios 2 y 3 se estima un consumo interno de 73.000 MMm³/a en contraste con los 41.167 MMm³/a del escenario 1 correspondiente al presente, una gasificación 1,8 veces mayor. No se dispone de la información que de cuenta de cuáles serán los usos finales que generarán ese aumento en los consumos. Por otra parte, los escenarios de exportación 2 y 3 suponen una producción 280 MMm³/d y 300 MMm³/d respectivamente, cuando la producción actual (2023) es de 131 MMm³/d. Todo esto supone un aumento en las emisiones de GEI considerable en una proyección al 2050 que nos aleja del objetivo del cero neto.

3.1.6. Energías renovables para la generación eléctrica en Argentina

Este estudio se centra en las energías eólica y solar fotovoltaica por encima de otras fuentes renovables debido a dos razones principales. En primer lugar, según los datos de las adjudicaciones del Programa Renovar (rondas 1, 1.5 y 2), estas tecnologías presentan los costos de generación más competitivos, con precios promedio que se mantienen por debajo del valor monómico del mercado eléctrico mayorista. Por el contrario, las demás alternativas renovables registran costos por megavatio (MW) significativamente superiores a este referente ([MECON, 2023](#)). En segundo lugar, ambas tecnologías son reconocidas a nivel global como soluciones maduras, respaldadas por décadas de desarrollo e innovación, lo que explica su amplio despliegue tanto en el contexto internacional como en el territorio argentino. Esta combinación de competitividad económica y consolidación técnica las posiciona como pilares estratégicos para la transición energética analizada en este trabajo.

Ventajas geográficas con las que cuenta Argentina para la instalación de plantas de energía solar y eólica

Clima y recurso solar en el Noroeste Argentino (NOA)

La región del NOA se caracteriza por una nubosidad excepcionalmente baja (menor o igual a 2 días de cielo cubierto cada 10) en invierno (mayor a 30 días despejados) y verano (5 a 20 días, excluyendo la selva tucumano-oranense). Las precipitaciones son escasas: <10 mm en julio y 50 a 100 mm en enero ([Grossi Gallegos y Righini, 2007](#)). Estas condiciones, sumadas a la alta elevación y aire limpio, favorecen un potencial solar de clase mundial, con rendimientos que alcanzan 6,8 kWh/m²/día en zonas óptimas. Otro aspecto de relevancia sumando a los anteriores es que en general se trata de áreas poco pobladas minimizando el

riesgo de competencia por el uso del suelo con actividades productivas como la de los cultivos para la alimentación o para biocombustibles, como se prevé que suceda en Europa en los próximos 30 años ([UVadivulga, 2021](#)).

Distribución geográfica de la irradiación

Según los mapas de irradiación global horizontal (GHI), Argentina presenta un amplio rango de valores: 1,5–10,5 kWh/m², con máximos concentrados en una franja junto a la Cordillera de los Andes (oeste de Jujuy, Salta, Catamarca, La Rioja y noroeste de San Juan). Los promedios anuales por región varían significativamente:

- NOA: 5,0–4,5 kWh/m²/día.
- Centro y Noreste: ~4,0 kWh/m²/día.
- Patagonia Norte: 3,5 kWh/m²/día.
- Patagonia Central: 3,0 kWh/m²/día.
- Patagonia Sur e Islas del Atlántico Sur: 2,4 kWh/m²/día.

Estos datos, provistos por la Secretaría de Energía (2017), en base al trabajo de [Grossi Gallegos y Righini \(2007\)](#) destacan que las zonas andinas superan el promedio global (5,0 kWh/m²/día) y compiten con regiones como el Desierto de Atacama (Chile) o el norte de África. El GHI en el NOA oscila entre 2,3 y 7,4 kWh/m²/día, posicionándose entre los más altos del planeta (Figura 8).

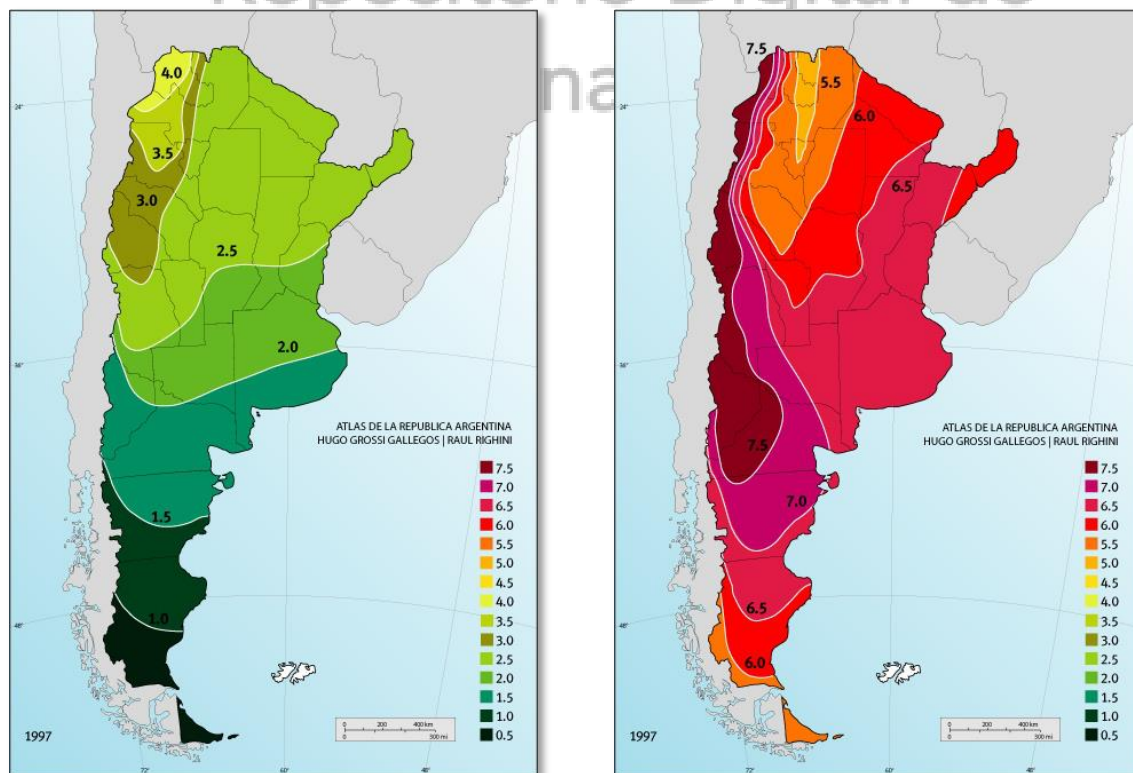


Fig. 8. Distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria (kWh/m²) correspondiente al mes de julio (izq.) y enero (der.). Fuente: [Grossi Gallegos y Righini \(2007\)](#)

Comparación internacional

Mientras países europeos como Alemania (con valores $\leq 3,0$ kWh/m²/día) lideran en tecnología solar, pese a su menor recurso, aprovechando la radiación directa para la producción de agua caliente sanitaria, el sur de España, país referente en energía solar para la producción de electricidad, equipara el promedio argentino (4,0 kWh/m²/día). Es para destacar que el potencial fotovoltaico absoluto del NOA es 15–20% superior a regiones de clima árido similares (Península Arábiga, norte de África), gracias a la combinación de cielos despejados, baja humedad y altitud (>4000 msnm), que reduce la dispersión atmosférica.

Potencial técnico y distribución geográfica de la energía eólica

El [BID y CFI \(2019\)](#) destacan que el potencial eólico técnicamente aprovechable es de 5.000 MW y se encuentra concentrado en la Patagonia, la región cordillerana y la costa atlántica. Estas áreas se caracterizan por velocidades medias del viento excepcionales: 12 m/s en la Patagonia y 9 m/s en el sur de Buenos Aires, valores que superan la media global ([MECON, 2023](#)).

La Cámara Eólica Argentina, plantea que, instalando parques eólicos en los 42.000 kilómetros cuadrados más aptos, se podría generar más del triple de la energía de la que se consume en el presente ([Rozengardt, 2023](#)).

Rendimiento de parques eólicos

El factor de capacidad, definido como el porcentaje que relaciona la energía real generada con la máxima teórica en un año (Vivar y Fernández, 2022), evidencia el alto rendimiento local. Un estudio de 2020 sobre siete parques *onshore* en Chubut reveló que cinco superaron el 50%, y los dos restantes alcanzaron entre 35% y 40% (Vivar y Fernández, 2022). Estos datos contrastan favorablemente con EE.UU. (32-36%), Dinamarca (31,2%), España (23,4%) y Alemania (22%) ([EIA, 2021](#); [IEA WIND, 2022a](#), [2022b](#), [2022c](#)).

Un caso destacado es el del parque Manantiales Behr (Chubut), cerca del golfo San Jorge, registró entre febrero y mayo de 2023 factores de capacidad de 63,5% a 71,6%, posicionándose entre los tres mejores de CAMMESA con un promedio anual del 61,3% en 2023 ([YPF LUZ, 2024](#)).

Impacto en la matriz energética

Mientras países como Dinamarca cubren el 53,4% de su demanda eléctrica con energía eólica (a pesar de un factor del 31,2%), Argentina tiene margen para escalar su aporte actual (puesto que las renovables según Ley 26.190 cubren el 16,3% de la demanda al 2024), aprovechando condiciones naturales que duplican la eficiencia de regiones líderes como Europa.

3.1.7. Crecimiento de las energías renovables y su normativa

Las energías renovables en Argentina fueron ganando impulso gracias a distintas iniciativas legislativas que comenzaron con la sanción de la Ley 25.019 en 1998. En ella se declaró de interés nacional a la generación de energía eólica y solar en todo el territorio nacional. Estuvo en condiciones de ser aplicada en el 2001 cuando una gran crisis atravesó al país, por lo que no tuvo el efecto esperado.

En 2006, la Ley 26.190, “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica”, tuvo en cuenta, además de las energías eólica y solar, a la geotérmica, mareomotriz, hidráulicas hasta 30 MW, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás, con excepción de los biocombustibles que fueron objeto de otra norma ([Arriola, 2019](#)). Por primera vez se fijó un objetivo concreto de generación eléctrica renovable: al año 2016, el 8% del consumo de energía eléctrica debía provenir de estas fuentes ([Devalis, 2018](#)).

Estas políticas de fomento de las energías renovables debían ser acompañadas de la ampliación de la red de transporte eléctrico para estas pudieran conectarse eficientemente. Consecuentemente hacia el 2012 esa red se extendió unos 4.753 km posibilitando el lanzamiento del programa GENREN (Generación de Electricidad a partir de Fuentes Renovables) ([Arriola, 2019](#)).

Es a partir de la Ley 27.191, sancionada en 2015, que la expansión de las fuentes renovables destinadas a la producción de energía eléctrica, adquiere la máxima prioridad para el gobierno y se constituye en política de Estado a largo plazo. Además de brindar condiciones para alcanzar una mayor diversificación de la matriz energética nacional, modifica el objetivo del 8% de la ley anterior llevándolo a fines de 2017 y prevé un aumento gradual de la participación renovable en la generación eléctrica, llegando al 20% en el 2025 ([Devalis, 2018](#)).

Un año más tarde comienza el lanzamiento de las licitaciones del programa Renovar, dirigidas a la incorporación de fuentes renovables a la matriz energética a través de un proceso de convocatoria abierta para la contratación en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) con la pretensión de cumplimentar los objetivos establecidos en la Ley 27.191 e incrementar la matriz energética en unos 10 GW renovables para el 2025 ([Arriola, 2019](#)).

3.1.8. Integración de las energías fósiles y renovables en la matriz eléctrica. Potencia instalada y generación

A finales de 2024 la potencia instalada para la generación eléctrica es de 43.351 MW, donde un 58% es de origen térmico (25.284 MW), un 22% es hidroeléctrico (9.639 MW de centrales de más de 50 MW), un 4% es nuclear (1.755 MW), un 16 % corresponde a tecnologías renovables definidas por la Ley 26.190 (6.671 MW), de las cuales el 10% es energía eólica (4.319 MW), un 4% solar (1.673 MW), un 1,20% es energía hidroeléctrica <50 MW (524 MW), un 0,19% biogas (82 MW) y un 0,17% biomasa (73 MW) (Figura 9) ([CAMMESA, 2025](#)).

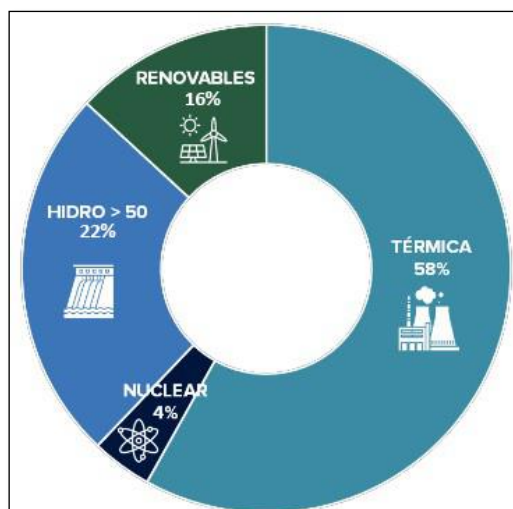


Fig. 9. Potencia instalada por fuente al 2024. Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de [CAMMESA \(2025\)](#)

La generación eléctrica total en 2024 fue de 142.137 GWh y por fuente se distribuyó de la siguiente manera: térmica, 75.388 GWh (53,04%); hidroeléctrica > a 50 MW, 33.425 GWh (23,51%); renovable según Ley 26.190, 22.875 GWh (16,09%) y nuclear, 10.449 GWh (7,35%) (Figura 10) ([CAMMESA, 2025](#)).

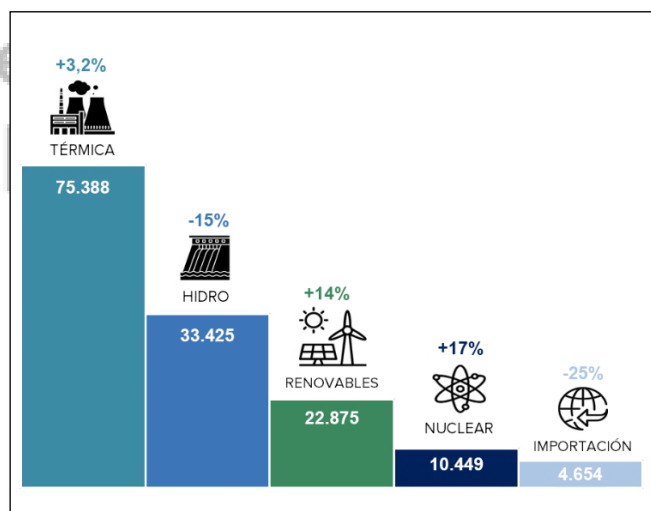


Fig. 10. Generación por fuente en GWh en 2024 y variación interanual 2024-2023. Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de [CAMMESA \(2025\)](#)

En el mes de julio de 2024 el 13,5% de la demanda fue abastecida por fuentes renovables (1.790,8 GWh de energía generada), mientras que en agosto las mismas fuentes cubrieron el 14,5% de la demanda (1.763,6 GWh de generación).

El 15 de septiembre de 2024 a las 10.50 marcó el récord instantáneo de abastecimiento de la demanda a partir de energías renovables según la Ley N° 26.190 (se incluyen en esta nómina a las centrales hidroeléctricas de hasta 30MW de potencia). Al momento del récord el 36,61% de la demanda eléctrica fue provista por estas fuentes, superando la marca anterior lograda el 19 de febrero de 2023, con un 32,2%.

A su vez, si el cálculo se realiza considerando dentro de las renovables a la tecnología Hidroeléctrica mayor a 50 MW, la generación renovable de julio de 2024 representó el 38,46% de abastecimiento de la demanda eléctrica (5.087,61 GWh), y la de agosto el 37,43% (4.555,66 GWh).

En la Ley 27.191 sancionada en el 2015 se fijaron etapas para el cumplimiento del abastecimiento de la demanda eléctrica a partir de energía generada por fuentes renovables (Devalis, 2018). Quedó establecido que, para el 31 de diciembre de 2017, el 8% de la demanda eléctrica debería satisfacerse a partir de fuentes renovables, el 12% al 2019, el 16% al 2021, el 18% al 2023 y el 18% al 2024 (Ley 27.191, 2015)

De acuerdo a los datos suministrados por CAMMESA, en el 2017 el 2% de la generación eléctrica provino de fuentes renovables según ley 27.191, en 2019 fue del 6,1%, del 13% en 2021, del 14,3% en el 2023 y en 2024, del 16,3%. De lo que resulta que el grado de cumplimiento de la ley 27.191 fue del 25% en 2017, del 51% en 2019, del 81% en 2021, del 79% en 2023 y en 2024 fue del 90,6% (Tabla 5).

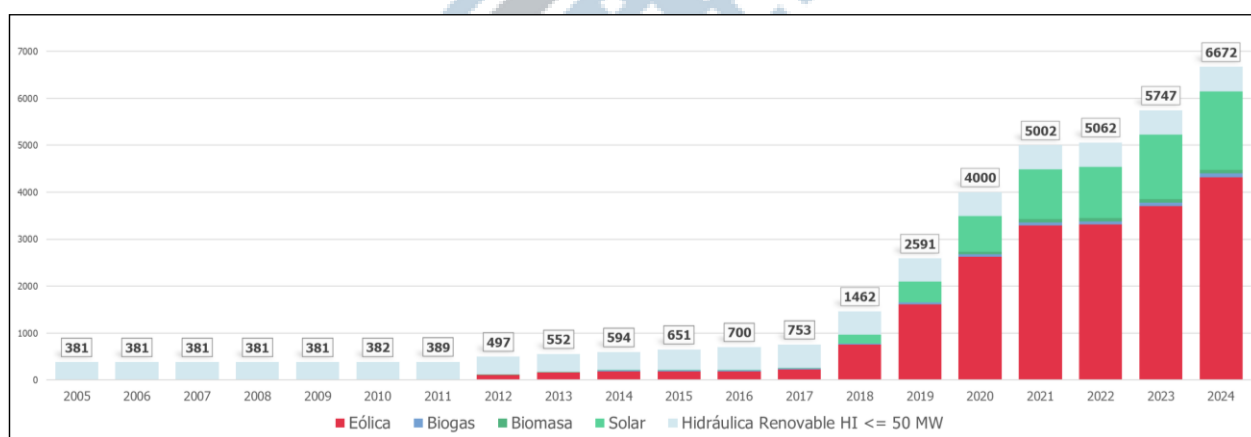


Fig. 11. Crecimiento de la potencia instalada renovable según Ley 26.190 entre 2010-2023. En MW.

Fuente: elaboración propia según datos de [CAMMESA \(2024\)](#) y [Cámara Eólica Argentina \[CEA\] \(2025\)](#)

Tabla 5. Electricidad generada por energías renovables y demandada por el sistema 2011 al 2024. % de cumplimiento de la Ley 27.191

ENERGÍA GENERADA [GWh]	AÑO													
FUENTE DE ENERGÍA	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
BIODIESEL	32,49	2.348,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BIOMASA	97,63	127,09	133,87	112,38	194,98	193,22	242,60	251,70	299,16	420,96	750,19	769,14	732,08	746,70
EOLICO	15,98	348,94	446,98	613,28	592,95	546,77	615,82	1.413,15	4.995,82	9.410,64	12.937,55	14.164,46	14.475,43	16.163,90
HIDRO ≤50MW	1.255,44	1.453,38	1.274,05	1.456,72	1.623,80	1.820,08	1.695,87	1.432,42	1.462,14	1.256,91	1.175,43	1.060,49	1.183,36	1.511,60
SOLAR	1,76	8,08	15,02	15,75	14,67	14,26	16,41	108,11	799,68	1.344,35	2.195,56	2.928,29	3.259,46	3.941,30
BIOGAS	0,00	36,25	108,55	103,05	83,60	57,51	64,05	145,31	255,53	304,10	377,97	417,85	435,61	511,80
Total GWh	1.403,31	4.321,86	1.978,47	2.301,19	2.510,01	2.631,84	2.634,75	3.350,69	7.812,33	12.736,95	17.436,70	19.340,23	20.085,93	22.875,40
DEMANDA ENERGÍA [GWh]	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Demanda MEM	116.507	121.227	125.239	126.467	132.110	133.111	132.530	133.010	128.946	127.307	133.877	138.775	140.884	140.227
Ren MEM / Dem MEM	1,2%	3,6%	1,6%	1,8%	1,9%	2,0%	2,0%	2,5%	6,1%	10,0%	13,0%	13,9%	14,3%	16,3%
Objetivos Ley 27.191							8%	8%	12%	12%	16%	16%	18%	18%
Cumplimiento Ley 27.191							25%	31,25%	51%	83,33%	81%	86,90%	79%	90,6%

Fuente: elaboración propia según datos de CAMMESA

3.2. Viabilidad técnico-económica

3.2.1. Costo nivelado de la energía o LCOE

La crisis de los precios de los combustibles fósiles de 2022 tras la invasión de Rusia a Ucrania, fue un recordatorio elocuente de las poderosas ventajas económicas que la energía renovable puede aportar en términos de seguridad energética. En Argentina el impacto en los precios fue notable: el costo unitario de generación eléctrica en plantas térmicas aumentó un 38% entre 2021 y 2022, pasando de 82,8 a 114,4 USD/MWh, mientras que el costo a partir de energías renovables subió un 3,5% en el mismo período ([CMMESA, 2023](#)). De la misma manera, el gas importado para plantas térmicas tuvo un costo de 8,2 USD/MMBTu (dólares por millón de British Thermal Units) en 2021 y 21,6 USD/MMBTu en 2022, incrementándose un 164,2% ([CMMESA, 2023](#)). El GNL tuvo un incremento del 233% y el gas proveniente de Bolivia, un 114%, mientras que los combustibles alternativos importados por CMMESA para la generación eléctrica subieron su precio un 85% el gasoil y 63% el fueloil. El ministerio de Economía calificó de importante efecto negativo sobre la balanza comercial argentina los USD 4.246 millones que representaron el costo adicional para 2022 de la importación de combustibles respecto del 2021 ([Ministerio de Economía \[MECON\], 2022](#)).

IRENA (2023) define al 2022 como el año en que se "redescubrieron" ampliamente las ventajas de las energías renovables para la seguridad energética ([International Renewable Energy Agency \[IRENA\], 2023](#)). La energía renovable disminuye la vulnerabilidad de las economías por su exposición a los precios inherentemente volátiles de los combustibles fósiles al reducir esa dependencia.

Un indicador clave que permite el análisis de la competitividad de distintos proyectos de generación de energía es el Costo Nivelado de la Energía (LCOE, como también se lo llama por sus siglas en inglés), definido por [IRENA \(2024\)](#) como la relación entre el costo promedio total de construir y operar una central eléctrica durante su vida útil y la generación de electricidad durante ese período. Ambos se descuentan a un año común utilizando una tasa de descuento que refleja el coste medio del capital ([IRENA, 2024](#)). Permite calcular el precio breakeven o punto de equilibrio que define al nivel de ventas en el que los ingresos totales de una empresa son iguales a sus costos totales. Es el precio al que se requiere vender la electricidad generada por el activo para compensar los costos totales de producción durante su vida útil (Spagnoletta, 2021).

Otra métrica empleada es la de los costos totales instalados, que representan el costo total de completar un proyecto incluidos los costos de desarrollo del proyecto, conexión a la red, equipos, instalación, ingeniería civil, imprevistos, etc. ([IRENA, 2024](#)).

En 2018, en Argentina el LCOE medio ponderado de la nueva energía solar fotovoltaica a escala comercial se situó por debajo del costo medio ponderado de la capacidad añadida de combustibles fósiles. Y en 2023 la competitividad de los nuevos proyectos de energía solar fotovoltaica a escala de servicios públicos continuó con una tendencia al alza ([IRENA, 2024](#)).

La competitividad del LCOE eólico terrestre como el de la solar fotovoltaica disminuyeron a nivel global tras la reducción de los precios de los combustibles fósiles en 2023, después del año anterior. Sin embargo, en Argentina, la competitividad de la eólica terrestre, aumentó.

Desde 2010, la energía solar fotovoltaica ha experimentado las reducciones de costos más rápidas. El LCOE medio ponderado mundial de los proyectos fotovoltaicos solares a escala de servicios públicos de nueva puesta en servicio se redujo de 0,460 USD/kWh a 0,044 USD/kWh entre 2010 y 2023, lo que supone un descenso del 90% (Figura 12). Esta reducción del LCOE se ha debido principalmente al descenso de los precios de los módulos.

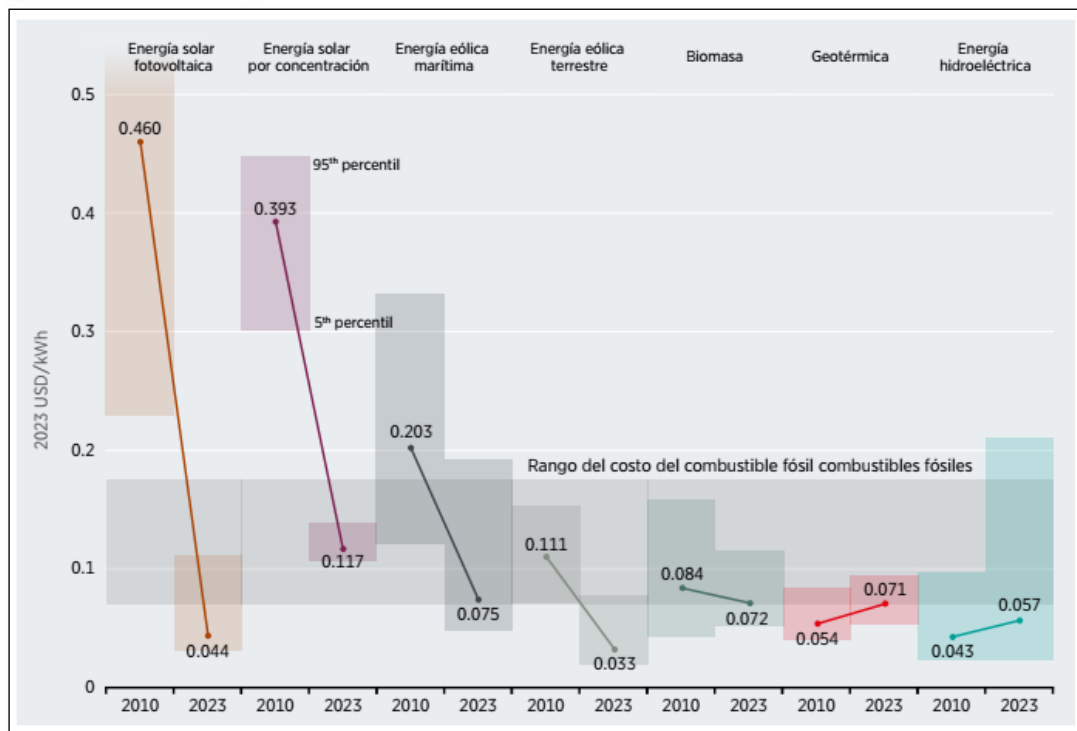


Fig. 12. LCOE mundial de las nuevas tecnologías de energía renovable a escala de servicio público entre 2010 y 2023 en USD/kWh. Nota. Las líneas gruesas son el valor LCOE promedio ponderado global de cada año. El LCOE se calcula con los costos instalados y los factores de capacidad específicos de cada proyecto, más supuestos que incluyen el costo promedio ponderado del capital. La banda gris representa el costo de generación de electricidad a partir de combustibles fósiles y las bandas de cada tecnología y año corresponden a los rangos de costos entre los percentiles 5 y 95 de los proyectos renovables. Fuente: [IRENA \(2024\)](#)

El LCOE medio ponderado mundial de la energía solar fotovoltaica en 2010 era 414% más caro que el de la generación eléctrica con combustibles fósiles. En el término de 13 años fue cayendo hasta revertirse la relación. Al 2023 es un 56% más barato. Del mismo modo la relación de la energía eólica terrestre con la fósil pasó de ser 126% más cara en 2010, a 25% más barata en 2023 ([IRENA, 2024](#)) (Figura 13).

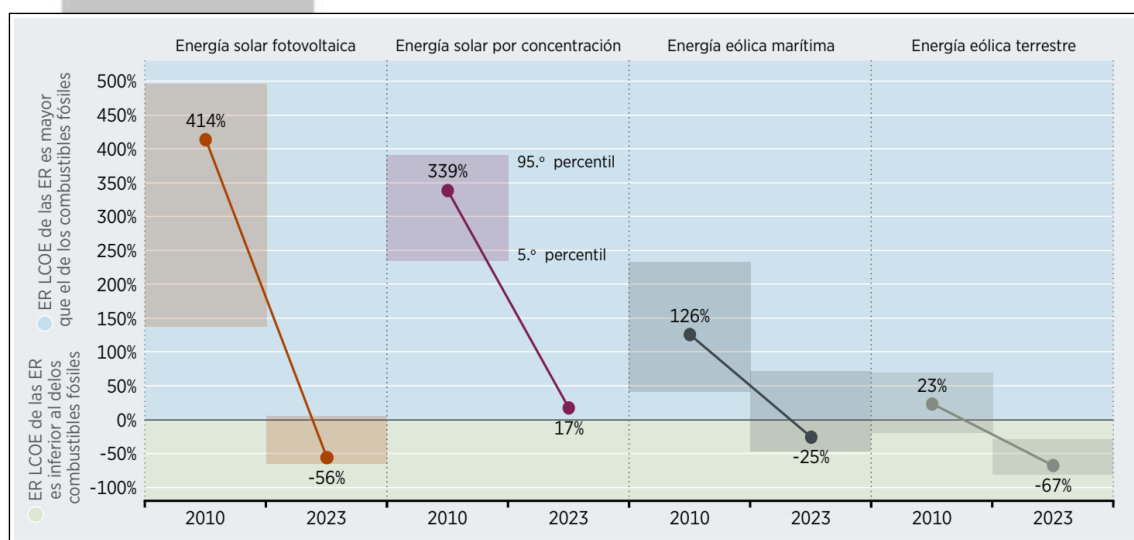


Fig. 13. Variación del LCOE medio ponderado mundial de la energía solar y eólica en comparación con los combustibles fósiles, 2010-2023. Nota. ER: Energías Renovables. Fuente: [IRENA \(2024\)](#)

3.2.2. Costos de instalación y tiempos de puesta en marcha

Según el director de Global Wind Energy Council (GWEC), Ramón Fiestas Hummler, el precio promedio de la generación eólica en Argentina es de 60 USD/MWh, inferior al promedio del sistema (75 USD/MWh), lo que refuta la percepción de que las renovables son costosas ([Diamante, 2023](#)).

Datos proporcionados por la Cámara Eólica Argentina (CEA) en 2023, indican que construir un parque eólico en el país tiene un costo aproximado de USD 1,5 millones el MW.

El parque eólico Manantiales Behr con una potencia de 99 MW demandó una inversión de casi USD 200 millones ([YPF LUZ, 2024](#)) a razón de USD 2 millones el MW, mientras que el Parque Solar Caucharí en la provincia de Jujuy tuvo un costo de instalación de USD 390 millones para aportar 315 MW de potencia ([POWER CHINA, sf](#)), a razón de USD 1,24 millones el MW.

[IRENA \(2024\)](#) por su parte, informa un costo total de instalación para una planta de energía solar fotovoltaica en Argentina de USD 0,83 millones el MW.

Como referencia citamos un costo de inversión promedio de 1,086 USD/MW, para plantas térmicas de ciclo combinado (Tabla 6) ([Comisión Nacional de Energía \[CNE\], 2024](#)).

Es relevante considerar los tiempos para la puesta en servicio de diferentes tecnologías, que van de 2 a 3 años para una planta de ciclo combinado, 1 año para una solar fotovoltaica, 2 años para una eólica y 7 a 17 años para una hidroeléctrica de embalse (Tabla 7) ([CNE, 2024](#)).

Tecnología	Costo de inversión referencial [millones USD/MW]
Almacenamiento BESS @4-6 hrs	1,56
Solar Fotovoltaica	0,77
Eólica	1,53
Térmica a gas natural (CC)	1,09
Térmica Gasoil	0,49
Hidráulica de embalse	5,37
Hidro-Pasada	4,75
Eólica + Almacenamiento @4-5 hrs/50%Pnom	1,73
Solar + Almacenamiento @4-8 hrs/90%Pnom	1,76

Tabla 6. Costos de inversión referencial unitario (millones USD/MW) de diferentes tecnologías de generación eléctrica y almacenamiento de energía. **Nota:** Costo de inversión referencial se compone del costo del equipamiento, principal, obras civiles y montaje, costo de conexión al sistema, costos asociados a la obtención, almacenamiento y logística del combustible, y costos que permitan a las centrales cumplir con la normativa ambiental y eléctrica vigente, entre otros. Fuente: elaboración propia, en base a [CNE \(2024\)](#)

Tecnología	Tiempo de construcción (años)
Térmica a gas natural (ciclo combinado)	2 a 3
Térmica gasoil	1
Eólica	2
Solar Fotovoltaica	1
Hidroeléctrica de Pasada (> 20 MW)	6 a 8
Hidroeléctrica de Embalse	7 a 17

Tabla 7. Plazos referenciales de construcción, montaje y puesta en servicio de diferentes tecnologías de generación eléctrica y almacenamiento de energía. Fuente: elaboración propia en base a [CNE \(2024\)](#)

3.2.3. La competitividad de las tecnologías renovables frente a distintos precios de los combustibles

El precio del gas natural está dado por la disponibilidad del recurso en el país. Por esta razón, las plantas de ciclo combinado a gas y, en menor medida, las turbinas a gas pueden ser muy competitivas en Argentina si se dispone de suficiente producción local, como sucede en Estados Unidos.

Sin embargo, es para subrayar que los LCOE de las tecnologías fósiles dependen críticamente de los precios de los combustibles. A modo de ejemplo, el costo unitario representativo de la generación térmica de 2021 informado por [CMMESA \(2023\)](#) fue 82,8 USD/MWh y el componente del combustible fósil significó 50,7 USD/MWh (el 61,23%) y en el 2022, los valores respectivos fueron: 114,4 USD/MWh, 79,1 USD/MWh (69,14%).

El peso del combustible en los costos de las plantas térmicas es muy alto a diferencia de lo que sucede con las plantas nucleares que se caracterizan por una alta inversión inicial pero relativamente bajos costos de combustible.

Las turbinas de gas y los ciclos combinados son afectados ante la suba de precio del gas natural o, de forma similar, ante la producción insuficiente de gas natural local que obliga a importar o usar combustibles líquidos más caros como el gasoil y fueloil como ha venido sucediendo desde 2006 en Argentina.

En la Figura 14, se observa como la volatilidad del precio del combustible afecta seriamente la competitividad de las centrales a gas natural y carbón.

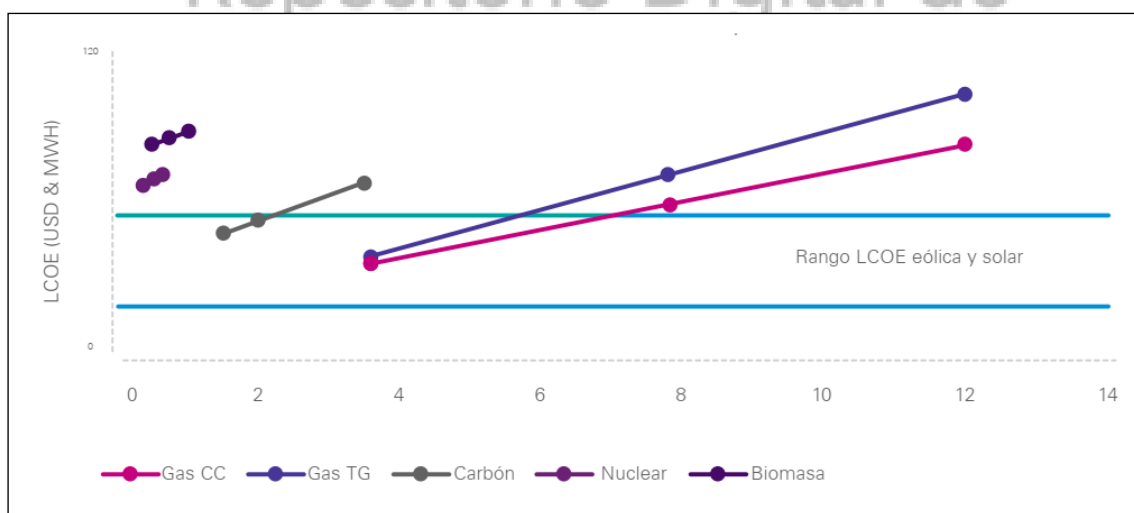


Fig. 14. Sensibilidad del LCOE ante cambios en el precio de los combustibles. Fuente: [KPMG \(2021\)](#)

De esta manera, asumiendo condiciones ventajosas de precio del gas natural de USD 3,1/MMBTU (equivalente a USD 3,3 GJ), las tecnologías renovables eólica y solar, seguidas por la hidroeléctrica y la geotérmica, están dentro de rangos competitivos frente a las tecnologías fósiles. Asimismo, ante precios superiores a USD 10/MMBTU, la tecnología de biomasa comienza a estar dentro del rango competitivo ([KPMG, 2021](#)).

3.2.4. Impacto de las potenciales exportaciones de gas y petróleo de Vaca Muerta y el offshore en la generación de empleo y desarrollo industrial

De acuerdo al análisis que realiza [Gutiérrez Cabello \(2024\)](#) el sector energético podría constituirse en uno de los pilares de la actividad económica argentina, tanto como para superar al sector agrícola, teniendo en cuenta las inversiones ya realizadas y lo por desarrollar en VM. A esto le agrega el potencial de yacimientos al norte de Santa Cruz y la explotación offshore frente a las costas bonaerenses. Todo eso impactaría en el crecimiento de una red de proveedores locales encabezados por la industria y en particular, la metalmecánica cuya virtud para la generación de empleo es que mayoritariamente se trata de PyMEs.

Consecuentemente, el desarrollo e innovación llevado adelante por la industria local, habilitaría reemplazar bienes y productos importados, a la vez que se abriría la posibilidad de exportar la producción local de una industria especializada con alto valor agregado ([Gutiérrez Cabello, 2024](#)).

[Arceo et al. \(2022\)](#) coinciden con el planteo de Gutiérrez Cabello: el desarrollo del potencial hidrocarburífero de VM permitiría consolidar una nueva plataforma de exportación similar a dos complejos sojeros. Solo con la explotación del 50% de los recursos de la formación se llegaría a una exportación anual de 33.000 millones de dólares en la próxima mitad de siglo (Figura 15).

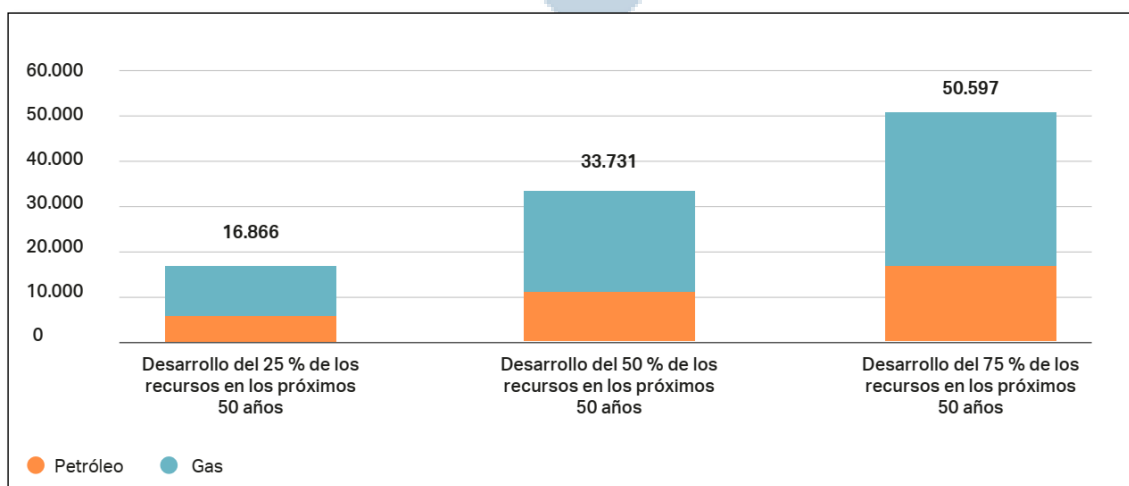


Fig. 15. Exportaciones hidrocarburíferas potenciales ante distintos escenarios de desarrollo de Vaca Muerta. En miles de millones de dólares por año. Nota. Se consideró un precio del petróleo Brent a 70 USD/bbl y un valor del gas natural para exportación de 7 USD/MMBTU. Se consideró un plazo de cincuenta años para el desarrollo de los recursos no convencionales. Fuente: [Arceo et al. \(2022\)](#)

En línea con lo anterior se rescatan declaraciones del presidente de YPF, Horacio Marín, quien expresó en 2025: “*Nuestro objetivo es que la Argentina en 2031 tiene que lograr exportar 30.000 millones de dólares adicionales y a principios de la década que viene va a exportar 40.000 millones de dólares por año*” ([ENERGIA ON LINE, 2025](#)).

3.2.5. Demanda global de petróleo y gas a futuro

La demanda futura de gas plantea una gran incertidumbre por lo que alcanzar algún grado de certezas en ese terreno es de vital importancia en el análisis en curso. Por una parte, la demanda local es factible de ser proyectada contando con algunas variables como el crecimiento del PBI, el aumento de la población y el modelado de escenarios diferentes tales como el tendencial y otros que incorporen, por ejemplo, políticas públicas más o menos ambiciosas para la transición energética.

Por otro lado, los ambiciosos planes de las últimas administraciones para la exportación de hidrocarburos, y en especial del gas, introducen el interrogante acerca de quienes serán los destinatarios de esos commodities, es decir, qué países necesitarán abastecerse de ese combustible en un mundo en pleno proceso de transición energética.

En relación con el gas natural, la región que más ha incrementado su demanda desde mediados de los '90 fue Asia-Pacífico, con una tasa de crecimiento anual del 4,1% en la última década.

Este nivel de demanda del mercado asiático sumado a la ventaja tecnológica que supone la licuefacción del gas para ser transportado a grandes distancias sin la necesidad de la continuidad territorial de los gasoductos, explican el dinamismo que ha registrado el GNL en el mercado mundial de gas natural, que ha triplicado su volumen en los últimos 20 años. Actualmente, los principales países de Asia concentran casi el 70% de las importaciones totales, mientras que Europa adquiere una cuarta parte del GNL a nivel global ([Arceo et al., 2022](#)).

Estimaciones de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) dan cuenta de un crecimiento del intercambio global de gas como GNL entre 2018 y 2040 de un 77% ([IEA, 2024](#)), por lo que Argentina podría posicionarse como exportador, para lo cual ha dado sus primeros pasos autorizando a exportar por 30 años ininterrumpidos 11,7 millones de metros cúbicos de gas para abastecer a una terminal flotante de GNL ([Ortiz, 2025](#)).

No obstante la proyección de crecimiento del intercambio global de GNL estimada por la IEA, el mismo organismo también sostiene que la capacidad exportadora y la que actualmente está en construcción serán suficientes para satisfacer la demanda al 2040 en el escenario STEPS que proporciona una visión de como evolucionaría el sistema energético mundial si los países implementaran únicamente las políticas y compromisos energéticos y climáticos que actualmente están en vigor. Además de este escenario que es el más conservador respecto de la descarbonización, la [IEA \(2024\)](#) modeló el APS (escenario de compromisos anunciados) donde se asume que todos los compromisos climáticos y energéticos anunciados por los gobiernos a nivel global se cumplen íntegramente y a tiempo; y el NZE (escenario de cero emisiones netas) que describe una estrategia para que el sector energético global alcance cero emisiones netas de CO₂ para 2050. En el APS la demanda de GNL al 2030, se incrementa 19,6%, mientras que cae 47% al 2050. Por su parte en el NZE al 2030 disminuye un 1,3% y en 2050 un 73,44%.

Por su parte, el Instituto para la Economía Energética y el Análisis Financiero (IEEFA, por sus siglas en inglés) realiza un pronóstico no tan auspicioso: en dos años una escasa

demanda sumada a una ola masiva de nueva capacidad de exportación, dejaría a los mercados mundiales de GNL en un exceso de oferta ([IEEFA, 2024](#)).

Por el lado de las renovables, la capacidad instalada se incrementará en los escenarios STEPS, APS y NZE al 2030 un 129%, 156% y 170% respectivamente. No obstante este crecimiento notable, las proyecciones de IEA correspondientes al año 2021 configuran un escenario en el que, con el aumento de la demanda global de energía en torno al 47%, la demanda de hidrocarburos continuará creciendo en las siguientes décadas ([IEA, 2024](#)).

En el caso de la demanda del gas natural, se espera un crecimiento en torno al 0,9% anual acumulativo hasta 2050, motivado fundamentalmente por la demanda de la región de AsiaPacífico (especialmente en China y, en menor medida, la India) ([Arceo et al., 2022](#)).

No se puede asegurar con certeza cuál va a ser el impacto de la transición energética en los mercados de hidrocarburos, porque si bien casi todos los países comunicaron sus políticas de descarbonización, hay una gran dependencia de los combustibles fósiles en las estructuras productivas esencialmente en la de los países menos adelantados que no soportarían cambios bruscos en el corto y mediano plazo. Esto último, según entienden [Arceo et al. \(2022\)](#), abriría una ventana de oportunidad para Argentina para desarrollar sus recursos hidrocarbúricos, cuya duración estaría supeditada al tiempo que les lleve a las energías renovables destronar a los combustibles fósiles de la matriz energética global.

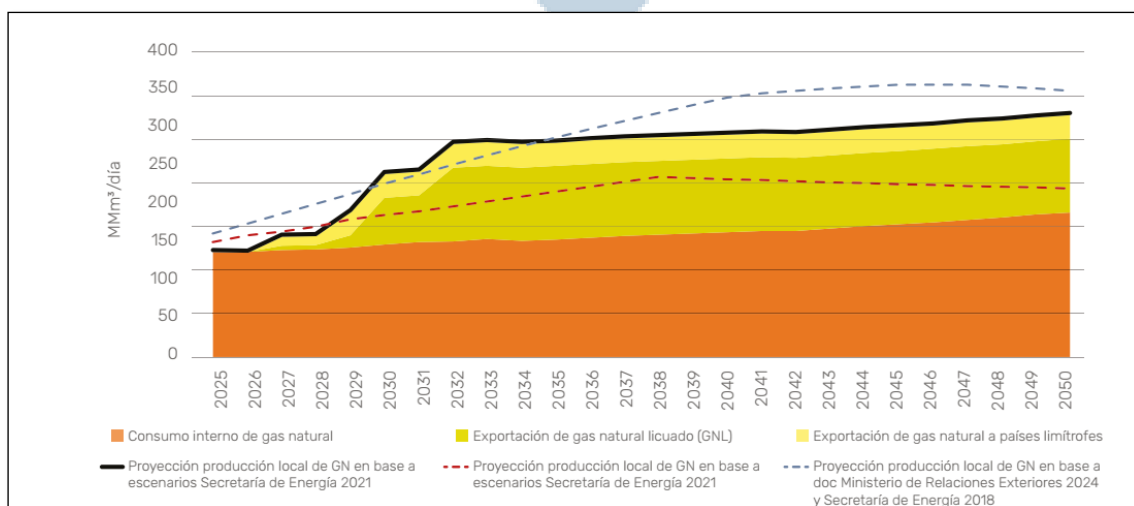


Fig. 16. Proyecciones de producción, consumo interno y exportaciones de gas natural de Vaca Muerta. Fuente: [Keesler y Blanco \(2024\)](#)

Los vaivenes políticos que suponen los cambios de gobierno ponen de manifiesto la falta de continuidad en la política energética y climática del país. Las proyecciones oficiales para la producción local de gas natural contenidas en los escenarios planteados entre 2018 y 2024 difieren notablemente entre sí, tal como lo señalan [Keesler y Blanco \(2024\)](#). En la Figura 16 exponen una potencial inconsistencia entre las exportaciones previstas de gas natural, tanto en forma de GNL como de gas de red a través de gasoductos a países vecinos, y los niveles de producción y de consumo interno. En el período que va desde 2029 y 2035, considerando el escenario de mayor producción local de gas no se llegaría a satisfacer la demanda local y

la exportación prevista a la vez. En un escenario de menor producción ninguno de los dos ítems podrían ser abastecidos.

3.2.6. Subsidios a los combustibles fósiles y falta de fomento a las renovables

Lo que sí ha sido una decisión sostenida que ha atravesado a todos los gobiernos desde comienzos de este milenio hasta el presente (aunque con algunos matices que los distinguen) es el otorgamiento de elevados subsidios a la oferta y demanda de combustibles fósiles. Estos altos costos son un impedimento para alcanzar la transición energética, especialmente los dedicados al suministro, como también la dependencia de insumos extranjeros y de tecnología que hace dependiente al país de los mismos y genera la salida de divisas. Como ejemplo, [Laguzzi y Mercure \(2025\)](#) mencionan que al 21 de octubre de 2024, los subsidios a la oferta tenían presupuestados 390.547 millones de pesos, de los cuales 224.137 millones ya se habían utilizado. Para las energías renovables el presupuesto contemplaba sólo 310 millones de pesos, 1.259 veces menos, de los que no se gastó ni un solo peso.

Es interesante la crítica que realizan [Kazimierski y Argento \(2021\)](#) cuando señalan que a pesar que el programa RenovAr fue el primero que otorgó un fuerte impulso a las energías renovables y en el período 2015-2019 la capacidad instalada de estas fuentes pasó de 651 MW a 2591 MW (+1940 MW), a su vez, la potencia térmica aumentó de 20443 MW a 24560 MW (+4117 MW). Concluyendo que lo que sucedió en ese período fue el refuerzo del esquema concentrado y centralizado fosilista, pero con la adición de nuevas fuentes renovables. Es decir que no hubo sustitución de fuentes fósiles, sino más bien un complemento de renovables a un sistema energético predominantemente fósil.

En el Plan de inversiones públicas 2025-2027 en el sector “Energía, Combustibles y Minería”, sobresalen los siguientes proyectos: construcción del Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Santa Cruz (represas Néstor Kirchner y Jorge Cepernic), que adicionará cuando esté finalizado 1.740 MW a la potencia total instalada; la renovación del Complejo Hidroeléctrico Binacional de Salto Grande y la prolongación de vida de la central nuclear Atucha I ([Jefatura de Gabinete de Ministros \[JGM\], 2025](#)). No hay menciones, entre los proyectos de envergadura, a la creación de plantas de energías renovables no convencionales, reforzando la tendencia observada contraria a la descarbonización de la matriz energética.

Paralelamente el Régimen de Incentivos a las Grandes Inversiones (RIGI), un mecanismo clave ideado por el gobierno para atraer inversiones incluido en la Ley Bases, ha recibido pedidos de aprobación de proyectos fundamentalmente en los sectores de energía y minería. Dentro del sector energético, predominan las inversiones en la industria de los hidrocarburos con un 93% de participación, le sigue un 4% para generación de energía solar fotovoltaica y por último un 3% para un parque eólico. Los montos de inversión serían de USD 5.900 millones para oil&gas y USD 466 millones. De todos ellos el único que ha sido aprobado a febrero de 2025 es el del Parque solar fotovoltaico El Quemado (USD 211 millones) ([del Carril, 2025](#)). La relación abrumadoramente desproporcionada a favor de los proyectos vinculados a la industria del petróleo y el gas es un indicador más de la falta de interés del gobierno por el

fomento de las energías renovables y a la vez es un elemento que ratifica la tendencia ya apuntada a la no observancia de los compromisos climáticos ligados al Acuerdo de París.

3.2.7. Vaca Muerta: inversiones acumuladas y por venir

A los subsidios estatales y las políticas energéticas que estimulan la producción de hidrocarburos, se suman las inversiones que realizan las industrias del sector que en los años que van desde 2013 al 2024 han totalizado más de 47 mil millones de dólares. Encabeza el ranking de mayores inversiones YPF, con 26.400 millones de dólares, seguida por Pan American Energy (USD 2.500 millones), Total (USD 2.400 millones) y Plus Petrol (USD 2.300 millones) ([Navazo, 2024](#))

El informe citado agrega que los proyectos en el país requieren una inversión anual de 22.500 millones de dólares para los próximos 8 años, conformando un total de 180.000 millones de dólares. La Cuenca Neuquina concentra casi el 80% de los recursos y en particular, Neuquén, se llevará más de las tres cuartas partes de las inversiones.

Todo esto indica (para el autor) que el atractivo para invertir y generar ganancias en Vaca Muerta está intacto, la dificultad mayor radica en que las obras de transporte actualmente son el límite que encuentra la producción en tanto no pueda ser evacuada hacia los centros de consumo.

3.2.8. La descarbonización y la generación de fuentes de trabajo

En la Hoja de Ruta hacia la transición energética propuesta por [Deloitte \(2023a\)](#) se sostiene que la combinación de reformas económicas con políticas ambiciosas sobre el clima puede estimular el crecimiento económico y a la vez movilizar la inversión necesaria para lograr objetivos climáticos a largo plazo. En el caso de adoptar una “transición decisiva” colectiva podría alcanzarse un crecimiento económico de hasta un 3% al considerar el impacto de los daños climáticos evitados.

En Argentina se estima que, a 2050, se crearán 3.600.000 puestos de trabajo netos provenientes de la creación de 5.000.000 nuevos puestos de trabajo para el 2050 de los cuales 3.500.000 pertenecerán al sector de la construcción, 700.000 al de minería de cobre, otros 500.000 estarán relacionados a las energías renovables y los 300.000 restantes pertenecerán a la manufactura de insumos eléctricos. Por otro lado, 1.400.000 puestos de trabajo, relacionados especialmente al sector de refinería y extracción de petróleo y a la minería se verán amenazados. ([Deloitte, 2023a](#))

3.3. Impacto socioambiental

3.3.1. Emisiones de GEI del sector energético de Argentina

En Argentina, el Inventario Nacional de GEI (INGEI) 2022 reportó un total de 401 MtCO₂eq (millones de toneladas), donde el sector energético lidera con el 50% de las emisiones (200,36

MtCO₂eq), seguido por agricultura y ganadería (25%), usos de la tierra (13%), residuos (6%) y procesos industriales (6%) ([Subsecretaría de Ambiente \[SSAmb\], 2024](#)).

Dentro del sector energético argentino, en 2022, las centrales térmicas que operan con gas natural emitieron 27,7 MtCO₂eq, lo que equivale al 6,9% de las emisiones totales del país. Si a esto se suman 11,9 MtCO₂eq generadas por la quema de gasoil, fuel oil y carbón en las mismas centrales, el sector térmico en conjunto emitió 39,6 MtCO₂eq, representando así el 9,87% de las emisiones nacionales.

El gas natural cubrió en 2022 el 77% del combustible utilizado en estas centrales, su menor impacto contaminante (0,4 toneladas de CO₂ por MWh generado) lo hizo responsable del 70% de las emisiones del sector térmico para ese año. Esto contrasta con otros combustibles como el gasoil (0,6 tCO₂/MWh), fuel oil (0,8 tCO₂/MWh) y carbón (1,2 tCO₂/MWh), que tienen mayores emisiones por unidad de energía. El promedio de emisiones unitarias de la generación térmica fue de 0,5 tCO₂/MWh ([Cammesa, 2024](#)).

Este balance, combinado con la participación de energías renovables, nuclear e hidroeléctrica, permite que el sistema eléctrico nacional mantenga un promedio de 0,27 tCO₂ por MWh generado, según datos de [Cammesa \(2024\)](#).

3.3.2. El impacto social de la explotación no convencional en Vaca Muerta: riqueza, desigualdad y conflictos irresueltos

Vaca Muerta, centro neurálgico de la industria hidrocarburífera argentina, se presenta como un símbolo de contradicciones: mientras contribuye con el 2,98% al PBI nacional y bate récords de producción, su riqueza convive con profundas desigualdades sociales, ambientales y de género ([Loncopan Berti, 2024b](#)). Neuquén, provincia líder en generación de recursos, refleja un modelo extractivo que concentra beneficios en minorías y margina a comunidades locales, evidenciando una fractura entre crecimiento económico y desarrollo humano.

La existencia de locales de juego en auge, la prostitución y el narcotráfico incrementan la violencia y la trata, problemáticas abordadas con limitado éxito por la Mesa de Vaca Muerta, una organización multisectorial, integrada también por los gobiernos provinciales que abarca la cuenca, pero que carece de representantes de la sociedad civil ([Sosa, 2021](#)).

Desigualdad de género y precariedad laboral

Las mujeres son las más afectadas por este desequilibrio. Solo el 45,99% de las que denunciaron violencia de género tenían empleo formal o informal, cifra muy inferior al promedio provincial del 56,71% ([Loncopan Berti, 2024a](#)). Además, enfrentan trabajos informales, sin acceso a obra social o aportes jubilatorios, y una amplia brecha salarial respecto a los varones ([Loncopan Berti, 2024b](#)). Esta precariedad se agrava en un contexto donde la violencia de género persiste como un problema estructural, vinculado a la falta de oportunidades y a dinámicas sociales tensionadas por la actividad petrolera.

Promesas incumplidas y crisis de infraestructura

Añelo, corazón de Vaca Muerta, sintetiza las contradicciones. Aunque recibe 25 mil vehículos diarios y alberga a una población que supera los 10 mil habitantes (creciendo a un ritmo insostenible), carece de servicios básicos. Fernando Banderet, su intendente, denuncia: “Estamos sobre la meca del gas, y parte de la comunidad se calefacciona con leña” ([Clarín, 2024](#)). Las promesas de gasoductos, pavimentación y mejoras urbanas que han sido anunciadas en campañas electorales por YPF y gobiernos siguen sin materializarse, dejando a familias dependiendo de soluciones precarias ([Irigaray, 2025](#)). La situación es paradójal: mientras la industria consume 90 millones de litros de agua por pozo, las comunidades enfrentan escasez de agua potable y cloacas ([Fernández, 2022](#)).

Economía de enclave y exclusión social

El modelo extractivo opera como un enclave: una minoría se beneficia, mientras la mayoría lucha por condiciones mínimas. Álvarez Mullally del Observatorio Petrolero Sur lo resume: “Es una economía donde una mayoría no tiene lo indispensable para reproducir su vida”. La migración masiva (1.048 nuevas familias en seis meses) colapsa servicios: alquileres exorbitantes (hasta \$1,5 millones), escuelas sobrepobladas y sistemas de salud saturados ([Clarín, 2024](#)). El costo de vida, ajustado a sueldos petroleros, empobrece a residentes históricos, profundizando la fragmentación social ([Sosa, 2021](#)).

3.3.3. Conflictos ambientales y riesgos sanitarios

El Instituto Argentino del Petróleo y el Gas (IAPG) publicó un cálculo de requerimiento de agua suponiendo la explotación intensiva y en plenitud de la Formación Vaca Muerta, que contiene el mayor potencial de gas y petróleo, concluyendo que menos del 1% del recurso hídrico de Neuquén sería necesario, frente a un 5% que requieren la población, la industria y el agro, y al 94% remanente para otros usos en otras jurisdicciones ([López Anadón, 2015](#)).

En la Cuenca Neuquina, las autoridades provinciales regulan el abastecimiento de agua para la explotación hidrocarburífera. En Neuquén, sólo se permite utilizar agua para fracturación hidráulica de hidrocarburos no convencionales, de cursos superficiales (ríos y lagos) y está prohibido el abastecimiento mediante acuíferos subterráneos de agua dulce.

Si bien la proyección del IAPG destaca que el volumen de agua involucrado en estas operaciones es relativamente pequeño frente a los otros usos, su uso consuntivo impide que vuelva a ser parte del ciclo hidrológico, ya que al estar altamente contaminada y tener elevadas concentraciones de sal no puede devolverse a los cursos de agua naturales ni inyectarse en los acuíferos de agua dulce.

Como consecuencia debe transportarse a pozos de eliminación para inyección, a una instalación comercial de aguas residuales para su tratamiento o tratarse en el sitio para su reutilización. La mayor parte de las aguas residuales de producción de shales en otras partes del mundo y en Vaca Muerta se almacenan en pozos de inyección profundos de forma indefinida, llamados pozos sumideros. Se estima que menos del 5% de las aguas residuales

son tratadas y reutilizadas en la fractura hidráulica, y estudios realizados con aguas tratadas y empleadas para riego de cultivos han demostrado que han tenido bajo rendimiento debido a la compleja interacción de los contaminantes presentes en el reflujo y el agua producida ([Forni et al., 2021](#)).

Un producto empleado para evitar la contaminación de los suelos donde se realizan las extracciones de hidrocarburos es la manta oleofílica. Está confeccionada con una tela rellena de turba que absorbe los residuos que caen de las extracciones en los pozos petroleros. Hasta noviembre de 2024 estaba vigente una norma que obligaba a las empresas a disponer estas mantas para contener los posibles derrames, pero una resolución reciente de la secretaría de Ambiente de Neuquén hizo lugar a un largo reclamo de la industria de derogar esa exigencia, de manera que ha quedado suspendida ([Hevia, 2024](#)).

No obstante, las mantas que ya han sido utilizadas junto al resto de los residuos mencionados deben recibir tratamiento adecuado para evitar la contaminación al ambiente y poner en riesgo la salud de las personas. Por su volumen se destacan dentro de los residuos generados en las etapas de perforación y operación.

La explotación mediante fracking no solo agrava la crisis hídrica, sino que genera riesgos ambientales. Derrames y contaminación de suelos afectan a productores frutícolas, obligados a vender tierras, mientras persisten fallas de seguridad laboral y ambiental (Figura 17) ([Glezer, 2023](#)).



Fig. 17. Una torre de extracción de hidrocarburos inserta en un área tradicional de cultivo de frutales en el Alto Valle de Río Negro. Fuente: [INFOCAMPO \(2025\)](#)

En un trabajo publicado por la Facultad de Agronomía de la UBA se detectó entre 2010 y 2020 un descenso de las tierras dedicadas a la fruticultura: de 6.545 a 4.870 hectáreas, una disminución del 25,6%. Al mismo tiempo, el área destinada a extraer hidrocarburos creció de 42 a 114 hectáreas; un aumento del 178%. El estudio que fue realizado en la localidad de Allen del Alto Valle de Río Negro, indicó que las políticas públicas incentivaron al sector energético mucho más que al alimentario ([Infocampo, 2025](#)).

En la localidad de Sauzal Bonito, un paraje ubicado a 48 km al suroeste de Añelo, la ciudad que se constituyó en el corazón de la actividad petrolera, se han registrado más de 400 sismos desde 2015 ([Delfino, 2023](#)).

Los vecinos aseguran que estos movimientos se deben a la actividad petrolera que se profundizó en la zona en los últimos años debido a Vaca Muerta, sostienen que antes de 2015 esto no pasaba y que desde entonces se sienten frecuentemente.

La historia sísmica de la Cuenca Neuquina es tranquila y cuenta con escasos registros ([Schultz et al., 2024](#)), pero a partir de 2015 se registra un aumento de eventos sísmicos notable con magnitudes de momento que llegan a Mw 5.0 e intensidades IV a V (de medio a moderado) ([Vásquez et al., 2020](#)). Respecto a la existencia de una relación entre el empleo de la fractura hidráulica y el aumento de la sismicidad hubo en un principio opiniones encontradas, sin embargo, ya no se discute la potencia inductora de terremotos que tiene esta técnica. Según [Grosso Heredia, Di Ferdinando, Tamburini et al. \(2024\)](#) son tres las consecuencias que derivan de los sismos que sufre Sauzal Bonito: la afectación estructural de las construcciones, el desprendimiento de rocas de las bardas con riesgo directo para la integridad física de las personas y la grave afectación psicológica y del estado de ánimo, con manifestaciones como miedo, ansiedad y estrés. Existen otros riesgos como el daño a las infraestructuras de la misma industria de hidrocarburos porque sus instalaciones, no han sido preparadas para enfrentar sismos y por lo tanto se ven expuestos al deterioro por la exposición recurrente a sismos. Esto puede derivar en siniestros en superficie (accidentes, vertidos, fugas, incendios, explosiones) o también en fallos en las infraestructuras del subsuelo. La ruptura de cañerías subterráneas o la activación de fallas puede facilitar filtraciones de fluidos entre formaciones, comunicando acuíferos con depósitos de hidrocarburos o de líquidos derivados del fracking altamente contaminantes ([Observatorio de Sismicidad Inducida, 2022](#)).

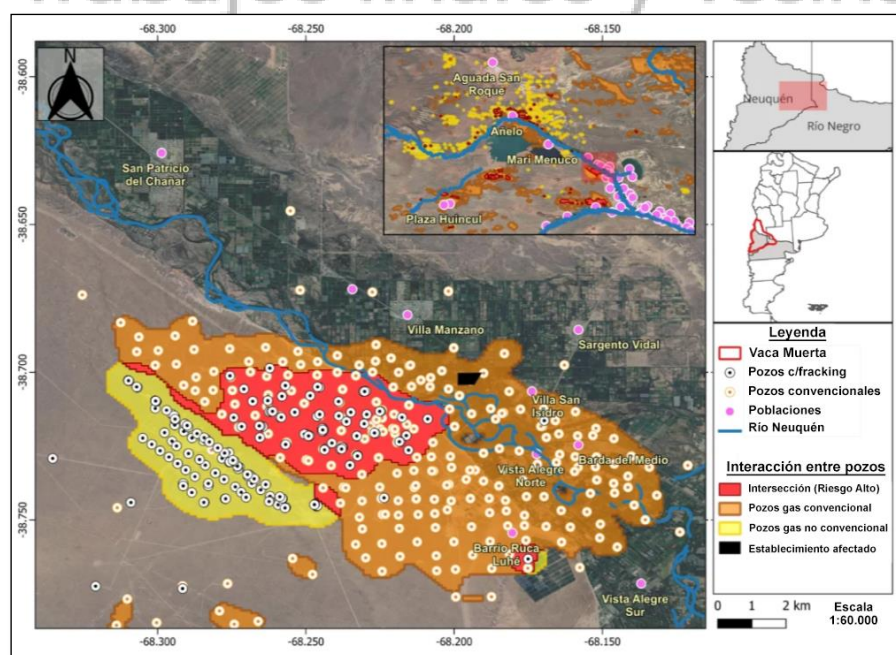


Fig. 18 . Mapa de interacciones entre pozos y riesgo de contaminación basado en esas interacciones. Fuente: [Forni et al. \(2024\)](#)

Se asume que el caso informado por una agricultora local, Norma Ramírez, quien encontró petróleo en las aguas subterráneas de su establecimiento que provenían de un pozo convencional que perdía, probablemente fuera el resultado de esta interacción entre pozos (Figura 18) ([Forni et al., 2024](#)). Ese hallazgo le provocó la pérdida de un lote completo de fruta para exportación. El cultivo de frutas es una actividad económica que tiene una tradición centenaria en la zona, pero en los últimos años ha sido eclipsada por una industria mucho más rentable: la extracción de gas y petróleo no convencional ([Meadows, 2023](#)).

El pozo con pérdidas está ubicado en una chacra donde las napas están a menos de un metro de profundidad, el río Neuquén se encuentra a seiscientos metros y el Dique Ballester, el sistema de riego más importante del Alto Valle, está a sólo dos kilómetros de allí. Se trata, además, de una zona de lagunas, una de ellas a sólo 200 metros del pozo del que brota petróleo ([Álvarez Mullally, 2023](#)).

Según datos proporcionados por la Subsecretaría de Ambiente de Neuquén entre 2015 y 2021 los incidentes ambientales en la zona de Vaca Muerta aumentaron 2,4 veces, pasando de ser 863 a 2049, a razón de 5,6 por día. Están comprendidos dentro de esta categoría los derrames de crudo, de agua de producción de fluidos con concentraciones de hidrocarburos, de lodos, de gas oil, de productos químicos, de aceite hidráulico, de lubricantes, de combustibles y de aceite refrigerante. Se suman también las fugas de gases, los principios de incendio y lo que se conoce como “blow out” o un “reventón”, es decir, la pérdida total del control de los pozos que produce una liberación descontrolada de petróleo y/o gas. Fuera de esta contabilidad están algunas prácticas habituales de la actividad como la inyección de líquidos contaminados en pozos sumideros o las consecuencias que se derivan de la misma, los basureros petroleros y los sismos inducidos. La mayor cantidad de estos incidentes se registran en áreas híbridas (donde coincidieron la explotación convencional con la del fracking), luego en aquellas exclusivas para no convencionales y por último en las de explotación convencional. Es para destacar que la información es compilada por el estado provincial, pero en base a los reportes de las empresas operadoras. En muchos de los incidentes se declara que la superficie impactada es cero, información que puede ser creíble mientras se trate de una fuga de gas, pero inverosímil si lo que ocurrió es un derrame de petróleo crudo.

En Vaca Muerta, entre los años 2010 y 2019, se calcula que el volumen del flowback, fue de 4,9 a 9,7 millones de m³, partiendo de la base que entre el 20 y el 40% del fluido inyectado para la fractura regresa a la boca del pozo y de los volúmenes de agua utilizados ([Sosa, 2021](#)).

Otro problema que hasta el momento no ha recibido una solución acorde es que el volumen de lodos de perforación en una década de operaciones (2010-2020) y de recortes, desbordaron las capacidades para su procesamiento. Las empresas especializadas que los recibían al verse superadas comenzaron a acopiarlos sin darle tratamiento. A diciembre de 2020 la Asociación Argentina de Abogados Ambientalistas acusó al gobierno de Neuquén y a la tratadora COMARSA por dejar a la intemperie 400.000 m³ de residuos sin tratar ([Sosa, 2021](#)). La presentación judicial acusa al basurero petrolero por envenenamiento, adulteración o contaminación de un modo peligroso para la salud, suelo, agua, atmósfera y el ambiente en

general. Incluye también la responsabilidad de funcionarios públicos y de las empresas petroleras generadoras del residuo ([OPSUR, 2021](#)).

En febrero de 2024, la fiscalía especializada en Delitos Ambientales de Neuquén presentó cargos formales contra dos empresarios y un ex ejecutivo de Comarsa, la planta de tratamiento de residuos petroleros que dejó un basural tóxico abandonado en plena ciudad capital de la provincia. El juez de Garantías ordenó embargar a los acusados por 7 millones dólares (equivalente al monto estimado para su remediación) y les prohibió la salida del país. Tanto la querella como la fiscalía advirtieron que Comarsa no podría haber actuado irregularmente sin la complicidad y falta de control de los funcionarios públicos de la provincia. El proceso judicial, aún en etapa de instrucción, continúa sustanciándose ([Delfino, 2024](#)).

Entre tantos incidentes ambientales se pueden destacar dos por sus magnitudes. El primero fue un derrame ocurrido en 2018 en el yacimiento Bandurria Sur, operado entonces por YPF en asociación con la norteamericana Schlumberger. Llamaron la atención las cifras vinculadas al hecho: se succionaron 4.076 m³ de hidrocarburos y hubo que remover 22.529 m³ de suelo contaminado. No menos llamativa fue la diferencia en el reporte de la superficie afectada, para la empresa y el gobierno neuquino fueron 47,6 hectáreas, mientras que para Greenpeace y la Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN), se trató de más de 80 hectáreas.

En septiembre de 2019 inició un gran incendio en un pozo de Loma La Lata Oeste, operado por YPF. Sus llamas alcanzaron los 30 metros de altura, a menos de 2 kilómetros del embalse Los Barreales, que provee de agua a la mayor parte de la población de Neuquén. Se pudo controlar recién después de 23 días por un grupo de especialistas que vino de Estados Unidos exclusivamente para esa tarea ([Grosso Heredia, Di Ferdinando y Observatorio Petrolero Sur, 2024](#)).

Arenas silíceas: entre la demanda energética y el costo ambiental

Por su rol estratégico en la explotación hidrocarburífera, las arenas silíceas ocupan un lugar central en la industria energética. Combinadas con agua y aditivos, forman el fluido utilizado para fracturar rocas en pozos no convencionales. Su demanda crece en paralelo al avance de Vaca Muerta: entre 2009 y 2022 se consumieron 10 millones de toneladas, extraídas principalmente de yacimientos en Río Negro, Chubut y Entre Ríos. Esta última provincia destaca como principal proveedora gracias a sus arenas fluviales del Paraná, aunque el auge extractivo ha derivado en prácticas irregulares y severos impactos ambientales que comprometen humedales y áreas protegidas.

La explotación intensiva conlleva una cadena de efectos críticos: alteración de ecosistemas acuáticos por la remoción de sedimentos, consumo desmedido de agua, contaminación atmosférica y de napas, así como deterioro de infraestructura vial por el tránsito constante de camiones. Las fases de procesamiento, lavado, secado y transporte, agravan los riesgos sanitarios. En el lavado se emplean floculantes cuya degradación genera acrilamida, compuesto neurotóxico y cancerígeno, mientras que el almacenamiento a cielo abierto y el traslado inadecuado exponen a poblaciones cercanas a micropartículas de sílice, causantes

de silicosis. Desde 2015, estas problemáticas han motivado denuncias judiciales, clausuras preventivas y sanciones a empresas del sector.

Los territorios de origen sufren transformaciones irreversibles. En Entre Ríos, la extracción degrada costas y humedales; en la Patagonia, altera el paisaje dejando grandes socavones. El transporte terrestre multiplica los daños: rutas colapsadas por convoyes pesados afectan comunidades, como ocurrió en Allen en 2022, donde vecinos y productores denunciaron grietas en viviendas, pérdida de cultivos y contaminación acústica.

Frente a este escenario, se exploran alternativas logísticas. Recientemente se comenzó a experimentar con el uso de ferrocarriles para reducir costos y presiones sobre la red vial cuando las arenas provienen de Entre Ríos ([Grosso Heredia, Di Ferdinando y Observatorio Petrolero Sur, 2024](#)).

Pueblos Originarios: derechos postergados

Las comunidades mapuche han sido otro de los sectores sociales más afectados por esta explotación. Más de una veintena de ellas se encuentran en conflicto con distintas empresas petroleras debido al despojo de tierras, la violación de derechos, la represión, la criminalización de la protesta, y la contaminación de sus territorios. La explotación hidrocarburífera ha intensificado los conflictos territoriales y la represión estatal, afectando directamente la vida comunitaria ([Cabrera Christiansen y Rocha Varsanyi, 2024](#)).

El lento reconocimiento por el Instituto Nacional de Asuntos Indígenas dificulta su integración y agrava conflictos por proyectos que invaden sus tierras, profundizando marginalización histórica ([Sosa, 2021](#)).

Esta problemática se ilustra de manera contundente con el caso de la concesión otorgada por el gobierno de Neuquén a YPF para explotar el área La Angostura Sur II. Ubicada estratégicamente en las proximidades de los embalses Mari Menuco y Barreales, una de las principales fuentes de agua potable para las ciudades de Neuquén y Centenario y parte crucial del sistema de canales de Riego del Alto Valle, esta zona es también territorio ancestral reclamado por la comunidad mapuche Kaxipayiñ. Dicha comunidad exige el respeto a su derecho a la Consulta Previa, Libre e Informada, un principio fundamental establecido en la ley provincial 3401 y el Convenio 169 de la OIT. Este proyecto, al implicar la reactivación de un área con infraestructura envejecida de la histórica concesión de Loma La Lata, representa un riesgo mayúsculo para el ecosistema, con alta susceptibilidad a fracturarse por los trabajos propios del sistema de fractura hidráulica, exacerbando la amenaza a la vida y el ambiente de la comunidad ([Del Palacio, 2025](#)).

Conclusión: la riqueza que no llega

Vaca Muerta encierra un modelo donde la riqueza fluye hacia circuitos globales, mientras las comunidades locales enfrentan exclusiones múltiples. Como señala Banderet: “La riqueza pasa de largo hasta por la ruta a Añelo” ([Clarín, 2024](#)). Urgen políticas que prioricen ordenamiento territorial, distribución equitativa y diálogo con actores locales, transformando

el boom extractivo en desarrollo inclusivo y sostenible. Sin ello, el “éxito” de Vaca Muerta seguirá siendo sinónimo de deuda social.

3.4. Alineación con compromisos globales

Análisis de los compromisos climáticos de Argentina en el contexto del desarrollo del gas natural

El presente punto de análisis aborda los compromisos climáticos asumidos por Argentina a nivel global, evaluando la factibilidad de su cumplimiento al 2030 y la aspiración de alcanzar la neutralidad de carbono para 2050. Se examinarán la adhesión al Compromiso Mundial sobre el Metano, la alineación con la Agenda 2030 y, en particular, con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 7 (Energía asequible y no contaminante) y 13 (Acción por el clima). Asimismo, se incorporarán al análisis declaraciones recientes de funcionarios del gobierno nacional respecto a la política ambiental, contrastándolas con la trayectoria de desarrollo del gas natural como vector energético en la transición argentina.

Argentina ha demostrado históricamente un compromiso formal con la agenda climática global. Su adhesión al Compromiso Mundial sobre el Metano en la COP26, con el objetivo de reducir las emisiones de este potente gas de efecto invernadero en un 30% para 2030 respecto a los niveles de 2020 ([FARN, 2025](#)), es un ejemplo concreto de esta voluntad. Este compromiso se inscribe en un marco de participación activa en iniciativas multilaterales como la Coalición Clima y Aire Limpio y la Iniciativa Global del Metano ([FARN, 2025](#)).

En cuanto a sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), Argentina presentó su segunda versión en 2021 ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). En ella, el país se comprometió a no exceder las 349 MtCO₂eq de emisión neta para el 31 de diciembre de 2030. Es un nivel de emisiones levemente inferior al reportado en el Tercer Informe Bienal de Actualización (2019) y mantendría un porcentaje de participación menor al 0,9% respecto de las emisiones globales, quedando por debajo del máximo alcanzado en 2007 ([MAyDS, 2021](#)).

Se trata de una meta absoluta e incondicional porque no depende de factores externos ni de acuerdos futuros. La proyección de emisiones y absorciones a 2030 se realizó partiendo de las fuentes de emisión y absorción estimadas en el Inventario Nacional de GEI 2016. Para el sector energético se contempló una demanda creciente del consumo, con medidas de eficiencia energética en todos los sectores, un crecimiento importante de las energías renovables y de generación distribuida y una mayor producción de gas natural en términos absolutos y relativos respecto del petróleo.

Otras variables que se modelizaron son el crecimiento de la población, el producto interno bruto, la demanda y oferta de la energía, las existencias del ganado bovino, la producción agrícola y el cambio de uso de la tierra ([MAyDS, 2021](#)).

Tras la presentación de la Segunda NDC se comunicó la primera Estrategia de desarrollo resiliente con bajas emisiones a largo plazo a 2050 en la que se compromete a hacer los esfuerzos en pos de alcanzar la neutralidad de emisiones para el 2050.

Este documento oficial señala que las metas establecidas son coherentes con los objetivos de reducción de emisiones de GEI fijados en 2019, por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en su Sexto Informe de Evaluación (AR6), que buscan una disminución del 40 % para 2050. Estas proyecciones tienen como finalidad mantener el aumento de la temperatura media global por debajo de los 2 °C en comparación con los niveles preindustriales y lograr una reducción del 84 % para evitar que el calentamiento supere los 1,5 °C ([MAYDS, 2022](#)).

Argentina destaca que para implementar las medidas de largo plazo es imprescindible contar con financiamiento internacional adicional y/o fondos que no impliquen un incremento en los compromisos de pago de deuda, como también acceder a mecanismos de transferencia de tecnología y de fortalecimiento de capacidades ([MAYDS, 2022](#)).

Sin embargo, la evaluación independiente realizada por el Climate Action Tracker (CAT) en 2025 arroja una perspectiva preocupante. El CAT calificó la meta de la NDC argentina para 2030 como "altamente insuficiente", indicando que las políticas actuales proyectan un aumento de las emisiones totales (excluyendo el sector UTCUTS) de aproximadamente un 15% por encima de los niveles de 2022 para 2030, lejos de la reducción necesaria para alinearse con un escenario de calentamiento de 1,5°C. La calificación de las "políticas y acciones" fue aún más dura: "críticamente insuficiente", señalando que Argentina no alcanzaría su meta de reducción fijada en 54 MtCO₂eq. Para ser compatible con 1,5°C, se estima que las políticas deberían lograr una reducción de al menos 175 MtCO₂eq al 2030 ([Climate Action Tracker, 2025](#)).

[Deloitte \(2023a\)](#) plantea un panorama similar. En un escenario de Referencia (tendencial, modelado sin esfuerzos adicionales en medidas de mitigación de gases de efecto invernadero) estima que las emisiones de GEI llegarían a 455 MtCO₂eq a 2030 y a 571 MtCO₂eq a 2050.

Esta evaluación se torna aún más relevante al considerar la estrategia de desarrollo energético actual de Argentina, centrada en la explotación intensiva de gas no convencional en la formación de Vaca Muerta. Los planes de construcción de infraestructura asociada, como gasoductos y el alquiler y compra de unidades flotantes para licuar GNL, con una inversión significativa ([Climate Action Tracker, 2025](#); [MAS ENERGIA, 2025](#)), evidencian la apuesta del país por este recurso. La ahora exsubsecretaria de Transición y Planeamiento Energético de la Nación, Mariela Beljansky ([González, 2024](#)), destacó la importancia de aprovechar la "ventana temporal" del gas natural para generar riqueza, "porque no nos sirven de nada los recursos si están enterrados, sino que tenemos que poder utilizarlos", en función de ello subrayó la necesidad de reducir las emisiones de metano. Pero no se encuentran iniciativas oficiales orientadas a alcanzar este último objetivo.

Esa visión ofrecida por la exfuncionaria contrasta con las advertencias de diversas organizaciones y expertos. El [Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de la ONU \(2018\)](#) ya había expresado su preocupación por el impacto de la explotación de Vaca Muerta en el presupuesto global de carbono y en el cumplimiento de los compromisos del Acuerdo de París. En la misma línea, [Acacio y Wyczykier \(2023\)](#) señalan que la promoción de

infraestructura y extracción de nuevos yacimientos de gas no convencional es incompatible con las metas del Acuerdo de París.

Las reservas estimadas de gas y petróleo en la cuenca neuquina representan una cantidad considerable de emisiones de CO₂ atrapadas en el subsuelo ([Cunningham, 2019](#)), lo que plantea serias dudas sobre la viabilidad de alcanzar el cero neto para 2050 si se explotan plenamente. La organización [Oil Change \(2017\)](#) califica esta potencial explotación a gran escala como una "pesadilla climática" que alejaría al país de una trayectoria de reducción de emisiones consistente con los objetivos climáticos globales. [Arceo et al. \(2022\)](#) advierten que los planes de exportación de GNL, con volúmenes de producción significativos, implicarían un aumento considerable de las emisiones de GEI asociadas a la explotación, tratamiento y transporte.

Es crucial destacar la aparente contradicción entre la estrategia de desarrollo basada en la expansión del gas natural y la necesidad de una transición energética profunda hacia fuentes renovables para cumplir con los compromisos climáticos. El proyecto de presupuesto para 2025, que elimina la financiación de programas de energías renovables y generación distribuida ([Laguzzi y Mercure, 2025](#)), sugiere una priorización de los combustibles fósiles en detrimento de la descarbonización.

En este contexto, las declaraciones del presidente Javier Milei en la Asamblea General de la ONU ([López San Miguel, 2024](#)) alerta sobre la continuidad del compromiso de Argentina con la agenda climática multilateral. Su rechazo a la "Agenda 2030" y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, calificándolos de "programa de gobierno supranacional de corte socialista", cuestiona la adhesión del país a un marco global fundamental para abordar el cambio climático y promover el desarrollo sostenible, incluyendo los ODS 7 y 13.

El primer mandatario argentino en uno de los debates presidenciales de 2023 ya había manifestado su desacuerdo con el origen antropogénico del cambio climático, al afirmar que: *"No niego el cambio climático; digo que existe un ciclo de temperaturas en la historia de la Tierra y este es el quinto punto del ciclo. La diferencia con los cuatro anteriores es que en esos no estaban los seres humanos. Por lo tanto, todas las políticas que culpan al ser humano del cambio climático son falsas y solo buscan recaudar fondos para financiar a vagos socialistas que escriben papers de cuarta"* ([La Nación, 2023](#)).

En el mismo sentido la ahora exsubsecretaria de Ambiente de la Nación, Ana Vidal de Lamas, había expresado que el cambio climático *"tiene poco que ver con la industrialización y el ser humano"* ([Avramow, 2024](#)).

En este panorama complejo y contradictorio, la Secretaría de Energía (2023) del gobierno anterior sostenía que sus escenarios de descarbonización energética para 2050 eran coherentes con la segunda NDC e incluso contemplaban objetivos más ambiciosos. Sin embargo, estos escenarios, incluso el más ambicioso, no alcanzaban la neutralidad de emisiones netas en el sector energético para 2050 por sí solos, dependiendo de tecnologías como la captura y almacenamiento de carbono ([Institute for Sustainable Development and International Relations \[IDDRI\], 2020](#)) y condicionados al financiamiento internacional. Las proyecciones de la actual Secretaría de Energía (2025) que contemplan un aumento

significativo en la producción de gas para exportación al 2050, conllevan necesariamente un incremento considerable en las emisiones de GEI, alejando al país del objetivo de cero neto.

Es importante señalar que la insuficiencia de las NDC no es exclusiva de Argentina. El informe de la [UNEP \(2024\)](#) sobre brechas de emisión subraya la necesidad de que las naciones aumenten significativamente su ambición para limitar el calentamiento global a 1.5°C. Las NDC actuales apenas alcanzan una reducción del 10% de las emisiones, lo que podría conducir a un aumento de la temperatura de entre 2,6 y 3,1 °C para finales de siglo. Estudios como el de [den Elzen et al. \(2022\)](#) corroboran que la reducción de emisiones comprometida en las NDC es considerablemente menor a la necesaria para cumplir con los objetivos del Acuerdo de París.

En conclusión, el análisis de los compromisos climáticos de Argentina resalta una tensión significativa entre los objetivos declarados a nivel internacional y la dirección actual de su política energética, centrada en la expansión de la producción de gas natural. Si bien el gas puede desempeñar un papel transitorio en la matriz energética, su desarrollo a gran escala, especialmente el no convencional, presenta desafíos considerables para el cumplimiento de la NDC al 2030 y la aspiración de alcanzar el cero neto para 2050. La potencial incompatibilidad entre la explotación intensiva de hidrocarburos y los objetivos climáticos globales, sumada a las recientes declaraciones que cuestionan la agenda multilateral, exige una revisión profunda de la estrategia energética nacional para asegurar una transición justa y sostenible que esté a la altura de los compromisos asumidos por Argentina en la lucha contra el cambio climático y en la búsqueda de un desarrollo alineado con la Agenda 2030 y sus ODS.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta sección presenta los hallazgos clave derivados de la revisión bibliográfica y el análisis, estructurados para abordar cada objetivo específico de la tesina.

4.1. Hallazgos Clave

4.1.1. Caracterización del potencial del gas natural en Argentina y su rol en la matriz energética

Argentina ha mantenido en las últimas décadas una dependencia del gas natural, un hidrocarburo ligero dominado por el metano. Su desarrollo como fuente energética en el país se inició en 1949 con la construcción del gasoducto que unía Comodoro Rivadavia con Buenos Aires, transformando el gas, que hasta entonces se vendeaba como subproducto de la explotación petrolera, en un combustible aprovechable. Este hito fue seguido por el descubrimiento del yacimiento de Loma La Lata en Neuquén en la década de 1970, que impulsó una transición energética interna, permitiendo que el gas desplazara al petróleo como principal fuente de energía primaria a finales de los años 90.

Actualmente, el gas natural domina la matriz energética primaria de Argentina, representando el 56% del total, y el sector energético en su conjunto es el que más contribuye al calentamiento global, con un 50% de las emisiones nacionales. La producción de gas ha experimentado un cambio significativo, pasando de fuentes convencionales a no convencionales, con la formación de Vaca Muerta, en la Cuenca Neuquina, representando más del 54% de la producción de gas en 2022. Esta formación es reconocida a nivel mundial, ubicando a Argentina en el segundo lugar en reservas de gas y cuarto en petróleo no convencionales.

Las proyecciones futuras para el gas natural en Argentina son ambiciosas. La Secretaría de Energía de la Nación proyecta un aumento considerable en la producción y exportación, con escenarios que contemplan una producción de 280-300 millones de metros cúbicos por día (MMm3/d) frente a los 131 MMm3/d actuales. Estas proyecciones también estiman un aumento de 1,8 veces en el consumo interno de gas en los escenarios de mayor demanda. La empresa YPF, por su parte, ha manifestado el objetivo de que Argentina exporte 30.000 millones de dólares adicionales para 2031, y 40.000 millones de dólares anuales a principios de la próxima década en concepto de hidrocarburos. La extracción de estos recursos no convencionales se realiza exclusivamente mediante la técnica de fractura hidráulica o *fracking*, que implica la inyección de grandes volúmenes de agua, arena y aditivos químicos a alta presión para liberar los hidrocarburos atrapados en la roca madre.

El impulso detrás del desarrollo masivo del gas natural en Argentina, particularmente en Vaca Muerta, está fundado sólo en motivos económicos: la generación de divisas para superar déficits comerciales. Esta decisión, si bien comprensible en un contexto de inestabilidad macroeconómica, puede eclipsar o incluso entrar en conflicto con los compromisos climáticos asumidos por el país. La elección de expandir la explotación de gas, que requiere el *fracking* con sus conocidos impactos ambientales, es una consecuencia directa de esta lógica de desarrollo.

Además, se observa que las obras de transporte son actualmente el principal factor limitante para la producción de gas, impidiendo que el recurso sea evacuado eficientemente hacia los centros de consumo o para su exportación. A pesar de esta limitación, las inversiones públicas y privadas, como las contempladas en el Régimen de Incentivos a las Grandes Inversiones (RIGI), se inclinan abrumadoramente hacia el sector de hidrocarburos (93% de las inversiones propuestas en el sector energía), en detrimento de las energías renovables. Esta orientación de la inversión hacia la infraestructura de transporte de gas no solo busca satisfacer la demanda interna, sino, habilitar un polo fuertemente exportador. Este patrón de inversión contribuye a un "bloqueo de carbono", al dirigir capital hacia activos de combustibles fósiles de larga vida útil, afianzando aún más la dependencia del país de los hidrocarburos.

4.1.2. Potencial y crecimiento de las energías renovables (Solar Fotovoltaica y Eólica) en Argentina

Argentina posee un potencial excepcional para el desarrollo de energías renovables, particularmente solar fotovoltaica y eólica, debido a sus ventajas geográficas. La región del Noroeste Argentino (NOA) se destaca por su recurso solar de clase mundial, con una nubosidad excepcionalmente baja, alta elevación y aire limpio, que permiten rendimientos de hasta 6.8 kWh/m²/día. Los valores de irradiancia global horizontal (GHI) en el NOA oscilan entre 2.3 y 7.4 kWh/m²/día, superando a países europeos líderes en tecnología solar a pesar de su menor recurso. Además, estas áreas son generalmente poco pobladas, lo que minimiza la competencia por el uso del suelo.

En cuanto a la energía eólica, el potencial técnicamente aprovechable se estima en 5.000 MW, concentrado en la Patagonia, la región cordillerana y la costa atlántica, con velocidades medias del viento que alcanzan los 12 m/s en la Patagonia y 9 m/s en el sur de Buenos Aires, superando la media global. La Cámara Eólica Argentina sugiere que la instalación de parques eólicos en los 42.000 km² más aptos podría generar más del triple de la energía que el país consume actualmente. Los parques eólicos argentinos demuestran altos factores de capacidad, con cinco de siete parques en Chubut superando el 50%, y el parque Manantiales Behr registrando un promedio anual del 61.3% en 2023, cifras que superan significativamente a países como EE.UU., Dinamarca, España y Alemania.

La potencia instalada para la generación eléctrica en Argentina a finales de 2024 totalizaba 43.351 MW, de los cuales el 16% corresponde a tecnologías renovables definidas por la Ley 26.190 (6.671 MW), con la energía eólica (10%) y solar (4%) como principales contribuyentes. La generación eléctrica total en 2024 fue de 142.137 GWh, con las renovables aportando el 16.09%. Se ha observado un rápido crecimiento en la capacidad instalada y la generación renovable, alcanzando un récord instantáneo del 36,61% de la demanda abastecida por renovables el 15 de septiembre de 2024.

En relación con el cumplimiento de la Ley 27.191, que fijó objetivos de participación renovable en la generación eléctrica, Argentina ha mostrado un progreso notable, logrando un 90,6% de cumplimiento para la meta del 18% en 2024. Sin embargo, la alta penetración de energías renovables en el sistema de potencia aún enfrenta desafíos como la variabilidad

e intermitencia, que requieren de infraestructura inteligente y digitalizada, así como tecnologías de almacenamiento de energía para mantener la estabilidad de la red.

A pesar del "potencial de clase mundial" y los altos factores de capacidad de las energías solar y eólica en Argentina, la contribución de las renovables a la matriz energética total sigue siendo una fracción de lo que podría ser. Aunque se están cumpliendo las metas establecidas por la Ley 27.191, estas metas son, en sí mismas, modestas en comparación con el vasto recurso disponible y la urgencia climática global. Esta disparidad entre el potencial técnico y el despliegue real sugiere una subutilización significativa de estos recursos, cuya razón radica en una falta de priorización política y de inversión en comparación con los combustibles fósiles. La "inercia de los sistemas energéticos" se manifiesta claramente, indicando que la transición está siendo más lenta de lo que los recursos naturales del país permitirían, lo que representa una oportunidad perdida tanto para la acción climática como para la seguridad energética.

4.1.3. Evaluación técnico-económica comparativa de opciones energéticas

El análisis del Costo Nivelado de la Energía (LCOE, por sus siglas en inglés) revela una transformación radical en la competitividad de las energías renovables. Entre 2010 y 2023, el LCOE medio ponderado mundial de los proyectos solares fotovoltaicos a escala de servicios públicos se redujo en un 90%, pasando de 0,460 USD/kWh a 0,044 USD/kWh. En 2023, la energía solar fotovoltaica era un 56% más barata que la generación eléctrica con combustibles fósiles, una inversión notable respecto a 2010, cuando era un 414% más cara. De manera similar, la energía eólica terrestre pasó de ser un 126% más cara en 2010 a un 25% más barata en 2023. En Argentina, el LCOE de la energía solar fotovoltaica ya se situó por debajo del costo de los combustibles fósiles en 2018, y la competitividad de la eólica terrestre aumentó en 2023. El costo promedio de la generación eólica en Argentina es de 60 USD/MWh, inferior al promedio del sistema (75 USD/MWh), lo que desafía la percepción de que las renovables son costosas.

La viabilidad económica de las tecnologías fósiles, como las centrales térmicas a gas, depende críticamente de la volatilidad de los precios de los combustibles. El componente del combustible representó entre el 61% y el 69% del costo unitario de generación térmica en Argentina entre 2021 y 2022, evidenciando una alta vulnerabilidad a las fluctuaciones del mercado global. La crisis de precios de los combustibles fósiles de 2022, por ejemplo, generó un costo adicional de 4.246 millones de dólares en importaciones para Argentina, impactando negativamente la balanza comercial. En contraste, las energías renovables, con costos marginales cercanos a cero una vez instaladas, ofrecen una mayor estabilidad y seguridad energética al reducir la dependencia de insumos externos.

En cuanto a los costos de instalación, construir un parque eólico en Argentina cuesta aproximadamente 1,5 millones de USD por MW, y un parque solar fotovoltaico alrededor de 0,83 millones de USD por MW, cifras competitivas con el costo promedio de 1,1 millones de USD por MW para plantas térmicas de ciclo combinado. Además, los tiempos de puesta en marcha para proyectos solares (1 año) y eólicos (2 años) son significativamente más cortos

que los de las centrales de ciclo combinado (2-3 años) o las grandes hidroeléctricas (7-17 años).

En términos de impacto en el empleo y el desarrollo industrial, un escenario de "transición decisiva" en Argentina podría generar 3,6 millones de puestos de trabajo netos para 2050, con 5 millones de nuevos empleos en sectores como la construcción, minería de cobre y energías renovables, aunque 1,4 millones de puestos en el sector de hidrocarburos se verían amenazados. Esto contrasta con el desarrollo de Vaca Muerta, que si bien se proyecta como una plataforma exportadora significativa (hasta 33.000 millones de dólares anuales), su enfoque principal es la generación de ingresos por exportación, con un impacto en la red de proveedores locales que, aunque positivo, se enmarca en un modelo extractivo de recursos finitos.

La persistencia de la dominancia de los combustibles fósiles en la matriz energética argentina, a pesar de la creciente superioridad económica y la rapidez de despliegue de las energías renovables, revela una fuerte "dependencia del devenir histórico" y un "bloqueo de carbono". Los costos de capital elevados, la larga vida útil de los activos fósiles existentes, y las interdependencias socio-técnicas (sistemas económicos y legales diseñados para combustibles convencionales) contribuyen a esta inercia. Además, la influencia de grupos de interés poderosos y los cuantiosos subsidios a los combustibles fósiles distorsionan el mercado, haciendo que las decisiones de inversión no se basen puramente en la racionalidad económica de los LCOE. La prioridad de generar divisas a corto plazo a través de las exportaciones de Vaca Muerta parece estar prevaleciendo sobre los beneficios económicos y ambientales a largo plazo de una transición energética acelerada.

4.1.4. Impactos socioambientales de la explotación de gas natural no convencional vs. energías renovables

La explotación de gas natural no convencional, particularmente en Vaca Muerta, conlleva una serie de impactos socioambientales significativos. El *fracking* requiere grandes volúmenes de agua, con un consumo estimado de 9.000 a 30.000 m³ por pozo. Aunque las autoridades neuquinas prohíben el uso de acuíferos subterráneos de agua dulce, el agua superficial utilizada se contamina con aditivos químicos, metales pesados y materiales radiactivos naturales (NORM) presentes en el fluido de retorno (*flowback*). Esta agua, al estar altamente contaminada y salinizada, no puede ser devuelta a los cursos naturales ni a los acuíferos de agua dulce, lo que la convierte en un recurso consuntivo y de difícil manejo, almacenándose mayormente en pozos de inyección profundos. La paradoja es evidente: mientras la industria consume enormes cantidades de agua, comunidades cercanas como Añelo carecen de servicios básicos de agua potable y cloacas.

La gestión de residuos es otro desafío crítico. El volumen de *flowback* (estimado entre 4,9 y 9,7 millones de m³ en Vaca Muerta entre 2010 y 2019) y de recortes de perforación ha desbordado la capacidad de procesamiento, llevando a la acumulación de residuos sin tratar y a denuncias judiciales por contaminación ambiental, como el caso de COMARSA. Sustancias tóxicas y cancerígenas, como benceno, tolueno y xileno (BTEX), y compuestos orgánicos volátiles (VOCs), han sido detectadas en los fluidos de desecho y en el aire

alrededor de los pozos, con riesgos comprobados para la salud humana, incluyendo problemas respiratorios y cáncer.

La sismicidad inducida por la inyección de fluidos en el subsuelo es un impacto bien documentado. En Sauzal Bonito, Neuquén, se han registrado más de 400 sismos desde 2015, coincidiendo con la intensificación de la actividad petrolera. Estos eventos sísmicos no solo afectan la integridad física de las personas y la infraestructura local, sino que también pueden comprometer la infraestructura de hidrocarburos, aumentando el riesgo de derrames, fugas y contaminación de acuíferos.

El modelo extractivo en Vaca Muerta ha generado profundas desigualdades sociales y conflictos territoriales. Las comunidades mapuche y tehuelche ven sus derechos territoriales ignorados, agudizando la histórica marginación. Ciudades como Añelo, el corazón de Vaca Muerta, experimentan un crecimiento poblacional insostenible que colapsa los servicios básicos y aumenta problemas sociales como la violencia, la prostitución y el narcotráfico, evidenciando que la riqueza generada no se traduce en desarrollo humano equitativo.

En contraste, las energías renovables, si bien no están exentas de impactos ambientales, presentan un perfil de emisiones de carbono significativamente menor que los combustibles fósiles. Los impactos de la energía eólica se asocian principalmente con el ruido operacional, el parpadeo de sombras y el riesgo de colisión para aves y murciélagos, aunque existen esfuerzos de mitigación. Los desafíos también incluyen el uso de materiales (cemento, palas no reciclables). Para la energía solar fotovoltaica, los impactos se concentran en la obtención y fabricación de materiales (silicio, cadmio, metales pesados), la ocupación de grandes superficies de suelo que pueden competir con usos agrícolas, el uso de agua para la limpieza de paneles en zonas áridas, y la gestión de residuos de paneles al final de su vida útil. Sin embargo, el reciclaje de paneles podría reducir las emisiones de GEI hasta en un 42%.

La diferencia en la naturaleza y gravedad de los impactos entre la explotación de gas convencional y las energías renovables es fundamental. Mientras que la extracción de gas mediante *fracking* genera impactos directos, invasivos y a menudo inmediatos en las comunidades locales y los ecosistemas (contaminación del agua, sismicidad, disrupción social), los impactos de las renovables se concentran en gran medida en las fases de fabricación (a menudo externalizadas) y el uso del suelo, con emisiones operativas mucho menores. La situación en Vaca Muerta ilustra la creación de "zonas de sacrificio", donde las poblaciones locales y los ecosistemas soportan la carga de una política energética nacional que busca un beneficio económico más amplio. Esto contradice los principios del desarrollo sostenible y de una transición justa: los beneficios económicos se externalizan hacia el ambiente y las comunidades marginadas.

4.1.5. Alineación de la estrategia energética nacional con compromisos climáticos globales

Argentina ha formalizado su compromiso con la agenda climática global, adhiriéndose al Acuerdo de París y presentando su segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) en 2021, con una meta de no exceder las 349 MtCO₂eq de emisión neta para 2030.

Además, se sumó al Compromiso Mundial sobre el Metano en la COP26, buscando reducir las emisiones de este potente gas de efecto invernadero en un 30% para 2030. El país también ha comunicado su Estrategia de desarrollo resiliente con bajas emisiones a largo plazo a 2050, con el objetivo de alcanzar la neutralidad de emisiones.

Sin embargo, las evaluaciones independientes, como la realizada por el [Climate Action Tracker \(CAT\)](#) en 2025, arrojan una perspectiva preocupante. El CAT calificó la meta de la NDC argentina para 2030 como "altamente insuficiente" y las políticas y acciones como "críticamente insuficientes". Se proyecta que las políticas actuales llevarán a un aumento de las emisiones totales en aproximadamente un 15% por encima de los niveles de 2022 para 2030, muy lejos de la reducción necesaria para alinearse con un escenario de calentamiento de 1,5°C.

Esta evaluación se torna aún más relevante al considerar la estrategia energética actual de Argentina, que se centra en la explotación intensiva de gas no convencional en Vaca Muerta y en planes ambiciosos de exportación de GNL. La construcción de infraestructura asociada, como gasoductos y unidades de licuefacción, implica inversiones significativas que, según diversos expertos y organizaciones, son incompatibles con las metas del Acuerdo de París. Las vastas reservas de gas y petróleo en Vaca Muerta representan una considerable cantidad de emisiones de CO₂ atrapadas en el subsuelo, lo que plantea serias dudas sobre la viabilidad de alcanzar el cero neto para 2050 si se explotan plenamente.

Existe una profunda discrepancia entre los compromisos climáticos declarados por Argentina y su trayectoria política y su discurso actual. Esta falta de coherencia crea una "brecha de credibilidad" para el país en el escenario internacional que no solo pone en peligro el cumplimiento de los objetivos climáticos nacionales, sino que también podría aislar a Argentina de los mecanismos de financiación climática y transferencia de tecnología, que son cruciales para una transición sostenible y que el propio país ha reconocido como necesarios para implementar sus medidas a largo plazo. Además, esta postura expone a Argentina a futuros riesgos geopolíticos, como los ajustes de carbono en frontera o una demanda global reducida de combustibles fósiles, lo que podría hacer que la viabilidad económica a largo plazo de las exportaciones de Vaca Muerta sea precaria si la transición energética global se acelera.

Las declaraciones de altos funcionarios del gobierno, incluyendo al presidente, que cuestionan el origen antropogénico del cambio climático y rechazan la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), generan una contradicción adicional que debilita la posición de Argentina en la lucha global contra el cambio climático. El proyecto de presupuesto para 2025, que elimina la financiación de programas de energías renovables y generación distribuida, y la desproporcionada preferencia por proyectos de hidrocarburos en el RIGI, refuerzan la percepción de una priorización de los combustibles fósiles en detrimento de la descarbonización.

El principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas

El Acuerdo de París, en su artículo 2, establece que su aplicación debe reflejar la equidad y el principio de las responsabilidades comunes pero diferenciadas y las capacidades respectivas, a la luz de las diferentes circunstancias nacionales. Este principio, profundamente arraigado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), reconoce que, si bien todos los países comparten la responsabilidad de abordar el cambio climático, sus contribuciones y plazos pueden diferir. Argentina se encuentra dentro del grupo de países denominado por la CMNUCC como "No Anexo I", a diferencia de los países desarrollados (Anexo I).

A los países desarrollados se les atribuye una responsabilidad histórica mayor en la crisis climática, ya que se industrializaron antes y aprovecharon el uso intensivo de combustibles fósiles para su desarrollo económico, emitiendo la mayor cantidad de gases de efecto invernadero (GEI). Esta industrialización temprana les permitió alcanzar mayores capacidades económicas y tecnológicas para mitigar y adaptarse al cambio climático. De ahí surge la necesidad de establecer un criterio de equidad en la acción contra el calentamiento global, considerando las responsabilidades comunes pero diferenciadas y las capacidades respectivas.

El Acuerdo de París tuvo presente que los países en desarrollo, a los que se les reconoce que tienen capacidades económicas y técnicas limitadas para enfrentar el cambio climático, demorarán más en alcanzar los objetivos de reducción de emisiones. Esto podría matizar la urgencia de la transición energética para Argentina, al contemplar un plazo mayor para la descarbonización y la posibilidad de tomar decisiones soberanas al respecto, siempre en línea con el compromiso global.

4.1.6. Interrelación entre seguridad energética, reducción de emisiones y justicia socioambiental

El "Trilema Energético" postula que los gobiernos deben equilibrar tres objetivos estratégicos: garantizar un suministro energético competitivo (seguridad energética), facilitar el acceso universal a la energía (equidad social) y promover la protección ambiental (mitigación del impacto ambiental). En el caso de Argentina, la estrategia energética otorga prioridad al primero de los objetivos, a través de la autosuficiencia de gas y la generación de divisas por exportación, y el beneficio económico a corto plazo. Sin embargo, esta decisión conduce a la degradación de la sostenibilidad ambiental y la equidad social.

El desarrollo intensivo de Vaca Muerta, con sus impactos socioambientales localizados (contaminación, sismicidad, conflictos territoriales, desigualdad social), demuestra que las cargas de la producción energética no se distribuyen equitativamente, afectando desproporcionadamente a comunidades vulnerables. Al mismo tiempo, la expansión de la producción de gas, especialmente la no convencional, con sus emisiones fugitivas de metano, dificulta el cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones y la mitigación del cambio climático.

La persistencia de este desequilibrio en el trilema energético se explica en gran medida por el "bloqueo de carbono" y los elevados subsidios a los combustibles fósiles. Estos factores perpetúan la dependencia de los hidrocarburos, impidiendo una transición más rápida hacia fuentes de energía más limpias. La influencia de grupos de interés poderosos en el sector energético también juega un papel crucial en el mantenimiento del *statu quo*.

El desequilibrio actual en la gestión del trilema energético en Argentina es un reflejo de una falla sistémica en la integración de las consideraciones ambientales y sociales en la planificación energética central. Esto representa una oportunidad perdida para aprovechar el inmenso potencial renovable de Argentina para una transición verdaderamente integral y justa. En su lugar, se perpetúa un modelo que genera pasivos sociales y ambientales internos mientras persigue beneficios económicos externos que podrían ser efímeros. La noción de que necesariamente debe existir un "trade-off" entre los pilares del trilema no es una fatalidad, responde a una elección política, influenciada por actores poderosos, que coloca en primer lugar a la seguridad/economía en detrimento severo de los otros.

Las energías renovables, en contraste, surgen como una solución integradora, ya que su creciente competitividad económica favorece la seguridad energética al reducir la dependencia de combustibles fósiles de precios volátiles. Además, tecnologías como la solar descentralizada pueden llevar energía a zonas remotas, impulsando la equidad social, y al ser bajas en emisiones, contribuyen directamente al cuidado ambiental.

4.2. Discusión de los hallazgos

4.2.1. El gas natural: ¿Puente u obstáculo para la transición energética argentina?

El debate sobre el papel del gas natural en la transición energética argentina es complejo y discutido. Por un lado, se argumenta que el gas puede actuar como un "combustible de transición" o "puente" debido a su abundancia en Vaca Muerta, sus menores emisiones directas de CO₂ en comparación con el carbón y el petróleo, y su potencial para generar divisas y asegurar el autoabastecimiento energético. Esta perspectiva sugiere que el gas puede ser un paso intermedio necesario para descarbonizar la matriz energética, especialmente en un país con una fuerte dependencia de los combustibles fósiles y necesidades de desarrollo económico.

Sin embargo, los hallazgos presentados sugieren que, bajo las políticas y proyecciones actuales, el gas natural se está convirtiendo más en un obstáculo que en un puente para una transición energética genuina y a tiempo. La principal objeción radica en las elevadas emisiones fugitivas de metano a lo largo de su cadena de valor (exploración, producción, procesamiento, transporte y almacenamiento). Estudios internacionales, como los de [Howarth \(2014, 2019\)](#), indican que la huella de gases de efecto invernadero del gas natural, especialmente el no convencional, puede ser mayor que la del carbón o el petróleo si las fugas de metano superan un umbral del 3%, especialmente cuando se considera su Potencial de Calentamiento Global (PCG) en un horizonte de 20 años. Esto invalida su supuesta ventaja climática y lo convierte en un contribuyente significativo al calentamiento global a corto plazo.

Esta dificultad se ve acentuada por el profundo arraigo del gas natural en el entramado productivo y en los hábitos colectivos de la sociedad argentina. La infraestructura existente, las cadenas de suministro consolidadas y la familiaridad de los consumidores con el gas como fuente de energía para calefacción, cocción e industria, crean una inercia significativa. Desarticular esta "dependencia del devenir histórico" y superar las "barreras sociales profundas" del "bloqueo de carbono" requiere no solo cambios tecnológicos y económicos, sino también una transformación de prácticas colectivas y normas culturales arraigadas, lo que impide una transición abrupta y exige una mirada planificadora para evitar un colapso en el suministro y la economía.

Además, las masivas inversiones en infraestructura gasífera y los planes de exportación a largo plazo están acentuando el "bloqueo de carbono". Este fenómeno desvía capital y voluntad política de las energías renovables, haciendo que la descarbonización futura sea más costosa y difícil. La inercia de los sistemas energéticos, sumada a la influencia de grupos de interés poderosos perpetúa la dependencia de los hidrocarburos. El riesgo de que los activos de Vaca Muerta se conviertan en "activos varados" es considerable si la demanda global de combustibles fósiles disminuye más rápidamente de lo previsto debido a la aceleración de la acción climática, como sugieren pronósticos menos optimistas sobre el GNL. En este contexto, el gas natural, en lugar de ser el "puente" que facilite la transición, parece estar asegurando una trayectoria que aleja a Argentina de sus compromisos climáticos y de la urgencia de limitar el calentamiento global a 1,5°C.

4.2.2. Desafíos y oportunidades en el equilibrio del Trilema Energético

La política energética argentina actual exhibe un claro desequilibrio en la gestión del Trilema Energético. La priorización de la seguridad energética, entendida como autoabastecimiento (aunque limitado a una cierta cuota de producción para la demanda local) y capacidad de exportación de gas, y la búsqueda de ganancias económicas a corto plazo, ha llevado a un sacrificio de la sostenibilidad ambiental y la equidad social.

Las secuelas de este desequilibrio impactan en diferentes dimensiones. En el ámbito ambiental, la expansión de la explotación de gas natural no convencional, con sus elevadas emisiones fugitivas de metano y la falta de una regulación estricta, pone en riesgo el cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones de Argentina y contribuye a la exacerbación de los impactos del cambio climático. Desde la perspectiva social, la concentración de los beneficios económicos en unas pocas manos, mientras las comunidades locales en Vaca Muerta sufren la falta de servicios básicos, la contaminación y la disrupción social, evidencia una profunda injusticia socioambiental. Esto crea "zonas de sacrificio" donde las poblaciones más vulnerables asumen las externalidades negativas de la producción de energía para el beneficio de otros. Para la seguridad energética a largo plazo, la dependencia continua de los combustibles fósiles mantiene a Argentina vulnerable a la volatilidad de los precios globales y al riesgo de que sus activos de hidrocarburos pierdan valor en un futuro descarbonizado.

Sin embargo, en este escenario de desafíos, las energías renovables representan una oportunidad significativa para reequilibrar el trilema. Un enfoque más decidido en la energía

solar y eólica no solo permitiría a Argentina reducir drásticamente sus emisiones de GEI y alinearse con sus compromisos climáticos globales, sino que también mejoraría la seguridad energética al disminuir la dependencia de las importaciones y estabilizar los costos de la energía. Además, la promoción de la generación distribuida y la creación de empleos locales en el sector renovable podrían fomentar una mayor equidad social y reducir la pobreza energética. La innovación en tecnologías de almacenamiento y la modernización de la red eléctrica pueden mitigar los desafíos de intermitencia de las renovables, demostrando que el "trade-off" inherente al trilema no es absoluto. De hecho, inversiones estratégicas y una gobernanza sólida pueden lograr un círculo virtuoso de beneficios en las tres dimensiones, avanzando hacia un desarrollo verdaderamente sostenible.

4.2.3. Consecuencias de la política energética actual en los compromisos climáticos y el desarrollo sostenible

La política energética actual de Argentina, con su fuerte énfasis en la expansión del gas natural, evidencia una gran distancia entre la ambición declarada en sus compromisos climáticos internacionales y la realidad de sus acciones. Las evaluaciones independientes, como la del CAT, que califican las políticas argentinas como "críticamente insuficientes" para alcanzar sus propias metas de reducción de emisiones, son una clara señal de esta incoherencia. Esto hace peligrar el cumplimiento de la NDC para 2030, sino que también aleja al país de su aspiración de alcanzar la neutralidad de carbono para 2050.

Las consecuencias de esta política van más allá de los objetivos climáticos porque con sus impactos socioambientales negativos, ponen en riesgo el logro de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, en particular el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y el ODS 13 (Acción por el clima). La persistencia de un modelo extractivo contradice la visión transformadora de la Agenda 2030, que busca poner la dignidad humana y la igualdad en el centro del desarrollo.

El discurso político de alto nivel que cuestiona el origen antropogénico del cambio climático y rechaza los marcos multilaterales como la Agenda 2030, tiene un impacto directo en la implementación de políticas y en la credibilidad internacional de Argentina. Esta postura podría comprometer el acceso del país a mecanismos de financiación climática y transferencia de tecnología, que condicionan la posibilidad de Argentina de implementar sus medidas de mitigación y adaptación a largo plazo.

En última instancia, la dirección actual de la política energética plantea una cuestión fundamental sobre el modelo de desarrollo a largo plazo del país. Si continúa priorizando la expansión de los combustibles fósiles, corre el riesgo de quedar "bloqueado" en una trayectoria de alta emisión, con crecientes costos ambientales y sociales internos, y una vulnerabilidad geopolítica aumentada en un mundo que avanza hacia la descarbonización. Una visión estratégica que integre plenamente los compromisos climáticos con el desarrollo económico y la justicia social es indispensable para asegurar una transición energética justa y sostenible.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta sección resume los hallazgos más destacados, ofreciendo una respuesta concisa al problema de investigación y proponiendo recomendaciones de política pública.

5.1. Conclusiones

5.1.1. El rol ambivalente del gas natural en la transición energética argentina

El gas natural es, y ha sido a lo largo de los últimos 40 años, un pilar dominante en la matriz energética argentina. Sin embargo, su papel como "vector de transición" o "combustible puente" es profundamente ambivalente y problemático, y constituye un argumento falaz en dirección al sostenimiento del statu quo. Aunque ofrece ventajas en términos de abundancia y menores emisiones directas de CO₂ en comparación con otros fósiles, éstas se ven significativamente contrarrestadas por las altas emisiones fugitivas de metano a lo largo de su cadena de valor y por el fuerte efecto de "bloqueo de carbono" que generan las inversiones masivas en su infraestructura. Bajo las políticas actuales y las proyecciones de explotación a gran escala, el desarrollo del gas natural es más probable que obstaculice, en lugar de facilitar, una transición energética genuina, rápida y sostenible, considerando sus emisiones de ciclo de vida completo y la urgencia de la descarbonización a corto plazo, y que, por su participación predominante como vector de la matriz energética de nuestro país durante los últimos años, podría afirmarse que ya formó parte de su transición, (aunque no en la de muchos otros países).

5.1.2. La urgencia de acelerar la transición hacia energías renovables

Argentina posee un potencial inmenso y globalmente competitivo en energías renovables, particularmente solar y eólica. A pesar de su creciente viabilidad económica, con costos nivelados de energía (LCOE) que superan a los de los combustibles fósiles y tiempos de puesta en marcha más cortos, este potencial permanece en gran medida desaprovechado. Acelerar el despliegue de las energías renovables ofrece una solución integral al trilema energético, mejorando simultáneamente la seguridad energética al reducir la dependencia de importaciones, promoviendo la equidad social a través de la generación descentralizada y la creación de empleo local, y reduciendo drásticamente las emisiones para cumplir con los objetivos climáticos.

Nuestro país carece de margen para una transición en base a una "gasificación" simplemente por el hecho de ya haber dado un gran paso en ese sentido. Como ejemplo basta recordar que, el gas representa más de un 75% del combustible utilizado en la generación eléctrica y una porción importante de los usos finales de la energía en numerosos sectores. Sin embargo, otros países cuya matriz energética aún está dominada por carbón o combustibles líquidos podrían ser destino de las exportaciones de gas de Argentina para llevar a cabo una transición energética con menores emisiones en una ventana temporal acotada. Esto traería consigo ventajas localmente como el ingreso de divisas, aumento de fuentes de

trabajo y posibilidad de desarrollo, siempre que se lleve a cabo mediante una gestión ambiental rigurosa y en línea con lo establecido en el apartado 5.2.2.

5.1.3. Desafíos críticos para la sostenibilidad y la justicia socioambiental

El modelo actual de explotación de gas no convencional en Vaca Muerta genera significativas externalidades socioambientales localizadas. Éstas incluyen la contaminación del agua con químicos tóxicos y materiales radiactivos, la acumulación incontrolada de residuos, el aumento de la sismicidad inducida, y la exacerbación de desigualdades sociales y conflictos con comunidades indígenas. Estos impactos representan un fracaso fundamental en la integración de las dimensiones social y ambiental de la sostenibilidad, creando "zonas de sacrificio" y minando los principios del desarrollo sostenible y la transición justa.

5.1.4. Brecha entre compromisos globales y la realidad nacional

Existe una profunda y creciente brecha entre los compromisos climáticos internacionales asumidos por Argentina (NDC, Acuerdo de París, ODS) y la dirección de su política energética interna, que prioriza la expansión de los combustibles fósiles. Esta incoherencia política no sólo pone en riesgo el cumplimiento de las metas climáticas nacionales, sino que también amenaza la credibilidad internacional de Argentina, su acceso a financiamiento climático y su estabilidad económica a largo plazo en un mundo en proceso de descarbonización.

5.2. Recomendaciones

En Argentina, el cambio climático, como se ha expuesto, es considerado parte de una agenda de segundo o tercer orden, desvinculada de las principales prioridades nacionales. A continuación, se sugieren acciones de política pública hacia una transición energética más sostenible y justa que sólo podrán ser consideradas y ejecutadas si se eleva la jerarquía de dicha problemática.

5.2.1. Políticas públicas para una transición energética justa y sostenible

Reorientación de Subsidios

Implementar una reorientación gradual y planificada de los cuantiosos subsidios actualmente destinados a los combustibles fósiles hacia el fomento de las energías renovables, programas de eficiencia energética y el desarrollo de iniciativas de transición justa. Esta medida es fundamental para eliminar las distorsiones de mercado que perpetúan el "bloqueo de carbono" y para alinear las señales económicas con los objetivos ambientales, liberando recursos públicos para inversiones estratégicas en el sector energético sostenible.

Marco Regulatorio para Renovables

Incentivos fiscales y financieros: establecer un marco de incentivos fiscales y financieros a largo plazo (por ejemplo, exenciones impositivas, líneas de crédito a tasas bajas) para la fabricación local de componentes de energías renovables (paneles solares, palas de aerogeneradores). Esto fomentaría el desarrollo de una industria nacional con alto valor agregado, reduciría la dependencia tecnológica y generaría empleo de calidad.

Ampliación y modernización de la red eléctrica: priorizar la inversión pública en la ampliación y modernización de la infraestructura de la red eléctrica, incluyendo líneas de transmisión y redes inteligentes, para facilitar la integración de una mayor proporción de energías renovables intermitentes y mejorar la flexibilidad del sistema.

Fomento del almacenamiento de energía: promover la investigación, el desarrollo y el despliegue de soluciones de almacenamiento de energía (baterías, centrales de bombeo) para abordar los desafíos de intermitencia de las renovables y garantizar la estabilidad del suministro.

Planificación energética integrada: desarrollar un plan energético nacional que integre los objetivos climáticos (NDC, neutralidad de carbono al 2050) con las metas de desarrollo económico y justicia social. Este plan debe priorizar el despliegue de energías renovables sobre la expansión de los combustibles fósiles.

Gestión de la transición gradual y planificada: reconociendo el profundo arraigo del gas natural en la matriz productiva y los hábitos de consumo, es esencial diseñar una hoja de ruta de transición energética que sea gradual y planificada. Esto implica no sólo la diversificación hacia renovables, sino también el desarrollo de programas de eficiencia energética y la promoción de cambios en los patrones de consumo, acompañados de políticas de apoyo social y económico para las comunidades y sectores afectados, evitando así un colapso durante el pasaje de una matriz a otra. El gas, mientras va disminuyendo su incidencia en la matriz energética, podría transitoriamente cumplir el rol de respaldo de las energías renovables hasta que los medios de almacenamiento y otras soluciones tecnológicas permitan su reemplazo.

5.2.2. Medidas para abordar los impactos socioambientales del gas no convencional

Regulación estricta de emisiones de metano: establecer regulaciones inmediatas y estrictas para las emisiones fugitivas de metano en toda la cadena de valor del gas, incluyendo programas obligatorios de detección y reparación de fugas (LDAR, en inglés Leak Detection And Repair). Se podría considerar la implementación de un "impuesto al metano fugitivo" para internalizar los costos ambientales y generar un incentivo para que las empresas inviertan en tecnologías y prácticas de mitigación, haciendo más creíble el papel transitorio del gas.

Fiscalización y remediación ambiental: fortalecer significativamente la fiscalización y el control ambiental en Vaca Muerta, asegurando el cumplimiento total de las normativas de gestión de residuos y exigiendo la remediación integral de los pasivos ambientales existentes.

Protección de acuíferos y monitoreo sísmico: implementar programas robustos de monitoreo de la calidad del agua subterránea y de la sismicidad inducida, con difusión transparente de datos y supervisión independiente. Establecer protocolos claros para la interrupción de operaciones si se superan los umbrales de actividad sísmica o contaminación del agua.

Diálogo y consulta con comunidades indígenas: garantizar el pleno respeto al derecho a la Consulta Previa, Libre e Informada (CPLI, fundado en el artículo 75 inciso 17 de la Constitución Nacional) de las comunidades indígenas afectadas por los proyectos energéticos. Esto implica asegurar su participación efectiva en los procesos de toma de decisiones y abordar sus reclamos históricos y territoriales.

Inversión en infraestructura social local: reasignar una porción significativa de los ingresos generados por la explotación de Vaca Muerta para abordar la injusta falta de servicios básicos (agua potable, gas domiciliario, cloacas, vivienda, educación, salud) en las comunidades afectadas, como Añelo. Esto aseguraría que los beneficios de la extracción de recursos se distribuyan de manera más equitativa y se atiendan las deudas sociales históricas.

5.2.3. Fortalecimiento del compromiso climático internacional

Reafirmación de la Agenda 2030: el gobierno debe reafirmar públicamente su compromiso con la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, alineando el discurso nacional con las obligaciones internacionales.

Revisión y ambición de la NDC: se recomienda revisar la actual Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) para alinearla con una trayectoria de 1.5°C, incorporando metas más ambiciosas de energía renovable y estrategias explícitas y verificables de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y de metano en particular.

Búsqueda activa de financiamiento climático: Argentina debe buscar activamente mecanismos de financiamiento climático internacional y transferencia de tecnología, aprovechando su vasto potencial renovable como un argumento sólido para la inversión externa.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acacio, J. A. (2021). Extractivismo e hidrocarburos no convencionales: el avance del *fracking* en el área natural protegida de Auca Mahuida (Neuquén, Argentina). *Debates en Sociología* N° 53, pp. 77-109. <https://doi.org/10.18800/debatesensociologia.202102.003>
- Acacio, J. A. y Wyczykier, G. (2023). "El gas natural como combustible puente: Vaca Muerta en un escenario de transición energética" *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 33 (1): 218-233. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/232221/CONICET_Digital_Nro.79435f10-3017-4492-a0cc-57ee5a28ca5e_C.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Adeh, E.H.; Good, S.P.; Calaf, M. y Higgins C. W. (2019) Solar PV Power Potential is Greatest Over Croplands. *Scientific Reports* 9, art. 11442. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47803-3>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA] (2011) Draft Plan to Study the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources. https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/HFStudyPlanDraft_SAB_020711.pdf
- AGENDA 2030 (2020) Agenda 2030. Objetivos de Desarrollo Sostenible, Metas e Indicadores. Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales. Presidencia de la Nación. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/objetivos_metas_e_indicadores_nacionales_alt_a_v6.pdf
- Alarcón, M., Fernández M. y Moroni M. (s.f) La actividad petrolera en Argentina. Instituto Geográfico Nacional. www.ign.gob.ar/odc-13-alarcon
- Álvarez Mullally, M. (2023). Brotes Negros: diez meses de derrame en la zona frutícola de Río Negro. Observatorio Petrolero Sur. <https://opsur.org.ar/2023/08/31/brotes-negros-diez-meses-de-derrame-en-la-zona-fruticola-de-rio-negro/>
- Álvarez Pelegrí, E. y Suárez Díez, C. (2016). *Gas no convencional: shale gas. Aspectos estratégicos, técnicos, medioambientales y regulatorios*. Orkestra Instituto Vasco de Competitividad. Marcial Pons. <https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/libros/libros-capitulos-libro/Gas-no-convencional-shale-gas.pdf>
- American Wind Wildlife Institute [AWWI]. (2016). Wind turbine interactions with wildlife and their habitats: a summary of research results and priority questions. <https://awwi.org/resources/summary-of-wind-wildlife-interactions-2/>
- Aneise, A. J., Möhle, E. y Schteingart, D. (2024). Transición energética. Argendata. Fundar. <https://argendata.fund.ar/topico/transicion-energetica/>
- Aneise, A. J., Möhle, E., Schteingart, D y Risaro, D. B. (2024). Cambio climático. Argendata. Fundar. <https://argendata.fund.ar/topico/cambio-climatico/>
- Arceo, N., Bersten, L., y Wainer, A. (2022). La evolución del sector de hidrocarburos. *Potencialidades de la matriz energética argentina*. Buenos Aires: Fundar. <https://www.fund.ar/wp-content/uploads/2022/04/La-evolucion-del-sector-hidrocarburos-Fundar.pdf>
- Armstrong, A., Waldron, S., Whitaker, J. y Ostle, N. J. (2013) Wind farm and solar park effects on plant–soil carbon cycling: uncertain impacts of changes in ground-level microclimate. *Global Change Biology* (20)6. <https://doi.org/10.1111/gcb.12437>
- Arriola, A. (2019) Matriz energética nacional y participación de energías renovables. [Tesina de grado].

- Artaraz Miñón, M. (2002). Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Ecosistemas* 2002 (11)2. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/9827/1/ECO_11%282%29_22.pdf
- Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente [AIDA]. (2019). Prohibiciones y moratorias al fracking: legislación comparada. <https://app.box.com/s/hqt8prv0ru3nmaiuvfyt130yejlc8vvyf>
- Avramow, M. (2024) ¿Puede Argentina cumplir con sus planes climáticos bajo el gobierno de Milei? Dialogue Earth. <https://dialogue.earth/es/clima/puede-argentina-cumplir-con-sus-planes-climaticos-bajo-el-gobierno-de-milei/>
- Bernhardt, C. Domínguez, F., Fasola M., Ponce, C., Sagasti G. y Utgé, S. (2022, del 8 al 11 de noviembre). Caracterización integral a escala de cuenca de la formación Vaca Muerta como reservorio no convencional. *11º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*, Mendoza, Argentina. <https://www.iapg.org.ar/conexplo/PENDRIVE/contents/sesiones-generales/exploracion-sistemas/explora02.html>
- Bertinat, P., D'Elia, E., Observatorio Petrolero Sur, Ochandio, R., Svampa, M., Viale, E. (2014). 20 mitos y realidades del fracking. Buenos Aires: El Colectivo. (Chico Mendes). En Memoria Académica. <https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/libros/pm.5136/pm.5136.pdf>
- BID Invest y CFI. (2019). *Guía de Buenas Prácticas para el Desarrollo Eólico en Argentina: Gestión de Impactos en Aves y Murciélagos*. <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/mgrt/guia-buenas-practicas-energia-eolica-y-biodiversidad-final-web.pdf>
- Blanco Santos, M., Lago, C., Herrera, I. y Lechon, Y. (2018). *Fractura hidráulica (Fracking): conocimiento actual de emisiones y sus implicaciones ambientales. Retos futuros*. Editorial Ciemat. https://www.researchgate.net/publication/329775118_Fractura_hidraulica_Fracking_conocimiento_actual_de_emisiones_y_sus_implicaciones_ambientales_Retos_futuros
- Bohoslavsky, J. P. y Cantamutto, F. (2024) Deuda pública y desarrollo (no) sustentable en Argentina. Una visión crítica sobre la especialización productiva. *FACES. Revista Iberoamericana de Ciencias Económicas y Sociales*. Universidad Nacional de Mar del Plata, 30(62), <http://portal.amelica.org/ameli/journal/616/6164904006/>
- Bond, K., Vaughan, E. y Benham, H. (2020) Decline and Fall: The Size & Vulnerability of the Fossil Fuel System. Carbon Tracker. <https://carbontracker.org/reports/decline-and-fall/>
- Broderick, J., Anderson, K., Wood, R., Gilbert, P., Sharmina, M., Footitt, A., Glynn, S., Nicholls, F. (2011) Shale gas: an updated assessment of environmental and climate change impacts. Tyndall Centre, University of Manchester. <https://statics.3cat.cat/multimedia/pdf/1/0/1359364607701.pdf>
- Bošnjakovic, M.; Santa, R., Crnac, Z.; Bošnjakovic, T. (2023) Environmental Impact of PV Power Systems. *Sustainability*, (15)11888. <https://pdfs.semanticscholar.org/eb79/5db5882144dd295fddee523439fdea25a6ff.pdf>
- Cabrera Christiansen, F. y Rocha Varsanyi, A. D. (2024) Megaproyecto Vaca Muerta: más allá de la noción de impacto (o sobre cómo analizar la degradación socioambiental que genera). Departamento de Historia, Facultad de Humanidades. Universidad Nacional del Comahue. *Revista de Historia*, (25), pp. 192-217. <https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/historia/article/download/5822/62653/70669>

- Camacho Parejo, M. (2013) El trilema energético. Publicación - Separata del n.º 38 de Cuadernos de Energía, Comité Español del Consejo Mundial de la Energía. <https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Trilema-Energ%C3%A9tico-2012-Espanol.pdf>
- Cámara Eólica Argentina [CEA] (2025). El sector renovable durante 2024. <https://ceaenergiasrenovables.com.ar/el-sector-renovable-durante-2024/>
- Camiña, A. (2012). Bat fatalities at wind farms in northern Spain – lessons to be learned. Acta Chiropterologica 14:205-212. https://www.researchgate.net/publication/269778268_Bat_Fatalities_at_Wind_Farms_in_Northern_Spain_-_Lessons_to_be_Learned
- CAMMESA. (2023) Mercado Eléctrico Mayorista. Informe Anual 2022. CAMMESA. <https://cammesaweb.cammesa.com/informe-anual/>
- CAMMESA. (2024) Mercado Eléctrico Mayorista. Informe Anual 2023. CAMMESA. <https://microfe.cammesa.com/static-content/CammesaWeb/download-manager-files/Informe%20Anual/2024/Informe%20Anual%202023.pdf>
- CAMMESA. (2025) Estadísticas anuales 2005-2024 <https://cammesaweb.cammesa.com/?wpdmdl=49650>
- CEPAL (s.f) Acerca de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. <https://agenda2030lac.org/es/acerca-de-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible>
- CEPAL (2024). Pobreza energética en la Argentina: propuestas conceptuales y metodológicas para su diagnóstico. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/68945-pobreza-energetica-la-argentina-propuestas-conceptuales-metodologicas-su>
- Clarín (2024). Vaca Muerta: La fiebre del “suelo petrolero” y el impactante dato sobre la cantidad de gente que se muda por semana. <https://www.runrunenergetico.com/vaca-muerta-la-fiebre-del-suelo-petrolero-y-el-impactante-dato-sobre-la-cantidad-de-gente-que-se-muda-por-semana/>
- Clementi, L., Decunto, E. y Nogar, A. (2021). Argentina en contexto de crisis y transición energética. Revista Universitaria de Geografía, 30 (1), 107-131. DOI: <https://doi.org/10.52292/j.ruq.2021.30.1.0018>
- Climate Action Tracker (2025) <https://climateactiontracker.org/countries/argentina/>
- Climate and Clean Air Coalition [CCAC]. (s.f) Metano. El segundo mayor contribuyente del mundo al calentamiento global después del dióxido de carbono y un ingrediente clave en la contaminación por ozono troposférico. <https://www.ccacoalition.org/es/short-lived-climate-pollutants/methane>
- CMNUCC. (sf) The Paris Agreement. What is the Paris Agreement? <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- Comisión Nacional de Energía [CNE]. (2024). Informe de costos de tecnologías de generación y almacenamiento. Chile. <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2024/06/ICTG-Mayo-2024.pdf>
- Compendio (2019) Compendio de hallazgos científicos, médicos y de medios de comunicación que demuestran los riesgos y daños del fracking (extracción no convencional de gas y petróleo). Health Professionals of New York y Physicians for Social Responsibility. https://mx.boell.org/sites/default/files/2019-11/Fracking_libro_2019.pdf
- Craig, J. R., Vaughan, D. J. y Skinner, B. J. (2012) Recursos de la Tierra y el medio ambiente (Calvo Pérez, B., Trad.; 4º ed.). Pearson Educación

- Cunningham, N. (2019) While Talking up Climate Action, Oil Majors Eye Argentina's Shale Reserves. DeSmog. <https://www.desmog.com/2019/12/19/climate-action-oil-majors-argentina-vaca-muerta-shale/>
- Curi Chacón, M. (2020) Dimensiones del Desarrollo Sostenible en América Latina. Fundación Futuro Latinoamericano. <https://www.ffla.net/wp-content/uploads/2021/03/dimensiones-del-desarrollo-sostenibleen-america-latina.pdf>
- D'Angelo, G. y Calzada, J. (2024) La balanza energética marcó su mayor superávit en más de 22 años. Año XLII - Edición N° 2156. Bolsa de Comercio de Rosario. <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/la-balanza#:~:text=La%20balanza%20energ%C3%A9tica%20marc%C3%B3%20su%20mayor%20super%C3%A1vit%20en%20m%C3%A1s%20de%2022%20a%C3%B1os,-Descargar&text=Mientras%20las%20exportaciones%20crecieron%2029,de%2020%20y%2016%20a%C3%B1os.>
- Das, J., Ur Rehman, A., Verma, R., Gulen, G., y Young, M. H. (2024). Comparative Life-Cycle Assessment of Electricity-Generation Technologies: West Texas Case Study. *Energies*, 17(5), 992. <https://doi.org/10.3390/en17050992>
- Del Carril, S. (2025) RIGI & escenarios globales. Informe al 24 de febrero de 2025. Universidad Austral. https://www.austral.edu.ar/wp-content/uploads/2025/02/VF-RIGI-Escenarios-Globales-FEB-25_VF.pdf#page=3.00
- Delfino, E. (2023) Mientras continúa temblando, Sauzal Bonito espera que la Corte Suprema ordene frenar los efectos del fracking. Diario AR https://www.eldiarioar.com/sociedad/medio-ambiente/continua-temblando-sauzal-bonito-espera-corte-suprema-ordene-frenar-efectos-fracking_1_10243832.html
- Delfino, E. (2024) Acusan a los responsables del basurero petrolero de Vaca Muerta. Diario AR. <https://opsur.org.ar/2024/02/16/acusan-a-los-responsables-del-basurero-petrolero-de-vaca-muerta/>
- Deloitte (2023a). Actualización de la Hoja de ruta de Transición Energética en Argentina. Un modelo energético sostenible para Argentina al 2050. <https://www.enel.com.ar/content/dam/enel-ar/Actualizaci%C3%B3n%20de%20la%20Hoja%20de%20ruta%20de%20Transici%C3%B3n%20Energ%C3%A9tica%20en%20Argentina.pdf>
- Deloitte (2023b). Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España 2022. https://www.appa.es/wp-content/uploads/2023/11/Estudio_Impacto_Macroeconomico_Renovables_2022.pdf
- Deloitte (2024) Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España 2023. <https://www.appa.es/wp-content/uploads/2024/11/Estudio-del-Impacto-Macroeconomico-de-las-Energias-Renovables-2023.pdf>
- den Elzen, M. G. J., Dafnomilis, I., Forsell, N., Fragkos, P., Fragkiadakis, K., Höhne, N., Kuramochi, T., Nascimento, L., Roelfsema, M., van Soest, H. y Sperling, F. (2022) Updated nationally determined contributions collectively raise ambition levels but need strengthening further to keep Paris goals within reach. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 27, 33 (2022). <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11027-022-10008-7.pdf>

- Devalis, C. (2018) Regulación de las energías renovables en la Argentina. Revista de la Facultad. Universidad Nacional de Córdoba. IX(1) Nueva Serie II. pp 201-2018. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/refade/article/download/24420/23720/70961>
- Del Palacio, Y. (2025) Fracking sin límites: proyectan perforar en los lagos Mari Menuco y Los Barreales. Observatorio Petrolero Sur. <https://opsur.org.ar/2025/04/07/fracking-sin-limites-proyectan-perforar-en-los-lagos-mari-menuco-y-los-barreales/>
- Diamante, S. (2023) Energía eólica: el experto que explica cómo la Argentina puede tener un parque 100% renovable. La Nación. <https://www.lanacion.com.ar/economia/energia-eolica-el-experto-que-explica-como-la-argentina-puede-tener-un-parque-100-renovable-nid21092023/>
- Earth Works (2014). Hydraulic fracturing 101. <https://earthworks.org/issues/hydraulic-fracturing-101/#.Uf5bP-Dnvap>
- Emmott, C. J. M.; Röhr, J. A.; Campoy-Quiles, M.; Kirchartz, T.; Urbina, A.; Ekins-Daukesa, N. J. y Nelsonab, J. (2015) Organic photovoltaic greenhouses: a unique application for semi-transparent PV? Energy & Environmental Science. <https://doi.org/10.1039/C4EE03132F>
- ENARGAS (2023) Informe Anual 2023. Ente Nacional Regulador del Gas. <https://www.enargas.gov.ar/secciones/publicaciones/informes-anuales-de-balance-y-gestion/pdf/anuales/2023/informe-anual-2023.pdf>
- ENERGIA ON LINE (2025). Horacio Marín afirmó que YPF puede “ayudar a que la Argentina sea otro país”. Energía On Line. <https://energiaonline.com.ar/horacio-marin-afirmo-que-ypf-puede-ayudar-a-que-la-argentina-sea-otro-pais/>
- FARN. (2014) Estudio exploratorio sobre petróleo y gas no convencional en latinoamérica: caso argentino. Fundación Ambiente y Recursos Naturales y Fundación Heinrich BoellStiftung. <https://cdi.mecon.gob.ar/bases/docelec/az2783.pdf>
- FARN. (2025) Mitigación de emisiones de metano desde el sector energético en Argentina. FARN. <https://farn.org.ar/documentos/mitigacion-metano-sector-energetico-argentina/#:~:text=Subsecretar%C3%ADa%20de%20Ambiente%20de%20la,con%20los%20niveles%20de%202020>
- Féliz, M. (2024) La Argentina estancada. Dependencia, crisis transicional y fragmentación social. En Gloria Chicote y Antonio Camou (coords.) *Gran La Plata: heterogeneidad social, conflictos sociopolíticos y políticas públicas en territorio bonaerense* (pp. 27-45). CLACSO. <https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/libros/pm.6783/pm.6783.pdf>
- Fernández, S. (2022) Vaca Muerta. Añelo, una desigualdad no convencional. La Izquierda Diario. https://www.laizquierdadiario.com/Añelo-una-desigualdad-no-convencional?gad_source=1&gad_campaignid=12777004057&gbraid=0AAAAADGc_A-xGAus93UsTRWKnJ9GgHpBg&qclid=Cj0KCQjw5ubABhDIARIsAHMighalCn-VxBRuTfclwySt0eYJd2izCQ9ijjPbnwAiBuQvhtPC46GaU00aAsrMEALw_wcB
- Forni, L., Mautner, M., Lavado, A., Fitzpatrick Burke, K. y Díaz Gómez, R. (2021). Implicaciones de la producción de shale oil & gas en las áreas de las cuencas hidrográficas de Vaca Muerta, Argentina. SEI, Stockholm Environment Institute. <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2021/05/210504a-yehle-ortiz-vaca-muerta-spanish-2105a10248.pdf>
- Forni, L., Díaz Gómez, R., Mautner, M., Gonzalez, A., Roca, J. C., Davies, C., Orrego, L. y Frabotta, A. (2024) Balancing energy security and a healthy environment. Policy recommendations for Vaca

- Muerta's hydrocarbon development. SEI Stockholm Environment Institute. <https://www.sei.org/publications/energy-environment-vaca-muerta-fracking/>
- FORO NUCLEAR (s.f). ¿Qué es la energía? <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-la-energia/>
- Forster, P.; Storelvmo, T.; Armour, K.; Collins, W.; Dufresne, J.-L.; Frame, D.; Lunt, D.J.; Mauritsen, T.; Palmer, M.D.; Watanabe, M.; Wild, M. y Zhang, H. (2021). The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 923–1054, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter07.pdf
- Frac Focus (s.f) What is fracturing fluid made of? <https://fracfocus.org/learn/what-is-fracturing-fluid-made-of>
- Furlán, A. (2017). La transición energética en la matriz eléctrica argentina (1950-2014). *Revista Universitaria de Geografía*, 26 (1), 97-133. Universidad Nacional del Sur. https://www.redalyc.org/pdf/3832/Resumenes/Resumen_383252125006_1.pdf
- Fundación Cauce (2022) Arenas para el fracking. La extracción del “nuevo oro” en Entre Ríos. <https://cauceecologico.org/wp-content/uploads/2022/09/ARENAS-FINAL.pdf>
- Gálvez, A. A. (2019) Las potencias europeas promueven el fracking fuera mientras lo prohíben dentro de sus fronteras. Observatorio Petrolero Sur. <https://opsur.org.ar/2019/09/27/las-potencias-europeas-promueven-el-fracking-fuera-mientras-lo-prohiben-dentro-de-sus-fronteras/#:~:text=casi%20toda%20Europa,-En%202011%2C%20Francia%20fue%20el%20primer%20pa%C3%ADs%20del%20mundo%20en,pon%C3%ADn%20muy%20dif%C3%ADcil%20al%20fracking.>
- GHG Protocol. (2024). IPCC Global Warming Potential Values. Green House Gas Protocol <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf>
- Glezer, L. (2023). El lado B de Vaca Muerta: conflictos sindicales, atraso social y falta de infraestructura crítica. LaPolíticaOnline. <https://www.lapoliticaonline.com/energia/lado-b-de-vaca-muerta/#:~:text=El%20lado%20B%20de%20Vaca%20Muerta:%20conflictos,de%20infraestructura%20cr%C3%ADtica%20%2D%20La%20Pol%C3%ADtica%20Online.&text=%22La%20situaci%C3%B3n%20de%20A%C3%B1elo%20est%C3%A1%20a%20punto,9.000%20habitantes%20en%20los%20%C3%BAltimos%20cinco%20a%C3%B1os.>
- González, D. (2024) La subsecretaría de Energía informó que “las emisiones del sector representan el 50% de gases de efecto invernadero”. Parlamentario. <https://www.parlamentario.com/tag/plenario-de-comisiones/>
- Gould, T. y McGlade, C. (2017) The environmental case for natural gas. IEA. <https://www.iea.org/commentaries/the-environmental-case-for-natural-gas>
- Grosso Heredia, J., Di Ferdinando, M. y Observatorio Petrolero Sur. (2024). Atlas ambiental de Vaca Muerta. Cartografías de lo oculto. Observatorio Petrolero Sur. <https://opsur.org.ar/wp-content/uploads/2024/07/ATLAS-AMBIENTAL-Vaca-Muerta.-OPSur-1.pdf>

- Grossi Gallegos, H. y Righini, R. (2007). Atlas de Energía Solar de la República Argentina. https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/images/b/b6/Atlas_de_energ%C3%ADa_solar_de_la_Rep%C3%BAblica_Argentina_-_Grossi_Gallegos_%26_Righini.pdf
- Grosso Heredia, J., Di Ferdinando, Tamburini, M. y Beliveau, G. (2024) Como si un gigante hubiese metido un pisotón. En A. Nápoli y P. Marchegiani (Ed.), *Informe Ambiental 2024. Contra la corriente. Perspectivas para garantizar el derecho al ambiente sano* (pp. 126-130) FARN. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2024/05/IAF_2024_COMPLETO_digital_v2.pdf#page=112.99
- Gutiérrez, J. (s.f) Desarrollo sostenible. Diccionario de Acción Humanitaria y Cooperación al Desarrollo. Universidad del País Vasco. <https://www.dicc.hegoa.ehu.eus/listar/mostrar/69.html>
- Gutiérrez Cabello, A. (2024). Impacto Económico de las exportaciones de gas y petróleo en Argentina. Documentos de Economía Regional y Sectorial. Escuela de Economía y Negocios. UNSAM. Número 82. https://unsam.edu.ar/escuelas/eeyn/economia_regional/Impacto-Exportaciones-de-Gas-y-Petroleo-Version-Final.pdf
- Hevia, L. (2024, 14 de noviembre) Neuquén: Rolando Figueroa hizo lugar al pedido de las petroleras y eliminó la obligatoriedad del uso de las polémicas mantas oleofílicas. Econojournal. <https://econojournal.com.ar/2024/11/neuquen-rolando-figueroa-petroleras-y-elimino-uso-polemicas-mantas-oleofilicas/>
- Himitian, E. (2020) Vaca Muerta. Denuncian a una empresa y a Neuquén por desechos petroleros sin tratar. *La Nación*. <https://www.lanacion.com.ar/sociedad/vaca-muerta-denuncian-empresa-neuquen-desechos-petroleros-nid2544436/>
- Howarth, R. (2014). A bridge to nowhere: methane emissions and the greenhouse gas footprint of natural gas. *Energy Science & Engineering*. 2(2) pp 47–60. <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ese3.35>
- Howarth, R. (2019) Is Shale Gas a Major Driver of Recent Increase in Global Atmospheric Methane? *Biogeosciences Discuss* (16)3033-3046. <https://bg.copernicus.org/articles/16/3033/2019/bg-16-3033-2019.pdf>
- Howarth, R. (2024) The greenhouse gas footprint of liquefied natural gas (LNG) exported from the United States. *Energy Science & Engineering*. (12) 11 4843–4859. Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons Ltd. <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ese3.1934>
- IEA (2024) World Energy Outlook 2024. International Energy Agency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/140a0470-5b90-4922-a0e9-838b3ac6918c/WorldEnergyOutlook2024.pdf>
- IEA (2025). Global Methane Tracker 2025. International Energy Agency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/2c0cf2d5-3910-46bc-a271-1367edfed212/GlobalMethaneTracker2025.pdf>
- IEA WIND. (2022a). Report 2022 Denmark. https://iea-wind.org/wp-content/uploads/2023/10/Denmark_2022-1.pdf
- IEA WIND. (2022b). Report 2022 Germany. https://iea-wind.org/wp-content/uploads/2023/10/Germany_2022.pdf
- IEA WIND. (2022c). Report 2022 Spain. https://iea-wind.org/wp-content/uploads/2023/12/Spain_2022-1.pdf

- IEEFA. (2024). Global LNG Outlook 2024-2028. <https://ieefa.org/resources/global-lng-outlook-2024-2028#:~:text=Global%20LNG%20Demand-Global%20LNG%20Supply,fundamentals%20for%20global%20LNG%20suppliers.>
- IFC. (2015). Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la energía eólica. Grupo Banco Mundial. <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2010/2015-wind-energy-ehs-guidelines-es.pdf>
- Infocampo (2025). El “lado B” de Vaca Muerta: la expansión del fracking achica las hectáreas frutícolas en el Alto Valle. <https://www.infocampo.com.ar/el-lado-b-de-vaca-muerta-la-expansion-del-fracking-achica-las-hectareas-agricolas-en-el-alto-valle/>
- Institute for Sustainable Development and International Relations [IDDRI] (2020) Rutas de Descarbonización Profunda en América Latina y el Caribe. https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Catalogue%20iddri/Rapport/DDPLAC-dec%202020_1.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2007) IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/faq-1-3.html
- IPCC. (2018). Anexo I: Glosario. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza. https://library.wmo.int/viewer/33445/download?file=2018_ipcc_global-warming-1.5-glossary_es.pdf&type=pdf&navigator=1
- IPCC. (2023). 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 <https://doi/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- International Renewable Energy Agency [IRENA]. (2023). Costos de generación de energía renovable en 2022, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dabi. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Aug/IRENA_Renewable_power_generation_costs_in_2022_Summary_ES.pdf
- IRENA. (2024). *Renewable power generation costs in 2023*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Sep/IRENA_Renewable_power_generation_costs_in_2023.pdf
- Irigaray, D. (2025). ¿YPF, la peor de todas? Vaca Muerta News. <https://vacamuertanews.com/opinion/ypf-la-peor-de-todas.htm>
- Jakob, M. y Steckel, J. Ch. (2016). The Just Energy Transition [Works-in-Progress]. WWF International. https://wwwfit.awsassets.panda.org/downloads/jakobsteckel_2016_jet.pdf
- Jefatura de Gabinete de Ministros [JGM] (2025) Plan Nacional de Inversiones Públicas 2025-2027. Dirección Nacional de Inversión Pública. Jefatura de Gabinete. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/pnip_2025-2027.pdf
- Kazimierski, M. y Argento, M. (2021). Más allá del petróleo. En el umbral de la acumulación por desfosilización. *Relaciones Internacionales*, 30(61), 142, <https://doi.org/10.24215/23142766e142>

- Keesler, D. y Blanco, G. (2024) Costos económicos de la transición energética en la Argentina. Centro de Tecnologías Ambientales y Energía. Facultad de Ingeniería. UNICEN. <https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2025/03/Costos-economicos-de-la-transicion-energetica-en-la-Argentina.pdf>
- KPMG (2021) Energías Renovables en Argentina. Desafíos y Oportunidades en el contexto de la transición energética global. <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/ar/pdf/2021/energias-renovables-en-argentina.pdf>
- Laguzzi, V. y Mercure, C. (2025) Energías renovables en la Argentina: ¿los instrumentos de financiamiento actuales impulsan la transición energética? Un análisis del estado de implementación del FODER, FODIS y PERMER. Buenos Aires: Fundación Ambiente y Recursos Naturales. <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2025/02/Energias-renovables-en-Argentina-instrumento-de-financiamiento-actuales-analisis-FODER-FODIS-y-PERMER.pdf>
- La Nación (2023) Milei enciende polémica de armas y medioambiente en el último debate presidencial en Argentina. <https://www.lanacion.com.ar/agencias/milei-enciende-polemica-de-armas-y-medioambiente-en-el-ultimo-debate-presidencial-en-argentina-nid09102023/>
- Loncopan Berti, L. (2024a) Vaca Muerta, la región con más mujeres sin trabajo que sufren violencia de género. Diario Río Negro. <https://www.rionegro.com.ar/politica/vaca-muerta-la-region-con-mas-mujeres-sin-trabajo-que-sufren-violencia-de-genero-3636907/>
- Loncopan Berti, L. (2024b) 8M con malos indicadores: las mujeres en Neuquén tienen la mayor dependencia económica del país. Diario Río Negro. <https://www.rionegro.com.ar/sociedad/8m-con-malos-indicadores-las-mujeres-en-neuquen-tienen-la-mayor-dependencia-economica-del-pais-3452056/>
- López Anadón, E. (2015) El abecé de los hidrocarburos en reservorios no convencionales. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas. http://www.shaleenargentina.com.ar/multimedia/noticias/archivos/201710/archivo_20171004010910_6818.pdf?fbclid=IwZXh0bqNhZW0CMATAAR3kl7xGAXhCzQpSkT7IRnUqJfupX97q6DTUdYyOOI0behgmPlsVureaPHk_aem_XioVLjKzJtOszsK3b_knRw
- López San Miguel, M. (2024) Milei declara la guerra a la Agenda 2030 y aísla a Argentina en la ONU. elDiario.es https://www.eldiario.es/internacional/javier-milei-agenda-2030-argentina-onu_1_11681681.html
- Loss, S. R.; Will, T. y Marra, P. P. (2013). Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. Biological Conservation 168:201-209. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.10.007>
- Mariñelarena, R. (2018) "Caracterización de la formación Vaca Muerta como reservorio no convencional en el área Loma Jarillosa este. Enfoque petrofísico." Tesina de posgrado. Universidad Nacional de La Plata. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/67830>
- Márquez Ortiz, L. E.; Cuétara Sánchez, L. M.; Cartay Angulo, R. C. y Labarca Ferrer, N. J. (2020) Desarrollo y crecimiento económico: Análisis teórico desde un enfoque cuantitativo. Revista de Ciencias Sociales (Ve), vol. XXVI, núm. 1, pp. 233-253, Universidad del Zulia. <https://www.redalyc.org/journal/280/28063104020/html/>
- MAS ENERGIA (2025) ¿Cómo queda el proyecto GNL sin la planta onshore en Río Negro? La Mañana de Neuquén. <https://mase.lmneuquen.com/gas/como-queda-el-proyecto-gnl-la-planta-onshore-rio-negro-n1188020>

- McKenzie, L., Witter, R., Newman, L. y Adgate, J. (2011). Human health risk assessment of air emissions from development of unconventional natural gas resources. *Science of the total environment* (424), pp 79-87 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969712001933>
- Meadows, S. (2023). Vaca Muerta was the future': Argentina goes all in on fracking. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/global-development/2023/oct/18/vaca-muerta-oil-shale-argentina-goes-all-in-on-fracking>
- Ministerio de Economía [MECON]. (2022). Impacto de la guerra en Ucrania en Argentina. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2023/02/informe_impacto_guerra_en_argentina_v2-uga-2022-11-11.docx_2.pdf
- MECON (2023). Informes de cadena de valor. Energías renovables y alternativas (Año 8, N°70) https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sectorial_energias_alternativas_web.pdf
- Mesa-Calle, J., Villa-Acevedo, W. y M. López-Lezama, J. (2023) Impacto de las fuentes de energía renovable en la estabilidad de la tensión y técnicas de evaluación. *Revista UIS Ingenierías* (22)3. pp 151-166. Universidad Industrial de Santander. <https://www.redalyc.org/journal/5537/553776106011/553776106011.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MAYDS], (2020) Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional de la República Argentina. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/segunda_contribucion_nacional_final_ok.pdf
- MAYDS. (2021) Actualización de la meta de emisiones netas de Argentina al 2030. <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-05/Actualizacio%CC%81n%20meta%20de%20emisiones%202030.pdf>
- MAYDS (2022) Estrategia de desarrollo resiliente con bajas emisiones a largo plazo a 2050. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/estrategia_de_desarrollo_resiliente_con_bajas_emisiones_a_largo_plazo_2050.pdf
- Navazo, C. (2024). Cuántos dólares recibió Vaca Muerta en la última década. Más Energía. La Mañana de Neuquén. <https://mase.lmneuquen.com/vaca-muerta/cuantos-dolares-recibio-vaca-muerta-la-ultima-decada-n1149609>
- Nobe (2024) Agrovoltáica: Simbiosis entre Agricultura y Energía Fotovoltaica. <https://nobe.es/agrovoltica-simbiosis-entre-la-agricultura-y-la-energia-fotovoltaica/>
- Novas, M. (2022) El impacto ambiental oculto del fracking: la minería de arena de Entre Ríos. Noticias UNSAM. Universidad Nacional de San Martín. <https://noticias.unsam.edu.ar/2022/11/28/el-impacto-ambiental-oculto-del-fracking-la-mineria-de-arena-de-entre-rios/#:~:text=el%20ritmo%20y%20la%20escala,del%20suelo%20y%20la%20contaminaci%c3%b3n>
- Núñez, J. (2021) Darle vida a Vaca Muerta. Políticas de promoción hidrocarburífera y sus resultados sobre la producción de hidrocarburos no convencionales (2012-2019). *H-industri@* 29, (101-119). https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/157332/CONICET_Digital_Nro.605345b5-d073-4791-b7c0-20a45d32e354_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Observatorio de Sismicidad Inducida. (2022). La situación sísmica en Sauzal Bonito. Folleto divulgativo. <https://sismicidadinducida.ar/bibliografia>

- OIL CHANGE (2017) Upcoming G20 Summit in Buenos Aires and Argentina's Energy Future. <https://oilchange.org/blogs/upcoming-g20-summit-in-buenos-aires-and-argentinas-energy-future/>
- ONU (2018). Observaciones finales sobre el cuarto informe periódico de la Argentina. Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de la ONU. <https://docstore.ohchr.org/SelfServices/FilesHandler.ashx?enc=gLqjw1hsm1lbW7LQM8ZUskXdZQ6uIOvtXhD5ScZ%2BViPRMTfdTGTG8MY4FIRhSloaf4UT9ojdowH7QuGITCbsbQ%3D%3D>
- OPSUR (2021). La basura del fracking en Vaca Muerta. <https://opsur.org.ar/2021/06/09/informe-la-basura-del-fracking-en-vaca-muerta/>
- Organización Latinoamericana de Energía [OLADE], (2023) Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2023 <https://www.olade.org/wp-content/uploads/2023/12/PANORAMA-2023.pdf>
- Ortiz, C. y Zabaloy, M. (2022). El gas no convencional de Vaca Muerta como recurso estratégico para la Argentina: evolución y tendencias. *Ejes*, 11 (6), 530-560. <http://doi.org/10.33255/25914669/61035>
- Ortiz, I. (2025). El gobierno autoriza por primera vez una exportación en firme de gas por 30 años para abastecer una terminal de GNL. *Econojournal*. <https://econojournal.com.ar/2025/04/gobierno-autoriza-la-primera-exportacion-en-firme-de-gas-por-30-anos-gnl/>
- Palmer, R. y Petracci, P. F. (2017) Interacciones entre la Fauna Silvestre y la Energía Eólica en Argentina: Conocimiento Científico y Prioridades para el Futuro. Western Ecosystems Technology, Inc. (WEST) y Gekko, Grupo de Estudios en Conservación y Manejo de la Universidad Nacional del Sur. https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Petracci/publication/318808945_Interacciones_entre_la_Fauna_Silvestre_y_la_Energia_Eolica_en_Argentina_Conocimiento_Cientifico_y_Prioridades_para_el_Futuro/links/597fd58c0f7e9b8802ed244b/Interacciones-entre-la-Fauna-Silvestre-y-la-Energia-Eolica-en-Argentina-Conocimiento-Cientifico-y-Prioridades-para-el-Futuro.pdf?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19
- Pazos, P. (2016). Vaca Muerta y algo más. Reservorios no convencionales de petróleo. *Ciencia Hoy*, 25 (147), 37-42. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/97643/CONICET_Digital_Nro.23559503-b42d-4084-bb62-ef3b3ec52872_A.pdf?sequence=2
- Pearson, P. (2018) Past, present and prospective energy transitions: an invitation to historians. Centre for Environmental Policy, Imperial College London. https://energyhistory.eu/sites/default/files/pdf/07_%20Past%2C%20present%20and%20prospective%20energy%20transitions%20an%20invitation%20to%20historians.pdf#page=8.40
- Portillo, F., Alcayde, A., Garcia, R.M., Fernandez-Ros, M., Gazquez, J.A. y Novas, N. (2024) Life Cycle Assessment in Renewable Energy: Solar and Wind Perspectives. *Environments*, (11)147. <https://doi.org/10.3390/environments11070147>
- Power China (s.f) Proyectos. <https://www.powerchina.com.ar/cauchari.html>
- Ramírez-Padilla, C., Turon, A., Retamal, C., Alcaraz, O. y Sureda, B. (2024) Achieving the 1.5 °C goal with equitable mitigation in Latin American countries. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 29, 5 (2024). <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11027-023-10101-5.pdf>

- Recalde, M. y Guzowski, C. (2016) Política energética y desarrollo socioeconómico: Una aplicación al caso argentino. En: C. Guzowski (comp.) Políticas de promoción de las energías renovables: experiencias en América del Sur. (pp. 15-56) Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediusn. https://www.researchgate.net/profile/MarinaRecalde/publication/317197667_Politica_energetica_y_desarrollo_socioeconomico_Una_aplicacion_al_caso_argentino/links/5b3f5ec54585150d230b1724/Politica-energetica-y-desarrollo-socioeconomico-Una-aplicacion-al-caso-argentino.pdf#page=13
- Redclift, M. (1996) Desarrollo sostenible: ampliación del alcance del debate. Departamento de Medio Ambiente. Wye College. Universidad de Londres. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/fondo/pdf/569_5.pdf
- Reyes Pontet, M. D., Ibañez Martín, M. M. y London, S. (2023) Desarrollo Sostenible: discusiones sobre su definición y debates actuales. Revista de Economía del Caribe. Universidad del Norte, Colombia (31) <https://portal.amelica.org/ameli/journal/318/3184182003/html/>
- Ríos, A., Medina, C. A. y González, G. (2022) La flexibilidad y otros retos de la integración masiva de generación eólica y solar en los sistemas de potencia. *Prisma Tecnológico* (13)1. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/3229/4192>
- Ritchie, H. (2020) What are the safest and cleanest sources of energy? Our World In Data. <https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy>
- Rivera Albarracín, L. (2020). Potencialidades del concepto de “transición justa” en el escenario de crisis económica y social de América Latina. *Caravelle* (115) pp. 105-120. <https://journals.openedition.org/caravelle/8951>
- Robles, D. (2012). Sobre el hallazgo de Vaca Muerta, su origen y la terminología usada incorrectamente. *Petrotecnia*, (4). https://www.petrotecnia.com.ar/agosto12/sin_publicidad/Hallazgos.pdf
- Roger, D. D., Papagno, S. y Orjuela, F. (2017) Política Energética y oportunidades de desarrollo: un análisis desde una perspectiva termodinámica y neoschumpeteriana de la Ley de Fomento de Energías Renovables y su aplicación. https://www.researchgate.net/publication/321718547_Politica_Energetica_y_oportunidades_de_desarrollo_un_analisis_desde_una_perspectiva_termodinamica_y_neoschumpeteriana_de_la_Ley_de_Fomento_de_Energias_Renovables_y_su_aplicacion
- Roger, D. y Arroyo, J (2023). Elementos para una transición energética sostenible y progresiva en Argentina. *Ciencia, Tecnología y Política* (11), 40-50. <https://doi.org/10.24215/26183188e101>
- Rozengardt, D. (2023) Energía y desarrollo en la Argentina: problemas y oportunidades. *Revista de la Escuela Nacional de Inteligencia* (2) pp. 35-67. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/r-eni2-rozengardt.pdf>
- Salazar, C. (2024, Agosto 21). Radicaron por quinta vez proyecto de ley para prohibir el ‘fracking’ en Colombia: Gobierno envía mensaje de urgencia. Infobae. <https://www.infobae.com/colombia/2024/08/21/radicaron-por-quinta-vez-proyecto-de-ley-para-prohibir-el-fracking-en-colombia-gobierno-envia-mensaje-de-urgencia/#:~:text=El%20Ministerio%20de%20Ambiente%20confirm%C3%B3,en%20ley%20de%20la%20Rep%C3%ABlica.>

- Schultz, R., Tamburini-Beliveau, G., Correa-Otto, S. y Grosso Heredia, J. (2024). Chasing the ghost of fracking in the Vaca Muerta Formation: Induced seismicity in the Neuquén Basin, Argentina. *Seismica* (3.2). <https://seismica.library.mcgill.ca/article/view/1435/1728>
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación [SAyDS] (2019). Guía para la evaluación de los impactos ambientales de proyectos de energías renovables. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_esia_proyectos_energias_renovables_0.pdf
- Secretaría de Energía [SECENERGIA] (2017) Mapa de irradiancia global horizontal <http://ide.energia.gob.ar/geonetwork/srv/api/records/8787e6df-3653-4fe7-810a-b80e45a766ea>
- SECENERGIA. (2022) Consolidación de reservas de gas y petróleo de la República Argentina. https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/mecado_hidrocarburos/informacion_estadistica/reservas/Consolidacion_de_reservas_de_gas_y_petroleo_reporte_anual_2021.pdf
- SECENERGIA. (2025a) Resolución 157/2025. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-157-2025-411858/texto>
- SECENERGIA (2025b) Producción de gas convencional y no convencional. https://estadisticasenergia.mecon.gob.ar/superset/dashboard/22/?standalone=true&native_filters=%28%29
- Servicio Agrícola y Ganadero [SAG] (2015). Guía para la evaluación del impacto ambiental de proyectos eólicos y de líneas de transmisión eléctrica en aves silvestres y murciélagos. Primera edición. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/guia_proyectos_eolicos.pdf
- Seto, K., Davis, S., Mitchell, R., Stokes, E., Unruh, G. y Urge-Vorsatz, D. (2016) Carbon Lock-In: Types, Causes, and Policy Implications. *The Annual Review of Environment and Resources* (41) 425-452 <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-environ-110615-085934>
- Shale en Argentina. (s.f). Hidrocarburos no convencionales. <http://www.shaleenargentina.com.ar/hidrocarburos-no-convencionales>
- Sierra Ludwig, V. (2002). Desarrollo Sostenible: acotaciones conceptuales y revisiones estratégicas. *Boletín Económico de ICE*, 1 (2749), 13-24. <https://www.revistasice.com/index.php/BICE/article/view/3077>
- Smil, V. (2021) El gas natural en el nuevo mundo energético. Fundación Naturgy. https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/woocommerce_uploads/2021/11/el-gas-natural-en-el-nuevo-mundo-energetico.pdf
- Sosa, E. (2021). Efectos, impactos y riesgos socioambientales del megaproyecto Vaca Muerta. Fundación Ambiente y Recursos Naturales. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2021/02/DOC_IMPACTOS-VACA-MUERTA_links.pdf
- Sovacool, B. y Goldthau, A. (2012) The uniqueness of the energy security, justice, and governance problem. *Energy Policy* (41) pp. 232-240. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421511008263>
- Spencer, T., Sartor, O. y Mathieu, M. (2014) Unconventional wisdom: an economic analysis of US shale gas and implications for the UE. Institut du développement durable et des relations internationales (IDDRI) <https://www.iddri.org/sites/default/files/import/publications/pb0514.pdf>

- Strickland, M.; Arnett, E.; Erickson, Wallace & Johnson, Douglas & Johnson, Gregory & Morrison, M.L. & Shaffer, Jill & Warren-Hicks, William. (2011). Comprehensive Guide to Studying Wind Energy/Wildlife Interactions. <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Comprehensive-Guide-to-Studying-Wind-Energy-Wildlife-Interactions.pdf>
- Subsecretaría de Ambiente [SSAmb] (2024). Informe Nacional de Inventario. Primer Informe Bienal de Transparencia de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/INI%20del%20BT1_2024.pdf
- Stockholm Environment Institute, (s.f). Iniciativa SEI sobre Carbon Lock-In o bloqueo de carbono. <https://www.sei.org/projects/inciativa-de-sei-sobre-carbon-lock-in-o-bloqueo-de-carbono/>
- Strambo, C., Calles Almeida, P., Vega Araújo, J. y Arond, E. (2022) P&R: ¿Qué es el lock-in o bloqueo de carbono? Científicos de SEI explican el concepto. Stockholm Environment Institute. <https://www.sei.org/features/que-es-lock-in-bloqueo-carbono/>
- Tawalbeh, M., Al-Othman, A., Kafiah, F., Abdelsalam, E. Almomani, F. y Alkasrawi, M. (2020) Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook, *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143528>
- UN (s.f) La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- UN (2015) Acuerdo de París. https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf
- UNFCC. (sf). El Acuerdo de París. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. [https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris#:~:text=nacional%20\(NDC\).-Contribuciones%20determinadas%20a%20nivel%20nacional%20\(NDC\),objetivos%20del%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs.](https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris#:~:text=nacional%20(NDC).-Contribuciones%20determinadas%20a%20nivel%20nacional%20(NDC),objetivos%20del%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs.)
- United Nations Environment Programme [UNEP]. (2023). An Eye on Methane. The road to radical transparency: International Methane Emissions Observatory 2023. Nairobi. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/44129>
- UNEP. (2024). Emissions Gap Report 2024: No more hot air ... please! With a massive gap between rhetoric and reality, countries draft new climate commitments. Nairobi. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/46404;jsessionid=417EDFCD7205DD755C92BAAEEBFDD698>
- U.S. Energy Information Administration [EIA] (2013). Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States. U.S. Energy Information Administration. <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/overview.pdf>
- U.S. Energy Information Administration [EIA]. (2021). Table 6.07.b. capacity factors for utility scale generators primarily using non-fossil fuels. 2011-2020. https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.php?t=epmt_6_07_b.

- UVadivulga (2021) El nuevo modelo energético solar generará cambios de uso de suelo en los próximos 30 años. Unidad de Cultura Científica. Universidad de Valladolid. <https://ucc.uva.es/el-nuevo-modelo-energetico-solar-generara-cambios-de-uso-de-suelo-en-los-proximos-30-anos/>
- Vásquez, J., Spagnotto, S., Mescua, J., Laura Giambiagi, L. y Sigismondi, M. (2020) Aumento notorio de la sismicidad de la provincia del Neuquén, en el período 2015-2020. Boletín Brackebuschiano. Geociencias y Sociedad. Asociación Geológica Argentina (2). https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/148625/CONICET_Digital_Nro.725ea488-800e-465f-9137-318913bc9944_V.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Vivanco Font, E. (2024) Regulación medio ambiental aplicable a campos de paneles fotovoltaicos. Casos de España, Argentina y Uruguay. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Asesoría Técnica Parlamentaria. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/35895/2/BCN_Regulacion_medio_ambiental_paneles_solares_Espana_Argentina_y_Uruguay_EVF_2024_FINAL.pdf
- Wetlands International (2019) Una mirada sobre los impactos de la Hidrovía en los humedales del Corredor Fluvial Paraguay-Paraná. https://lac.wetlands.org/wp-content/uploads/sites/2/dlm_uploads/2019/11/Una-mirada-sobre-los-impctatos-de-la-Hidrov%C3%ADa-en-los-humedales-del-Corredor-Fluvial-Paraguay-Paran%C3%A1-Digital.pdf
- YPF LUZ (2024) El Parque Eólico Manantiales Behr sigue batiendo récords: alcanzó el máximo factor de carga mensual de la historia del país. <https://www.ypfluz.com/Noticias/NoticiaCompleta/163>
- Zabaloy, M. F. (2016) Energías renovables, acceso energético y capital social: Un proceso de enseñanza-aprendizaje. https://www.researchgate.net/publication/329153875_Energias_renovable_acceso_energetico_y_capital_social_un_proceso_de_ensenanza-aprendizaje
- Zabaloy, M. F., Guzowski, C. y Recalde, M. (2023) Políticas públicas para la transición energética argentina: pasado, presente y futuro. *Revista Estudio de Políticas Públicas*, 9(1), (pp. 95–112). <https://doi.org/10.5354/0719-6296.2023.69379>.

7. GLOSARIO

Acuerdo de París: tratado internacional legalmente vinculante que entró en vigor el 4 de noviembre de 2016, fue adoptado por Argentina mediante la Ley Nacional N° 27.270. Tiene como objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza. Para ello las partes propusieron reducir los riesgos y efectos del cambio climático manteniendo el aumento de la temperatura media global debajo de los 2°C respecto de los niveles preindustriales y continuar con los esfuerzos para que este no supere los 1,5°C.

Agenda 2030/Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): plan de acción adoptado por la Asamblea General de la ONU en 2015 que comprende 17 objetivos globales de desarrollo sostenible para todos los países, establecidos mediante un proceso participativo que busca construir una sociedad más justa y sostenible, abordando desafíos globales como la pobreza, la desigualdad, el cambio climático y la deforestación.

Bloqueo de carbono (carbon lock-in): es un fenómeno crítico que dificulta la transición hacia una energía baja en emisiones. No se debe a la falta de tecnología o apoyo público, sino a complejas barreras sociales, políticas y técnicas que perpetúan la dependencia de los combustibles fósiles. Estas barreras multidimensionales crean un sistema autosostenido donde las inversiones en infraestructura fósil retroalimentan y consolidan la inercia, frenando el avance de las energías renovables y manteniendo la hegemonía de los hidrocarburos.

Calentamiento global: se refiere al aumento de la temperatura superficial global con respecto a un período de referencia, promediando durante un período suficiente para eliminar las variaciones interanuales (p. ej., 20 o 30 años). Un período de referencia común es el de 1850 a 1900 (el período más antiguo de observaciones fiables con suficiente cobertura geográfica).

Cambio climático: un cambio en el estado del clima que puede identificarse (p. ej., mediante pruebas estadísticas) mediante cambios en la media o la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente décadas o más. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a factores externos, como la modulación de los ciclos solares, las erupciones volcánicas y los cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso del suelo.

Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC): son los compromisos climáticos que cada país establece para reducir emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarse al cambio climático, en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Estas contribuciones son la base del Acuerdo de París y son revisadas y actualizadas cada cinco años.

Costo Nivelado de la Energía (LCOE por sus siglas en inglés): indicador económico que relaciona el costo promedio total de construir y operar una central eléctrica durante su vida útil con la generación de electricidad durante ese período. Puede expresarse en USD/kWh (dólares estadounidenses por kilovatio-hora).

Desarrollo sostenible: es aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas y que equilibra las preocupaciones sociales, económicas y ambientales.

Dióxido de carbono equivalente (CO₂eq): unidad en la que se expresa el PCG de cada gas cuando se lo compara con el dióxido de carbono de manera de simplificar su análisis integrado.

Energía solar fotovoltaica: es la conversión directa de la luz solar en electricidad, aprovechando el efecto fotovoltaico. Este efecto ocurre cuando los fotones de la luz solar interactúan con los electrones de un material semiconductor (como el silicio), liberándolos y creando una corriente eléctrica.

Energía eólica: es la que se obtiene aprovechando la fuerza del viento para generar electricidad. Se trata de una fuente de energía renovable y limpia, que se convierte en energía eléctrica mediante aerogeneradores, que capturan la energía cinética del viento y la transforman en movimiento rotatorio, el cual impulsa un generador que produce electricidad.

Efecto invernadero: es el proceso por el cual ciertos componentes de la atmósfera, como los gases de efecto invernadero (GEI), las nubes y algunos aerosoles, absorben la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre y otras capas atmosféricas. Esta absorción genera un calentamiento de la superficie y la troposfera, que responde al aumento de la concentración de GEI, principalmente por emisiones humanas, provocando un forzamiento radiativo que altera el equilibrio energético en la atmósfera superior hasta que se restablece un nuevo balance.

Fluidos de retorno o flowback: es un desecho que sale a la superficie una vez que finaliza la fractura hidráulica que no sólo contiene el gas y/o el petróleo, sino que también arrastra el fluido inicial inyectado y los compuestos que naturalmente se encuentran en la formación y los que se podrían producir gracias a la combinación de algunos de los elementos en juego.

Formación sedimentaria Vaca Muerta: conocida desde la década de 1930, esta unidad es la principal roca madre de hidrocarburos en la cuenca petrolera neuquina. Hace unos 150 millones de años, al final del Jurásico y comienzos del Cretácico, se depositaron sedimentos ricos en materia orgánica en un mar antiguo de aproximadamente 200 metros de profundidad. Las condiciones climáticas y anóxicas de ese ambiente favorecieron la producción y preservación de dicha materia orgánica, que hoy constituye la fuente de los hidrocarburos extraídos.

Fractura hidráulica/fracking: la hidrofractura, fractura hidráulica o *fracking* es una técnica usada para extraer petróleo y gas contenido en rocas de baja permeabilidad. Consiste en causar la ruptura de la roca inyectándole un líquido con alta presión, principalmente agua que contiene arena en suspensión y otras sustancias. El agua a presión provoca fisuras en la roca, que actúan como conductos por los que pueden fluir el petróleo y el gas atrapados (y los granos de arena impiden que los conductos se cierren).

Gases de efecto invernadero (GEI): son determinados componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en longitudes de onda específicas dentro del espectro de radiación emitido por la superficie

terrestre, la atmósfera misma y las nubes. Esta propiedad causa el efecto invernadero. El vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3) son los principales GEI en la atmósfera terrestre. Los GEI de origen humano incluyen el hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC), los clorofluorocarbonos (CFC) y los perfluorocarbonos (PFC).

Gas natural: es el nombre genérico que se les da a ciertas mezclas de hidrocarburos ligeros de la serie de los alcanos dominadas por su componente más liviano que es el metano (CH_4). El etano (C_2H_6) y el propano (C_3H_8) están presentes en proporciones mucho menores y pueden contener también butano (C_4H_{10}) y pentano (C_5H_{12}).

Gas Natural Licuado (GNL): es el gas natural al que se lo enfría a $-161^\circ C$ para que pase del estado gaseoso al líquido con el objeto de reducir su volumen, aumentando su densidad, para facilitar su transporte en buques acondicionados para tal fin.

Hidrocarburos no convencionales/shale gas/shale oil/gas no convencional / petróleo no convencional: los hidrocarburos no convencionales (como el shale gas o gas no convencional, y el shale oil o petróleo no convencional) se encuentran en sistemas donde la roca generadora es también la roca reservorio. A diferencia de un sistema petrolero convencional —que tiene una roca madre, una roca reservorio permeable donde migran los hidrocarburos ya formados, y una roca sello que los atrapa—, en los sistemas no convencionales, el proceso de migración de los hidrocarburos no es completo, y estos permanecen en minúsculos poros o nanoporos dentro de la misma roca que los generó. Un ejemplo claro de esto es Vaca Muerta.

Irradiación Horizontal Global (GHI, medida en $kWh/m^2/día$): cantidad de recurso solar a largo plazo disponible sobre una superficie horizontal en la Tierra.

Potencial de Calentamiento Global (PCG): métrica que compara la capacidad de cada gas de efecto invernadero para retener calor respecto al CO_2 , al que se le asigna un valor de 1.

Recursos: término utilizado para abarcar todas las cantidades de hidrocarburos líquidos y gaseosos (recuperable y no recuperable) que ocurren naturalmente en una acumulación sobre o dentro de la corteza terrestre, descubierto y no descubierto, más las cantidades ya producidas.

Recursos Contingentes: cantidades de hidrocarburos descubiertos líquidos o gaseosos o de ambos estimadas, a una fecha dada, a ser potencialmente recuperables de acumulaciones conocidas, por la aplicación de proyectos de desarrollo, que actualmente no son considerados comerciales, debido a una o más contingencias.

Recursos Prospectivos: cantidades de hidrocarburos estimadas, a una fecha dada, a ser potencialmente recuperables, de acumulaciones no descubiertas, por la aplicación de proyectos de desarrollo futuros.

Recursos Remanentes Técnicamente Recuperables de Gas (RTRG): cantidades de gas producible que utilizan la tecnología y prácticas de la industria actualmente disponibles, independientemente de las consideraciones comerciales o de accesibilidad. Incluyen

Reservas Comprobadas, Probables y Posibles al final de la vida útil, Recursos Contingentes y Recursos Prospectivos. (IAPG, 2024)

Reservas: volúmenes estimados de hidrocarburos líquidos y gaseosos (petróleo crudo, condensado o gasolina natural, gas natural, líquidos provenientes del gas natural y sustancias asociadas), que se anticipa podrán ser comercialmente recuperados por la aplicación de proyectos de desarrollo en un tiempo definido, de reservorios conocidos, bajo las condiciones económicas, el régimen legal y las prácticas de producción imperantes a la fecha de esa estimación.

Transición energética: proceso por el cual una sociedad cambia o adopta una fuente de energía predominante por otra, impulsado por diversos factores como la disponibilidad del recurso, los avances tecnológicos o las necesidades socioeconómicas. Este proceso se ha repetido históricamente, cada vez insumiendo varias décadas para materializarse completamente. La transición energética actual se distingue por su objetivo de pasar de fuentes de energía fósiles a fuentes bajas o nulas en emisiones de carbono.

Trilema energético: representa el desafío que enfrentan los gobiernos para conciliar tres objetivos estratégicos: garantizar un suministro energético competitivo, facilitar el acceso universal a la energía y promover la protección ambiental. Estos pilares, definidos por el Consejo Mundial de la Energía (WEC, por sus siglas en inglés), abarcan aspectos clave para el desarrollo sostenible: la seguridad energética, la equidad social y la mitigación del impacto ambiental

USD: dólares estadounidenses

Unidades

bbl: barril de petróleo. Unidad de volumen estándar utilizada para medir el petróleo crudo y otros productos derivados del petróleo.

GWh: gigavatios-hora. Unidad de medida de energía empleada para medir la producción anual o mensual de grandes centrales eléctricas, cuantificar el consumo de energía eléctrica de grandes consumidores (países, industrias), cuantificar la capacidad de almacenamiento y para realizar planificaciones de demanda y oferta de energía a largo plazo por parte de gobiernos y empresas eléctricas.

kWh/m²/día: kilovatio-hora por metro cuadrado por día. Unidad de medida empleada para cuantificar la energía solar diaria recibida por unidad de superficie horizontal.

Millón de Unidades Térmicas Británicas o MMBTU (por sus siglas en inglés): unidad de medida de energía, utilizada principalmente en el sector del gas natural y la energía. Un BTU es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit. Se emplea comúnmente para cuantificar el contenido energético del gas natural, determinar su precio en mercados internacionales y medir la energía consumida o producida en sistemas térmicos a gran escala. Habitualmente se expresa el precio del gas natural en dólares por MMBTU (USD/MMBTU).

MTPA: millones de toneladas anuales, unidad de medida empleada para cuantificar la capacidad de producción o regasificación de GNL (Gas Natural Licuado).

MW: megavatio. Unidad de potencia eléctrica que equivale a un millón de vatios (1,000,000 W). Se utiliza principalmente para expresar la potencia de generación o consumo de energía eléctrica en grandes instalaciones, como centrales eléctricas o grandes consumidores industriales.

MMm³: millones de metros cúbicos

MMm³/a: millones de metros cúbicos por año

MMm³/d: millones de metros cúbicos por día

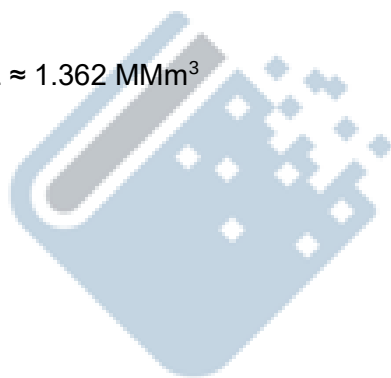
Tcf: billón de pies cúbicos

Equivalencias

1 Tcf $\approx$ 28.570 MMm³

1 millón de toneladas de GNL $\approx$ 1.362 MMm³

1 bbl $\approx$ 159 litros.



Repositorio Digital de Trabajos finales y Tesinas