

Transición Energética: Escenarios a 2050 para la Argentina

Posibles implicancias socioeconómicas y socioambientales,
y primeros pasos para la transición

Elaborado por:

Centro de Tecnologías Ambientales y Energía

Facultad de Ingeniería

UNICEN



DOCUMENTO FARN

DICIEMBRE 2023

CONTENIDO

Introducción	03
1. Objetivos del trabajo	04
2. Metodología	05
3. Escenarios energéticos elaborados	05
4. Consideraciones para la elaboración de los escenarios energéticos	06
5. Resultados de los escenarios energéticos elaborados	07
6. Indicadores de sostenibilidad	14
7. Comparativa con escenarios oficiales	23
8. Elementos para una estrategia comunicacional para la transición energética	25
9. Primeros pasos para la transición	28
10. A modo de conclusión	31
11. Referencias	32

Las opiniones expresadas en este informe son de exclusiva responsabilidad de quienes escriben y no necesariamente coinciden con la de FARN. FARN adopta la perspectiva de género en todos los aspectos de su trabajo. En ese sentido, en todas sus publicaciones se respetan la utilización del lenguaje inclusivo y las diversas formas de expresión que cada persona ha elegido para su colaboración. Publicado en diciembre de 2023, Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN).

Para citar este trabajo: Centro de Tecnologías Ambientales de la Facultad de Ingeniería de UNICEN. (2023). Transición energética: escenarios a 2050 para la Argentina. Posibles implicancias socioeconómicas y socioambientales, y primeros pasos para la transición. FARN.

Introducción

Tanto en la Argentina como a nivel global, más del 85% de la energía que se produce y consume proviene de los combustibles fósiles¹. Es la energía que utilizamos para cocinar, calefaccionar nuestras viviendas en invierno, iluminarnos por la noche, movilizarnos dentro y entre ciudades, transportar mercaderías y producir todo lo que consumimos, desde lo que comemos hasta lo que vestimos. Son estos combustibles fósiles los que han permitido el desarrollo económico y material de la humanidad tal como la conocemos, con todas sus bondades, pero también con sus inequidades y divorcio de la naturaleza.

En efecto, este uso masivo de los combustibles fósiles desde hace ya muchas décadas ha generado consecuencias devastadoras para el planeta y la sociedad. Los resultados presentados en el último Informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés)², basado en mediciones y observaciones realizadas desde hace décadas, muestran que las causas del cambio climático responden de manera irrefutable a la acción del hombre y sus actividades productivas, que liberan emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera. Estas emisiones provienen, en más de un 70%, de la explotación y uso de combustibles fósiles³.

En el caso de la Argentina, además de la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del sector de la energía que contribuyen al cambio climático global y evitar los impactos socioambientales negativos en los territorios donde se extraen combustibles fósiles, existen otras motivaciones para transformar el sistema energético. Estas motivaciones se pueden resumir en la necesidad de diversificar un sistema altamente concentrado, no sólo en términos de los recursos energéticos primarios utilizados sino también en términos de los capitales y las tecnologías necesarias para la explotación de esos recursos, los cuales la Argentina dispone sólo en forma parcial⁴.

Estos recursos fósiles, fundamentalmente petróleo y gas, en el transcurso de las últimas décadas se convirtieron en “commodities”, cuyos precios y disponibilidad se establecen, en parte, partir del mercado internacional de hidrocarburos, pero también a partir de acuerdos entre países o decisiones unilaterales en las cuales la Argentina no participa⁵. Esto hace que la Argentina quede a merced de fluctuaciones de precios del petróleo y del gas, muchas veces imprevistas, que impactan en forma directa en su balanza comercial y su economía interna⁶.

La sostenibilidad de un sistema energético requiere de un análisis sistémico de las consecuencias socioeconómicas, socioambientales y políticas-institucionales de cada política, medida o proyecto específico que involucre tanto la explotación de los recursos energéticos como las tecnologías para su transformación y aprovechamiento a lo largo de sus ciclos de vida.

1. CAMMESA, 2016. <http://portalweb.cammesa.com/memnet1/Pages/descargas.aspx>

2. IPCC. 2023. AR6 Synthesis Report (SYR). <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

3. IRENA. 2023. World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway, Volume 1, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_World_energy_transitions_outlook_v1_2023.pdf?rev=261b3ae18f70429ea8cf595d5a4bee18

4. Blanco, G. y D. Keesler, 2022. Transición energética en la Argentina: Construyendo alternativas. Centro de Tecnologías Ambientales y Energía, Facultad de Ingeniería, UNICEN. Editado por Fundación Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2022/09/DOC_UNICEN_FINAL_compressed-1.pdf

5. Boris Hofmann, Deniz Igan and Daniel Rees. 2023. The changing nexus between commodity prices and the dollar: causes and implications. Bank for International Settlements. ISSN: 2708-0420. <https://www.bis.org/publ/bisbull74.pdf>

6. Bjørnland, Hilde C. 2022. Challenges for monetary policy in a rapidly changing world. European Central Bank. https://www.ecb.europa.eu/pub/conferences/ecbforum/shared/pdf/2022/Bjornland_paper.pdf

El análisis sistémico permite una evaluación ordenada y exhaustiva de una acción, cualquiera sea, y brinda a los tomadores de decisiones una visión integral de sus consecuencias presentes y futuras, sea una política, medida o proyecto. De este modo, el análisis se constituye en una herramienta de gestión estratégica para el diseño de políticas públicas que permitan prevenir los efectos negativos y potenciar los positivos sobre diversos componentes de los sistemas biofísicos, productivos y humanos⁷.

Un análisis de este tipo permitiría, por ejemplo, mejorar tanto la seguridad como la soberanía energética a través de la diversificación de los recursos utilizados y la descentralización de la producción, potenciando desarrollos tecnológicos y productivos a través del sistema científico-tecnológico nacional, y abriendo las puertas a nuevos emprendimientos y cadenas de valor que contribuyan al desarrollo territorial, mejorando el acceso a la energía y reduciendo la pobreza energética.

La elaboración de escenarios energéticos a partir de la modelización del sistema permite proyectar distintas acciones para la transformación del sector y hacer una evaluación sistémica y ex-ante de cada una de ellas. Utilizando indicadores de sostenibilidad que abarquen diferentes aspectos y dimensiones del desarrollo (multidimensionales), valorados con diferentes criterios cuanti y cualitativos (multicriteriales), se podrá lograr un análisis integral que permita también la comparación entre distintos escenarios⁸.

1. Objetivos del trabajo

Este trabajo tiene como objetivo el desarrollo de escenarios energéticos de bajas emisiones a 2050 y su evaluación a partir de indicadores de sostenibilidad que permiten un análisis sistémico de sus potenciales consecuencias sobre aspectos socioeconómicos, socioambientales y político-institucionales que puedan derivarse de su implementación.

Los escenarios alternativos elaborados en este trabajo se comparan con los escenarios a 2050 presentados durante 2023 por las autoridades del área del gobierno nacional a cargo del sector de la energía⁹.

Se espera que este trabajo contribuya al debate y a la toma de decisiones sobre la transición energética en la Argentina, brindando datos e información procesada de manera robusta, y el correspondiente análisis de los resultados obtenidos.

7. IRENA. 2019. Transformando el sistema energético. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Transforming_2019_ES.pdf?la=en&hash=D3D85E0CFEE8C95E859E113A698AFC6FFBA0CE0C

8. IRENA. 2023. World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway, Volume 1, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_World_energy_transitions_outlook_v1_2023.pdf?rev=261b3ae18f70429ea8cf595d5a4bee18

9. Boletín Oficial de la República Argentina. 2023. <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/289827/20230707>

2. Metodología

La metodología usada para la elaboración de los dos escenarios energéticos alternativos presentados en este documento se basa en la modelización del sistema energético utilizando la herramienta informática LEAP y una serie de planillas de cálculo complementarias desarrolladas por la Secretaría de Energía de la Nación, mejoradas y actualizadas por el equipo del CTAE. Estas planillas permiten, por un lado, la incorporación de otras variables técnicas al modelo, como proyecciones de curvas de aprendizaje de costos, factores de capacidad y eficiencias, curvas de penetración de nuevas tecnologías, entre otros. Por otro lado, las planillas permiten la vinculación de los datos de “salida” del modelo con los indicadores de sostenibilidad para su valoración en cada escenario.

En cuanto a los datos e información utilizada para la elaboración de los escenarios alternativos que se presentan se han considerado fuentes oficiales para proyecciones de crecimiento poblacional, PBI¹⁰, cantidad de hogares, ingresos y personas por hogar¹¹, parque automotor, entre otros; y datos de la situación actual del sistema energético argentino.

Para las estimaciones de costos se usaron como referencia costos nacionales e internacionales, así como sus tendencias recientes y proyecciones realizadas por organismos internacionales, como IRENA¹² o IEA¹³. Respecto a los indicadores de sostenibilidad, se construyeron a partir de una revisión de literatura científica, datos internacionales y nacionales de organismos públicos y del sector privado, y entrevistas a expertos, según el indicador.

3. Escenarios energéticos elaborados

Los dos escenarios elaborados y analizados en este documento representan una *Transformación Parcial* y una *Transformación Total* del sistema energético argentino.

El escenario denominado *Transformación Parcial* modela la transformación de la matriz de oferta energética primaria a energías renovables, pero sin transformar los sectores de la demanda de energía, a saber: residencial, comercial y público, transporte, industria y agropecuario.

Continuar con los mismos patrones de consumo y tecnologías utilizadas en la demanda, según las tendencias registradas en los últimos años, limita el grado de transformación de la oferta que se puede alcanzar.

De esta forma, la transformación de la oferta incluye la conversión total de la matriz de generación eléctrica a recursos y tecnologías libres de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la suba del corte de biocombustibles a los límites que permiten las tecnologías actuales de transporte, así como también la incorporación del uso de hidrógeno verde como un porcentaje de corte del gas natural utilizado en los sectores de demanda final.

10. INDEC. 2023a. <https://www.indec.gob.ar/>

11. INDEC. 2023b. Informes técnicos / Vol. 7, n° 129. ISSN 2545-6636. https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/ingresos_1trim23FE81E6BC4E.pdf

12. International Renewable Energy Agency

13. International Energy Agency

El escenario de *Transformación Total*, en cambio, modela una transformación completa de la demanda hacia tecnologías y equipamiento que permitan el uso de energías libres de emisiones de GEI, pudiendo de esta forma alcanzar también una transformación completa de la oferta energética hacia fuentes renovables y/o libres de GEI.

La transformación de la demanda incluye la electrificación total de los consumos residenciales, comerciales y públicos, y el transporte de pasajeros público y privado; la transformación de los consumos del agro a eléctricos y biocombustibles, la transformación del transporte de carga y la aviación al uso de biocombustibles, y el uso masivo de hidrógeno verde en la industria como reemplazo del gas natural. Del lado de la oferta, se transforma la matriz de generación eléctrica a fuentes libres de emisiones de GEI, se potencia la producción de biocombustibles, en particular biodiesel, y se incorpora la producción de hidrógeno verde a partir de la electrolisis del agua mediante el uso del excedente de energía eléctrica que surja de la implementación masiva de energías renovables como la solar y eólica.

4. Consideraciones para la elaboración de los escenarios energéticos

Al mismo tiempo, se han hecho algunas consideraciones técnicas basadas en referencias reconocidas del sector energético sobre las diferentes tecnologías modeladas para la producción y el consumo de energía, como curvas de aprendizaje en relación a costos, factores de capacidad y eficiencias, y el equipamiento vinculado a la demanda de energía, tales como artefactos residenciales, equipos industriales y vehículos para el transporte de pasajeros y de carga.

Otras consideraciones están basadas en compromisos internacionales asumidos por el país en relación al cambio climático, como la carbono neutralidad del sector a 2050 establecida tanto en la Segunda Contribución Nacionalmente Determinada¹⁴ como en la Estrategia de Desarrollo Resiliente con Bajas Emisiones de Largo Plazo a 2050¹⁵, ambas presentadas oficialmente a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMUNCC) en el marco del Acuerdo de París, ratificado por la Argentina a través de la Ley No. 27270¹⁶ de 2016. En este sentido, los escenarios elaborados buscan una reducción significativa de las emisiones de GEI, y en particular el escenario de *Transformación Total* logra alcanzar emisiones nulas a 2050 mediante la incorporación masiva de recursos energéticos renovables y libres de carbono, la eliminación gradual de la producción y consumo de gas y petróleo, la electrificación total de la demanda residencial y pública, la producción de hidrógeno “verde” para algunos consumos específicos de difícil electrificación, y la conversión del parque automotor de motores térmicos a combustión a eléctricos.

Finalmente, se han hecho algunas consideraciones basadas en preferencias sobre la diversificación de la matriz energética, la descentralización del sistema y el acceso equitativo a la energía. En este sentido, y en relación a la diversificación del sistema, los escenarios incluyen el uso de múltiples recursos energéticos primarios y sus tecnologías de transformación, con una penetración en la matriz primaria de acuerdo a su potencial de desarrollo en el país. En materia de descentralización, los escenarios hacen uso de la

14. MAyDS. 2020. Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional de la República Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, República Argentina. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/segunda_contribucion_nacional_final_ok.pdf

15. MAYDS. 2023. 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

16. Boletín Oficial de la República Argentina. 2016. <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/151052/20160919>

generación de energía eléctrica distribuida hasta alcanzar su potencial estimado en cada región y para cada sector de uso final: residencial, público y pequeñas y medianas empresas. Y en relación a la demanda, el escenario de *Transformación Total* plantea una alta electrificación de los consumos residenciales y públicos y un consumo de energía eléctrica mínima necesaria para los deciles de ingresos de la población que hoy no alcanzan a ese mínimo.

5. Resultados de los escenarios energéticos elaborados

A continuación, se muestran los resultados más relevantes de los escenarios energéticos alternativos elaborados. Los resultados se expresan en términos de producción y consumo de energía, tanto primaria como eléctrica y combustibles de consumo final. A su vez, se muestran algunos indicadores de eficiencia en el uso y el costo de la energía, como intensidad energética, intensidad de carbono y costos por unidad de energía, entre otros.

Las Figuras 6-1 y 6-2 muestran la evolución de la matriz primaria de energía para cada escenario, elaborado por fuente de energía y su destino en los sectores de la demanda final. La necesidad de energía primaria en 2050 es un 12% menor en el escenario de *Transformación Total* respecto del escenario de *Transformación Parcial*.

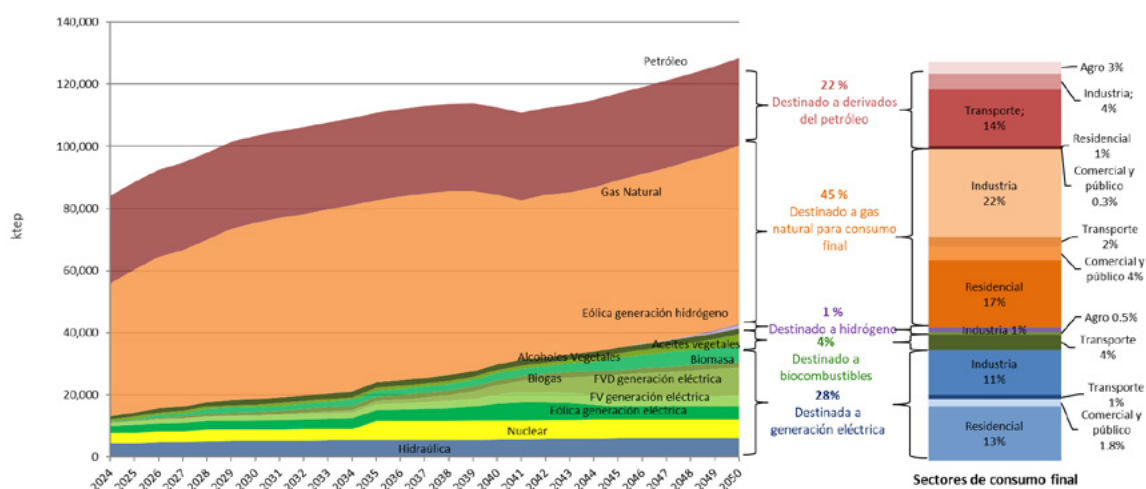


Figura 6-1. Evolución de la matriz de energía primaria (2024-2050) y destino por sector de demanda (2050) para el escenario de "Transformación Parcial"

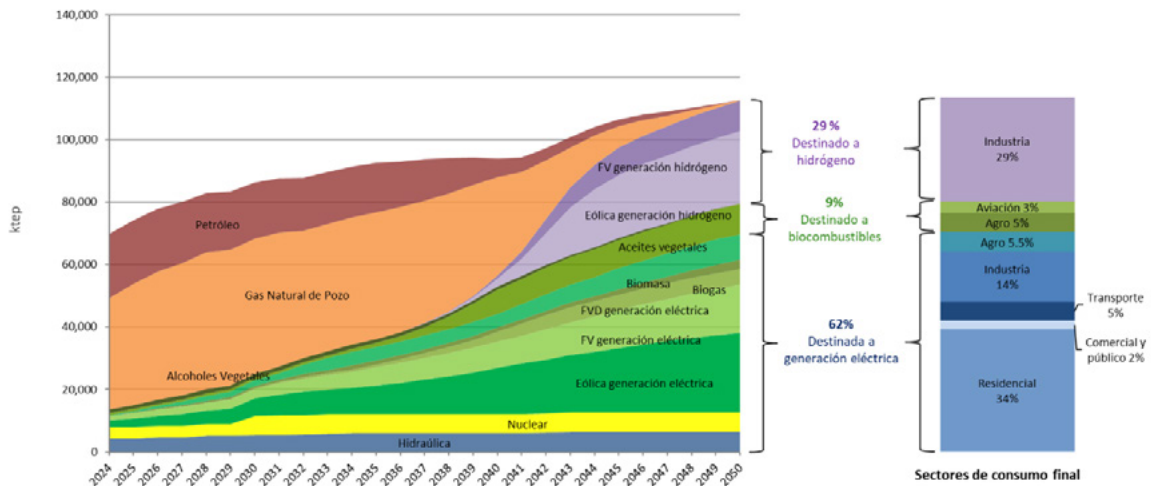


Figura 6-2. Evolución de la matriz de energía primaria (2024-2050) y destino por sector de demanda (2050) para el escenario de "Transformación Total"

De la Figura 6-1, escenario de *Transformación Parcial*, se puede observar que, de no modificarse las formas en que se consume energía y las tecnologías asociadas a esa demanda, se necesitará sostener la producción para abastecer el consumo de gas y petróleo en los sectores residencial, comercial e industrial, así como en el transporte de cargas y pasajeros. Mientras que de la Figura 6-2, escenario de *Transformación Total*, se puede ver que una demanda más eficiente a partir de una electrificación total de los consumos residenciales, comerciales y del transporte, y el uso de hidrógeno para proveer energía térmica en la industria, podría reducir la necesidad de energía primaria e ir eliminando gradualmente el consumo de gas y petróleo.

La Figura 6-3 muestra las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a cada escenario.

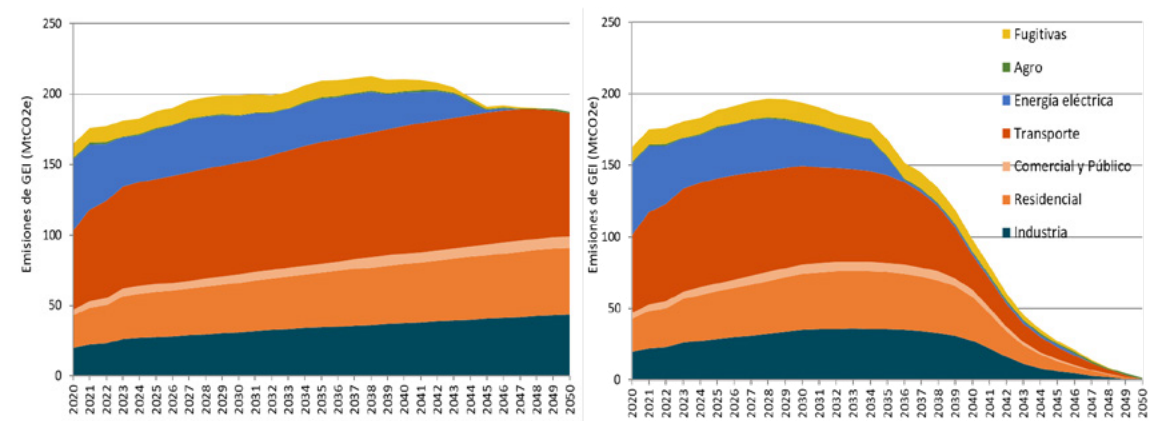


Figura 6-3. Emisiones totales del sector de la energía para ambos escenarios según sector de consumo (a la izquierda escenario de "Transformación Parcial" y a la derecha escenario de "Transformación Total")

La Figura 6-3 muestra que, en el caso del escenario de *Transformación Parcial*, el consumo sostenido de gas y petróleo hacen que las emisiones sigan creciendo hacia el final del período. En cambio, en el escenario de *Transformación Total* se logra reducir las emisiones de GEI a cero en 2050 debido a la electrificación de gran parte de la demanda, el uso de hidrógeno para energía térmica en la industria y la alta penetración de energías renovables para su producción.

Las Figuras 6-4, 6-5, 6-6, 6-7 y 6-8 permiten un análisis de los escenarios elaborados en materia de eficiencia en el uso de la energía a través de una serie de indicadores calculados a tal efecto. Estos indicadores facilitan, a su vez, la comparación con otros escenarios energéticos.

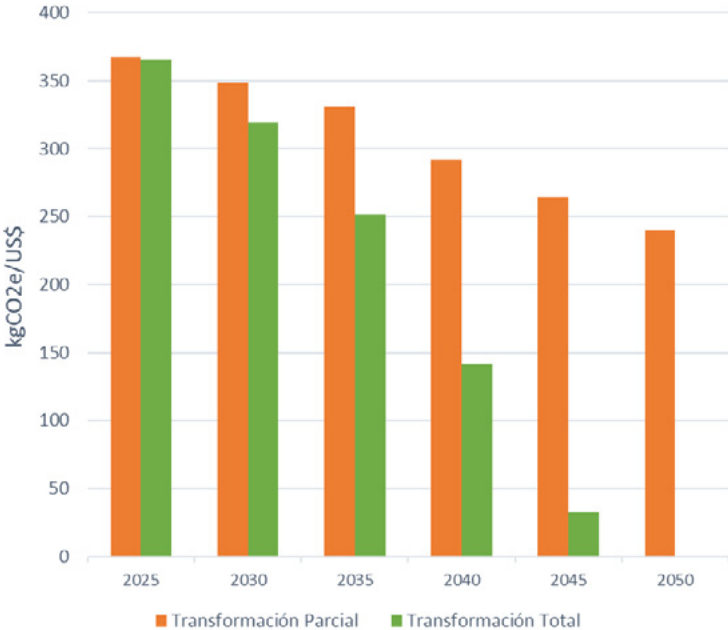


Figura 6-4. Intensidad de emisiones fósiles por unidad de PBI para ambos escenarios



Figura 6-5. Intensidad de emisiones de la matriz primaria de energía para ambos escenarios

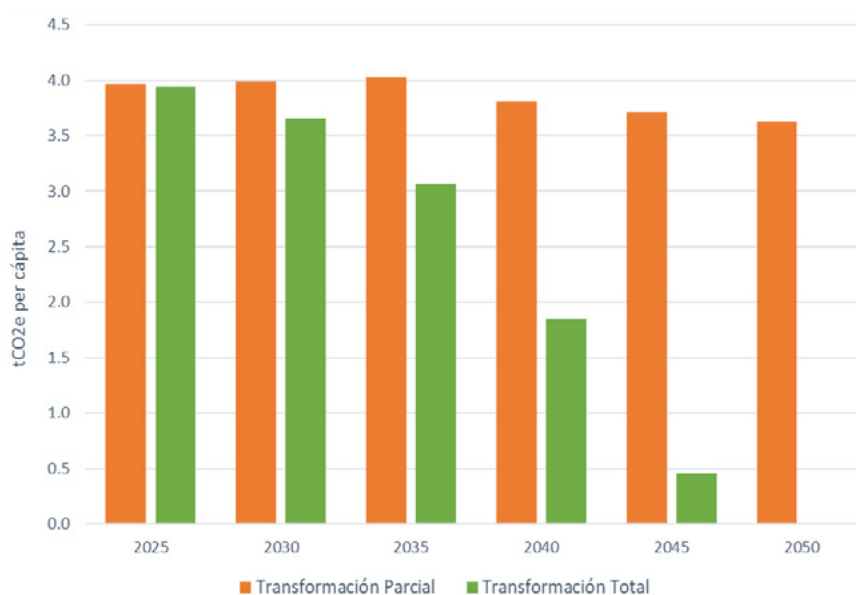


Figura 6-6. Emisiones per cápita en cada escenario

En las Figuras 6-4, 6-5 y 6-6 puede observarse que, en el escenario de *Transformación Parcial*, no se logran mejorar de manera sustancial estos tres indicadores vinculados a las emisiones de GEI, lo que demuestra que es imprescindible la transformación de la demanda de energía en favor de una mayor electrificación, de una mayor eficiencia y uso racional de la energía, y de la eliminación gradual de los combustibles fósiles.

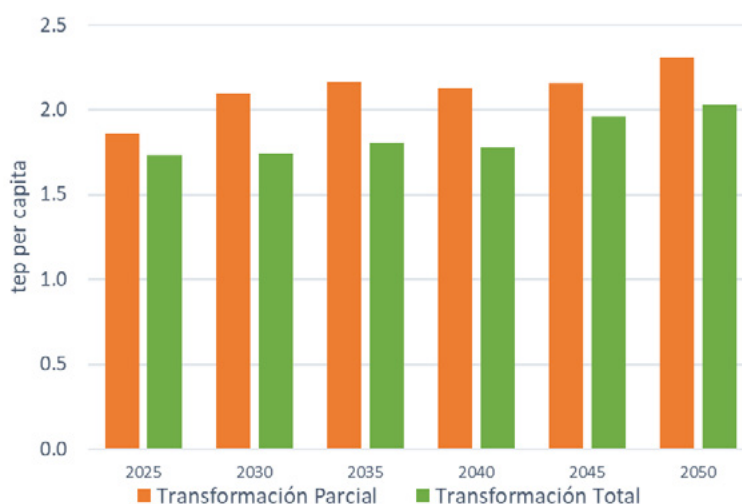


Figura 6-7. Consumo de energía primaria per cápita para ambos escenarios

La Figura 6-7 muestra un crecimiento sostenido del consumo de energía primaria per cápita debido al crecimiento esperado del PBI y del PBI per cápita, y al crecimiento en el consumo de los hogares de más bajos ingresos hasta alcanzar un consumo comparable al resto de los hogares. El escenario de *Transformación Total* muestra un menor crecimiento del consumo de energía primaria per cápita respecto del escenario de *Transformación Parcial*, gracias a una mayor eficiencia de transformación desde los recursos energéticos primarios hasta la energía para consumo final, dada por el alto grado de electrificación de la demanda.



Figura 6-8. Energía primaria por unidad de PBI (intensidad energética) para ambos escenarios

La Figura 6-8 muestra que el consumo de energía primaria por unidad de PBI (intensidad energética) se reduce gradualmente en los dos escenarios elaborados a lo largo del período. Esto se debe, por un lado, al incremento proyectado del PBI, y por otro, al incremento proyectado de la cantidad total de energía primaria, sustentada en un incremento en la cantidad de energía per cápita (Figura 6-7) junto con el crecimiento proyectado de la población.

La Figura 6-9 muestra el rango del costo anual de la energía producida en los escenarios elaborados.

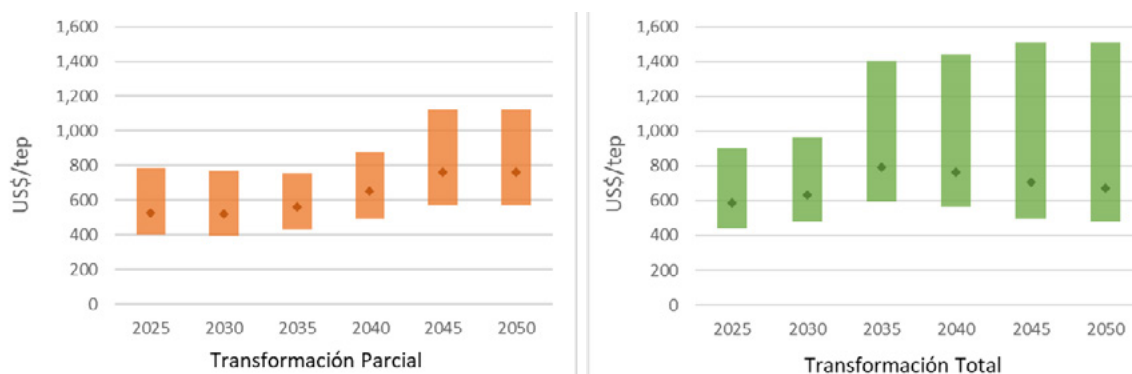


Figura 6-9. Rango del costo anual de la energía para cada escenario (panel izquierdo “Transformación Parcial”, panel derecho “Transformación Total”), el punto indica el valor medio, la barra indica mínimo y máximo del rango.

De la Figura 6-9 puede observarse que, a pesar de la incertidumbre que demuestran los rangos en uno y otro caso, el escenario de *Transformación Total* presenta menores costos de la energía a partir de 2035 y con una tendencia decreciente hacia 2050.

En relación a la generación de energía eléctrica, las Figuras 6-10 y 6-11 muestran las potencias necesarias a instalar en ambos escenarios, tanto para satisfacer la demanda de energía eléctrica como para mantener el margen de reserva dentro de los límites adecuados para garantizar la robustez del sistema.

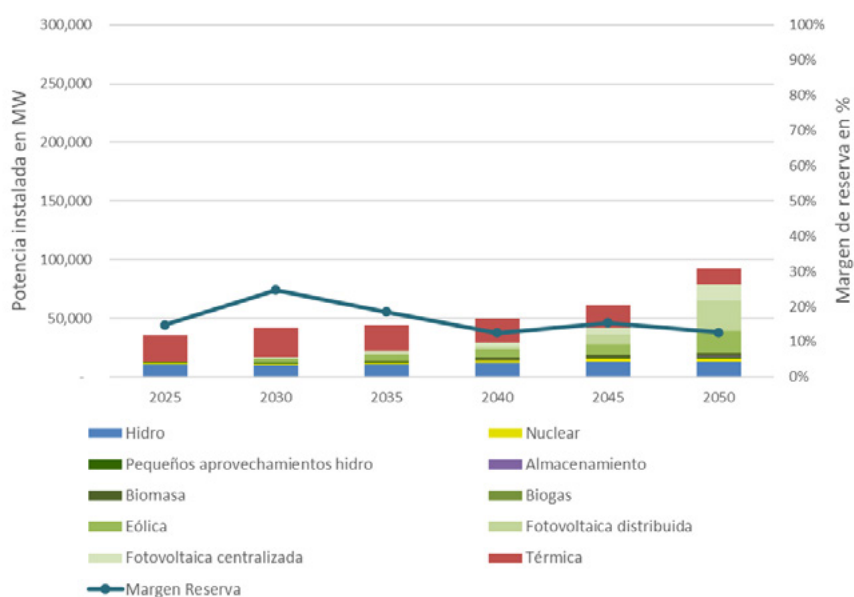


Figura 6-10. Potencia instalada en el escenario de "Transformación Parcial" y margen de reserva

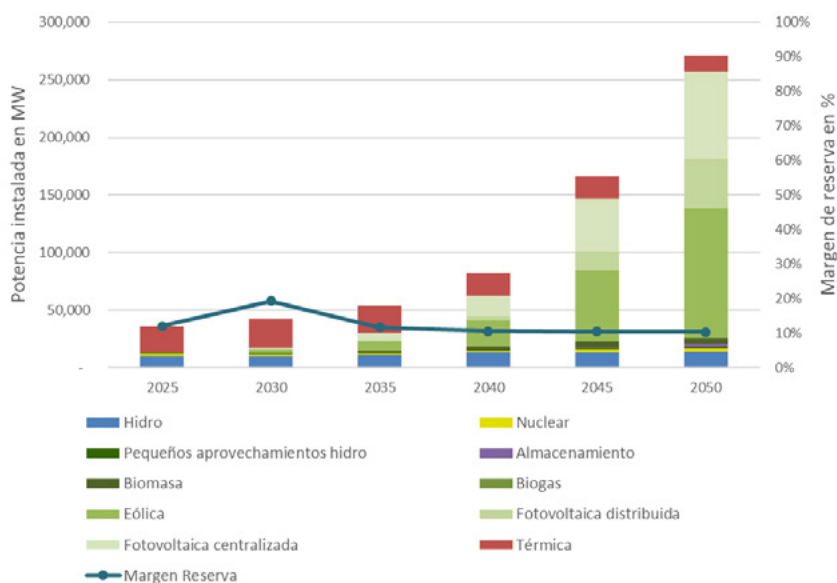


Figura 6-11. Potencia instalada en el escenario de "Transformación Total" y margen de reserva

La Figura 6-11 muestra que en el escenario de *Transformación Total* la necesidad de potencia firme es considerablemente mayor al escenario de *Transformación Parcial* debido, por un lado, a la alta electrificación de varios sectores de la demanda, y por otro, a la alta penetración en la matriz eléctrica de energías renovables con baja capacidad para ofrecer potencia firme, lo cual implica la instalación de mayor potencia para compensar esta falta y alcanzar el margen de reserva adecuado para la sostenibilidad del sistema eléctrico.

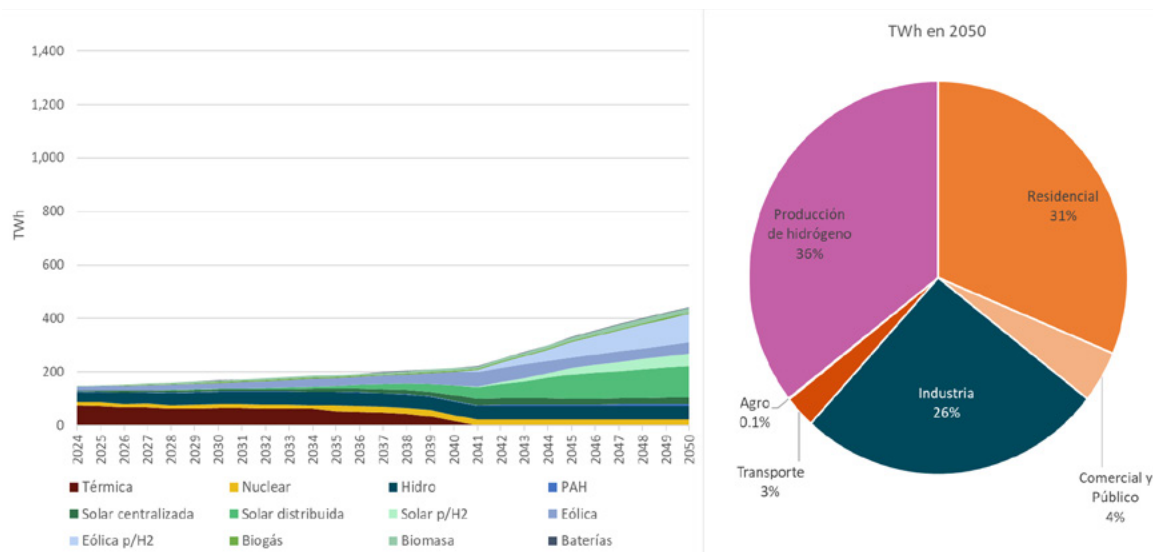


Figura 6-12. Evolución de la matriz de generación eléctrica para el escenario de “Transformación Parcial” (panel izquierdo) y consumo de energía eléctrica por sector en 2050 (panel derecho)

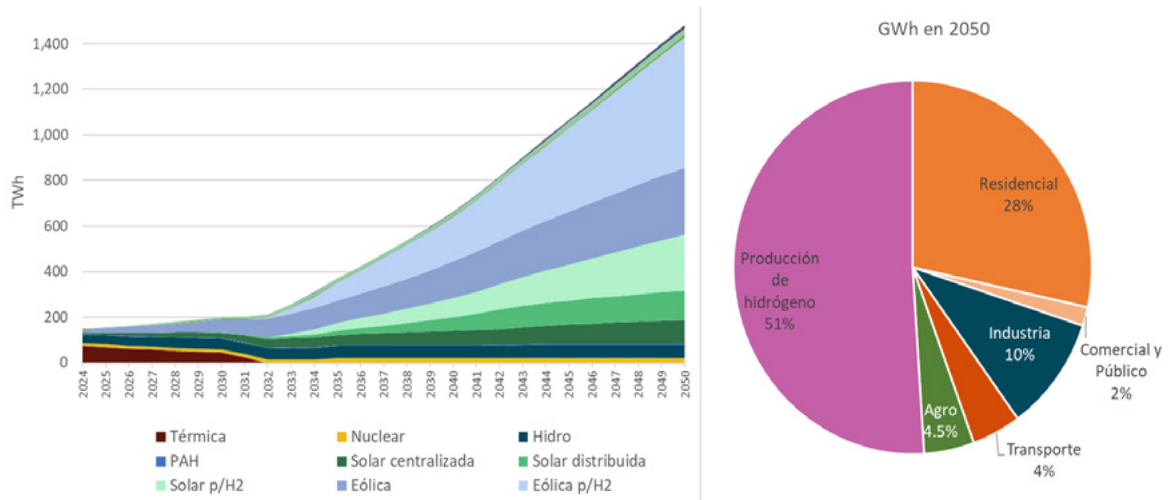


Figura 6-13. Evolución de la matriz de generación eléctrica para el escenario de “Transformación Total” (panel izquierdo) y consumo de energía eléctrica por sector en 2050 (panel derecho)

Las Figuras 6-12 y 6-13 muestran la energía eléctrica generada en ambos escenarios. Se destaca la cantidad de energía eléctrica generada en el escenario de *Transformación Total* debido a la ya mencionada alta electrificación de la demanda y a la potencia renovable a instalar necesaria para sostener el margen de reserva del sistema eléctrico. Esta potencia renovable generaría excedentes de energía eléctrica que podrían utilizarse para la producción de hidrógeno verde, tal como puede observarse, fundamentalmente, en la Figura 6-13.

6. Indicadores de sostenibilidad

El análisis sistémico de políticas, medidas y proyectos específicos se fundamenta en la necesidad de asegurar la integridad socioambiental, socioeconómica y político-institucional que hacen al desarrollo sostenible de una sociedad. Esto requiere abordar simultáneamente las diversas problemáticas y consecuencias, positivas o negativas, que una determinada acción puede generar en cada una de esas dimensiones, a fin de prever, durante la etapa de planificación, los impactos negativos de corto, mediano y largo plazo. Esto permitirá, además, actuar en consecuencia antes de su implementación, así como potenciar los posibles resultados positivos.

Esta evaluación sistémica puede realizarse a través de indicadores de sostenibilidad que permitan valorar esas consecuencias sobre los distintos aspectos considerados. Para este trabajo se desarrollaron indicadores para la evaluación sistémica e integral de los escenarios energéticos elaborados, considerando las acciones más relevantes que estos requerirían para su implementación en el tiempo. La valoración de estos indicadores se realiza a partir de los datos de "salida" de cada escenario, usando algoritmos elaborados que conducen a una valoración aproximada, cuantitativa o cualitativa, de las consecuencias de cada escenario sobre los aspectos considerados¹⁷.

Dadas las diferentes fuentes de información utilizadas y el nivel de incertidumbre de los datos y sus proyecciones a 2050, en la mayoría de los casos se utilizan rango de valores máximos y mínimos para los indicadores, dando cuenta así de la incertidumbre mencionada.

A continuación, se muestran los indicadores desarrollados de sostenibilidad del sistema energético y su valoración para cada uno de los escenarios energéticos elaborados.

Indicadores socioeconómicos

Las Figuras 7-1 y 7-2 muestran los costos totales del sistema energético para los dos escenarios elaborados. Estos costos incluyen el de la energía eléctrica y el de los combustibles de consumo final, así como la infraestructura necesaria para el transporte y distribución eléctrica, y para el transporte de hidrógeno y el sistema de carga de vehículos eléctricos.

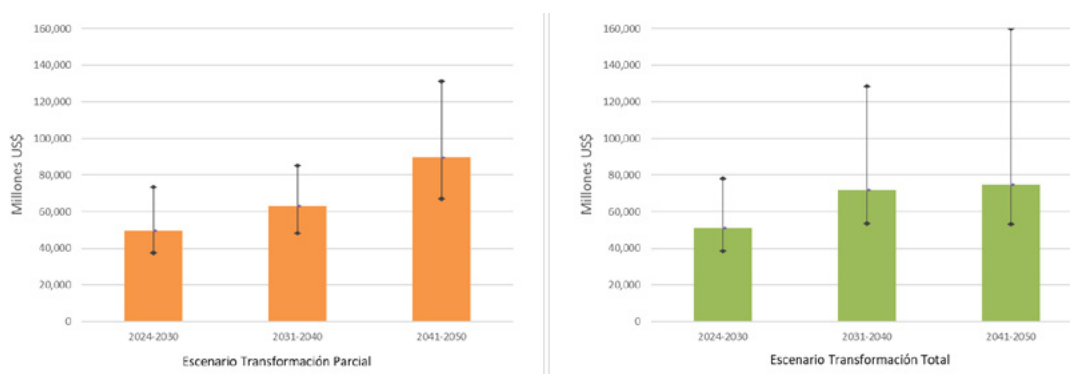


Figura 7-1. Promedio anual por década del costo total del sistema energético. Las líneas muestran el posible rango de variación de los valores considerando la incertidumbre de las estimaciones

17. Blanco, G. y D. Keesler, 2023. Energías Renovables para la Transición Energética: Una Mirada Integral. Centro de Tecnologías Ambientales y Energía, Facultad de Ingeniería, UNICEN. Editado por Fundación Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2023/07/DOC_UNICEN_links.pdf

Se observa en la Figura 7-1 que el promedio anual del costo total del sistema energético va creciendo en el escenario de *Transformación Parcial* debido, principalmente, a la proyección de los costos de los combustibles fósiles para el consumo final. Mientras que, en el escenario de *Transformación Total*, el costo a mediano plazo se estabiliza, compensando el costo creciente de generación eléctrica renovable y la infraestructura asociada para su transporte y distribución con el costo decreciente de los combustibles para el consumo final, tal como puede verse en la Figura 7-2.

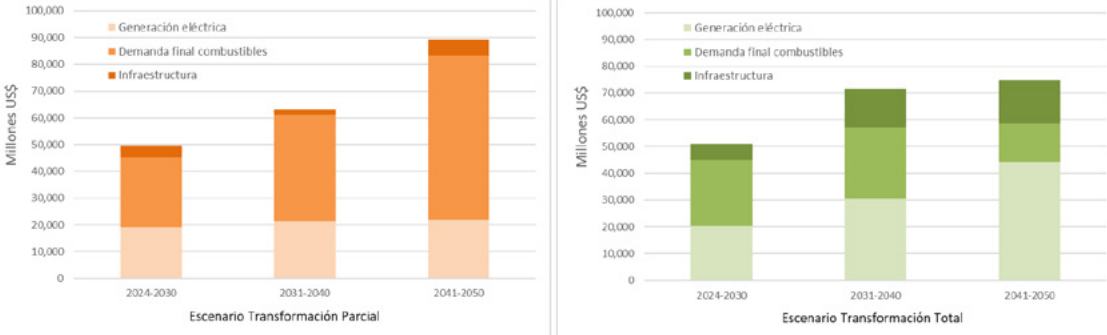


Figura 7-2. Promedio anual por década del costo total del sistema energético desagregado por rubro

Las Figuras 7-3 y 7-4 muestran los valores monetarios de los potenciales activos que podrían quedar varados en cada uno de los escenarios elaborados, tanto los vinculados a la generación eléctrica como los relacionados a transporte de gas fósil. Los activos varados pueden alcanzar valores anuales de entre el 7% y 8% del costo total del sistema energético.

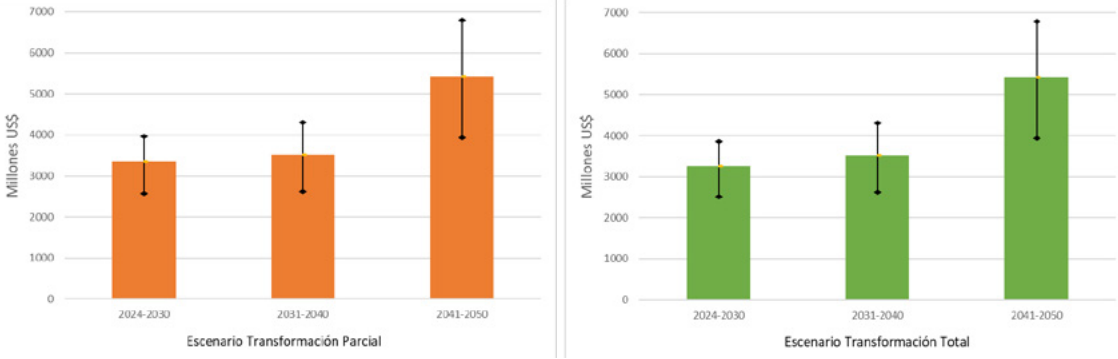


Figura 7-3. Promedio anual por década de los activos varados en la generación eléctrica para ambos escenarios.

Se puede observar en la Figura 7-3 que los activos varados relacionados a la generación eléctrica a partir de fuentes fósiles es el mismo para los dos escenarios elaborados, debido a que en ambos casos se descarboniza en forma total la matriz eléctrica.

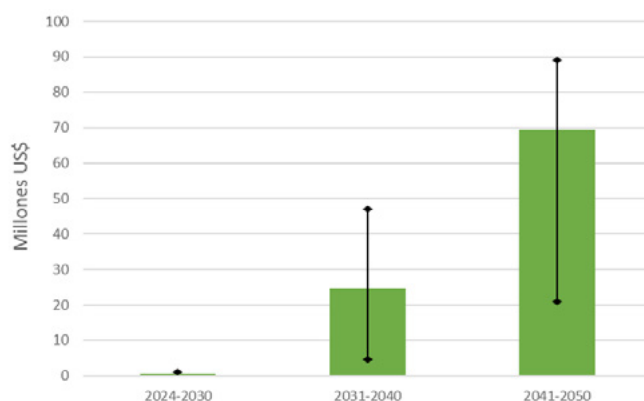


Figura 7-4. Promedio anual por década de los activos varados en el transporte de gas natural para el escenario de “Transformación Total”

La Figura 7-4 muestra que los activos relacionados al transporte de gas fósil (gasoductos) que podrían quedar varados aparecen sólo en el escenario de *Transformación Total*. Cuando se consideran las inversiones dispuestas en su construcción y su recupero distribuido a lo largo de la vida útil, los montos son considerablemente menores a los activos varados vinculados a la generación eléctrica fósil.

En lo que respecta a la creación de empleos, la Figura 7-5 muestra que el escenario de *Transformación Total* tiene un potencial superior al de *Transformación Parcial*, aunque la creación de nuevos puestos de trabajo presenta un pico en plena transición y luego una tendencia a estabilizarse hacia el final del período a medida que las energías renovables dominan la matriz energética y su crecimiento acompaña al crecimiento poblacional y del PBI per cápita.

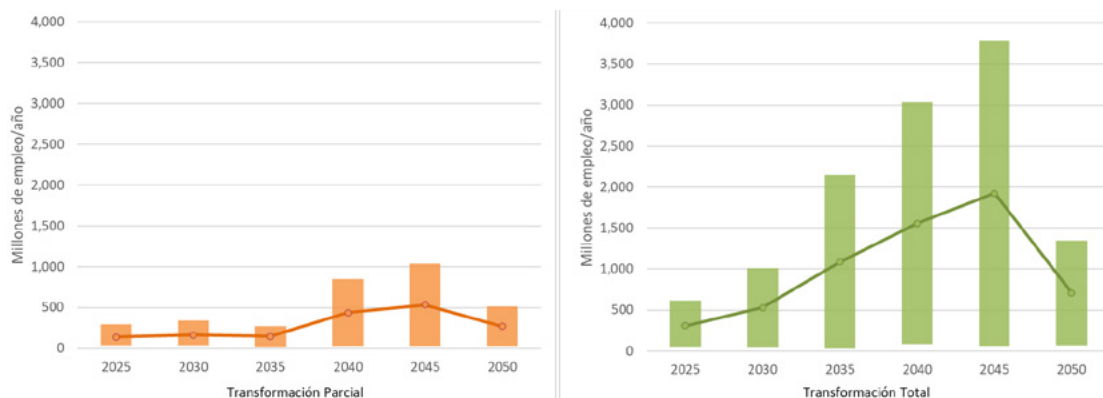


Figura 7-5. Creación de empleos anuales para cada escenario. La línea marca el valor medio y las barras el rango mínimo y máximo posible considerando la incertidumbre de la estimación

La Figura 7-6 muestra la potencial contribución al desarrollo tecnológico nacional que tendría cada uno de los escenarios elaborados, considerando tanto el potencial de investigación y desarrollo como el potencial de fabricación de equipos y componentes a nivel nacional para las distintas tecnologías de producción y consumo de energía utilizadas.

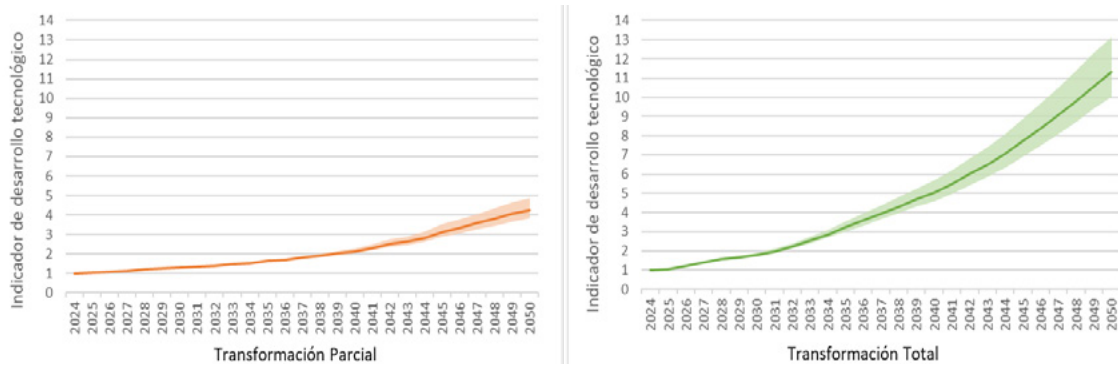


Figura 7-6. Indicador de desarrollo tecnológico para ambos escenarios. El indicador muestra el incremento en el potencial de desarrollo tecnológico nacional de cada escenario respecto del año base (2024). La línea indica el valor medio y la franja el rango posible

La Figura 7-6 muestra una tendencia clara en favor del escenario de *Transformación Total*, triplicando la potencial contribución al desarrollo tecnológico nacional respecto al de *Transformación Parcial*.

Indicadores socioambientales

La Figura 7-7 muestra la posible ocupación del suelo en ambos escenarios. Puede verse un mayor uso del suelo en el escenario de *Transformación Total* debido, fundamentalmente, al destinado a los cultivos para la producción de biodiésel, y en menor medida, al destinado para la producción de energía solar FV y eólica.

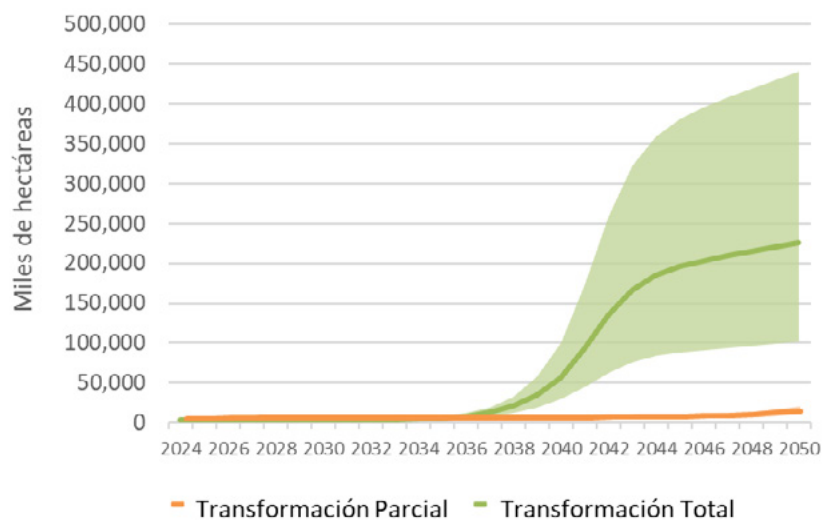


Figura 7-7. Ocupación del suelo relacionada a la generación eléctrica y la producción de combustibles. La línea indica el valor medio y la franja el rango posible considerando la incertidumbre de la estimación

La Figura 7-8 muestra el consumo de agua relacionado a la generación eléctrica y a la producción de combustibles. A pesar del alto nivel de incertidumbre, representado por las áreas en la figura, se puede ver que el escenario de *Transformación Total* presenta una tendencia decreciente en el consumo de agua en comparación al de *Transformación Parcial*, en el cual domina el consumo de agua en la producción de combustibles fósiles.

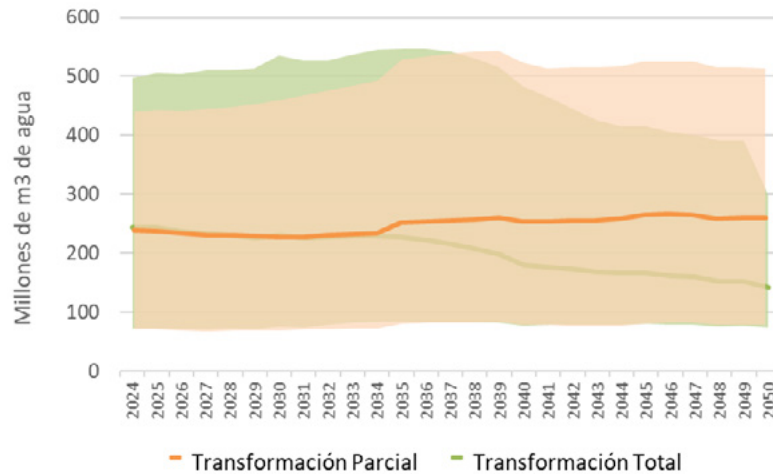


Figura 7-8. Consumo de agua relacionado a la generación eléctrica y a la producción de combustible. La línea indica el valor medio y la franja el rango posible considerando la incertidumbre de la estimación

En la Figura 7-9 se observa el consumo de agua vinculado a la producción de litio en ambos escenarios elaborados. El escenario de *Transformación Total*, con una conversión plena del parque automotor de combustión a eléctrico, muestra un potencial mayor consumo de agua asociado a una mayor producción de litio para baterías.

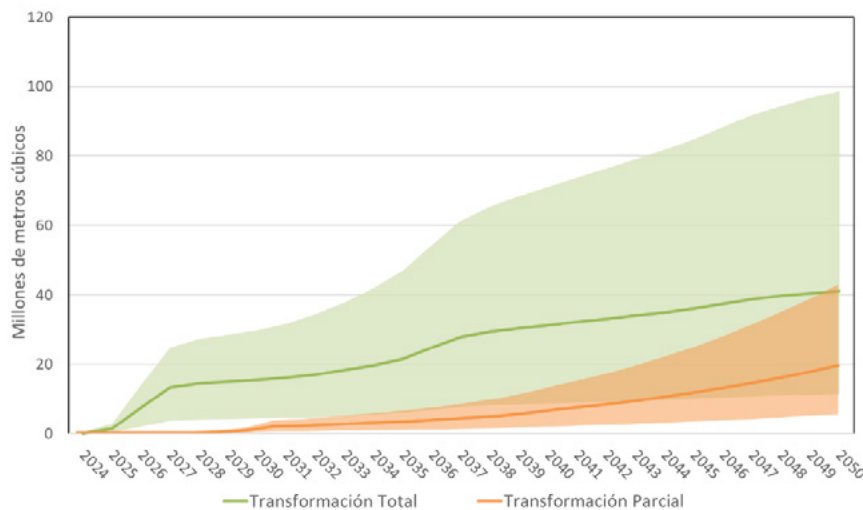


Figura 7-9. Consumo de agua relacionado a la producción de litio. La línea indica el valor medio y la franja el rango posible considerando la incertidumbre de la estimación

Las Figuras 7-10 y 7-11 muestran el potencial impacto de los escenarios elaborados sobre la calidad del aire. En la Figura 7-10 se puede ver una tendencia decreciente en la emisión de material particulado en el escenario de *Transformación Total* debido al abandono gradual de los combustibles fósiles.

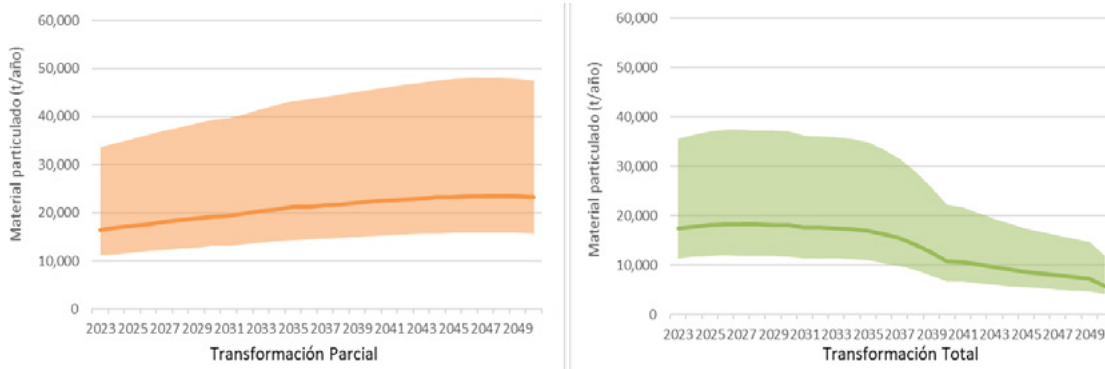


Figura 7-10. Emisiones de material particulado proveniente del uso de combustibles en la demanda final. La línea indica el valor medio y la franja el rango posible considerando la incertidumbre de la estimación

En la Figura 7-11 se puede ver una importante reducción en las emisiones de óxidos de azufre (SOx) en el escenario de *Transformación Total* también debido a la eliminación gradual de los combustibles fósiles.

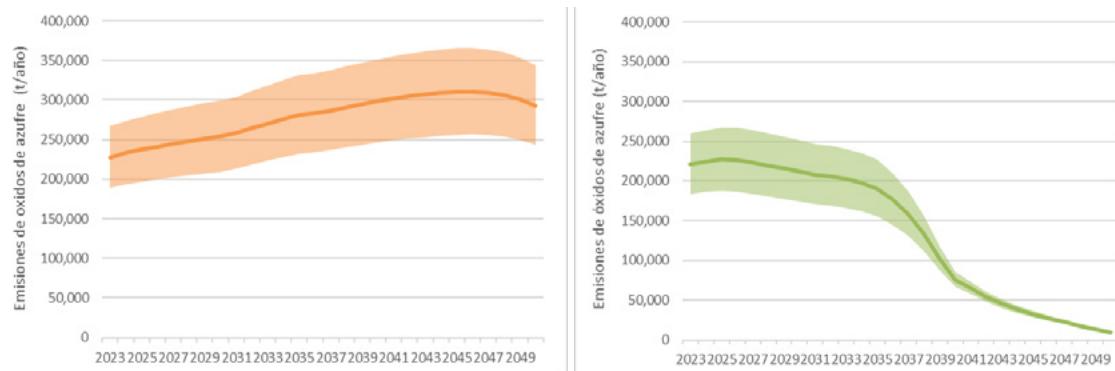


Figura 7-11. Emisiones de SOx proveniente del uso de combustibles en la demanda final. La línea indica el valor medio y la franja el rango posible considerando la incertidumbre de la estimación

En la Figura 7-12 se muestra la potencial generación de residuos sólidos provenientes de la producción de combustibles (petróleo, gas fósil y biocombustibles). Puede observarse la disminución gradual de residuos sólidos en el escenario de *Transformación Total* debido a la eliminación de los combustibles fósiles, aunque esta reducción se ve parcialmente compensada por la generación de residuos sólidos en la producción de biocombustibles.

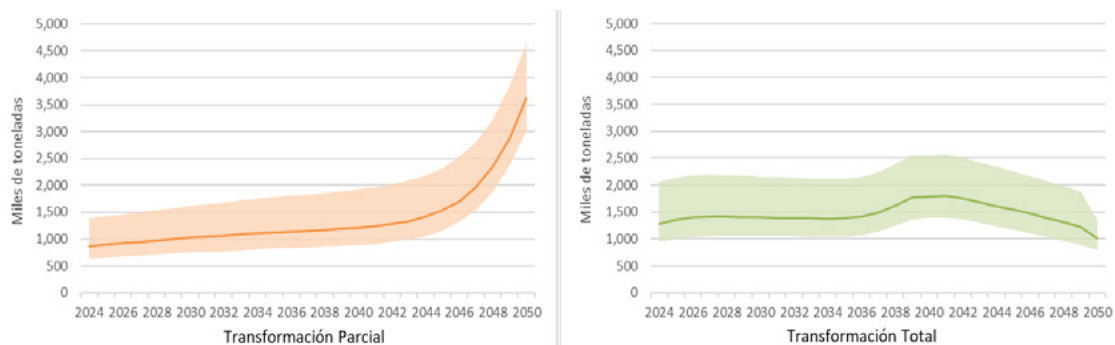


Figura 7-12. Residuos sólidos provenientes de la producción de combustibles (petróleo, gas natural y biocombustibles). La línea indica el valor medio y la franja el rango posible considerando la incertidumbre de la estimación

Las Figuras 7-13 y 7-14 muestran el potencial impacto de las centrales nucleares en la generación de residuos nucleares y en el uso del suelo en caso de que se reinicie la minería de uranio en el país para la fabricación del combustible utilizado en las centrales.

En ambos casos se considera la incorporación de una cuarta central nuclear de 1200 MW de potencia a partir del año 2035.

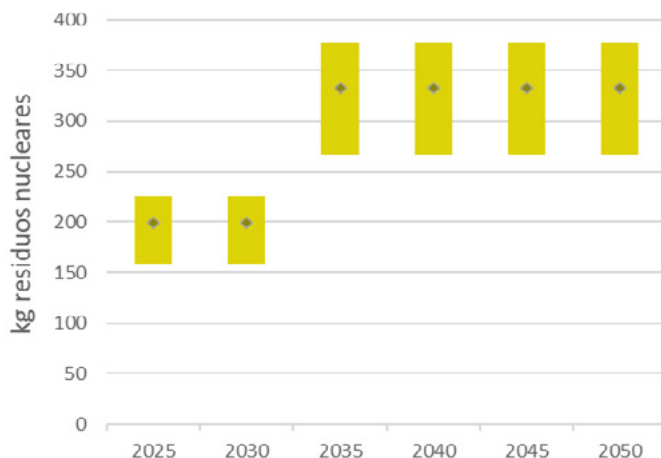


Figura 7-13. Generación de residuos de las centrales nucleares para ambos escenarios. Los dos escenarios planteados consideran las tres centrales existentes (Atucha I, Atucha II y Embalse) y la nueva central nuclear de 1200 MW. Los puntos marcan el valor medio y las barras el rango mínimo y máximo posible considerando la incertidumbre de la estimación

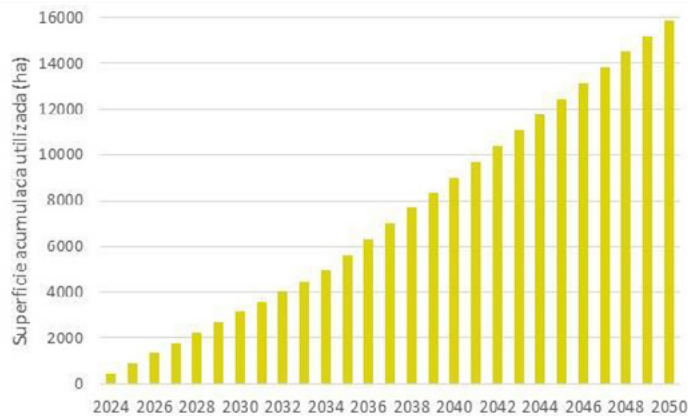


Figura 7-14. Superficie de suelo acumulada en hectáreas requerida para la explotación de uranio necesaria para el funcionamiento de las cuatro centrales nucleares incluidas en los escenarios

Indicadores político-institucionales

La Figura 7-15 muestra el grado de diversificación de la matriz energética primaria, considerando los recursos naturales utilizados, las diversas tecnologías para su explotación y aprovechamiento, y su nivel de participación en la matriz.

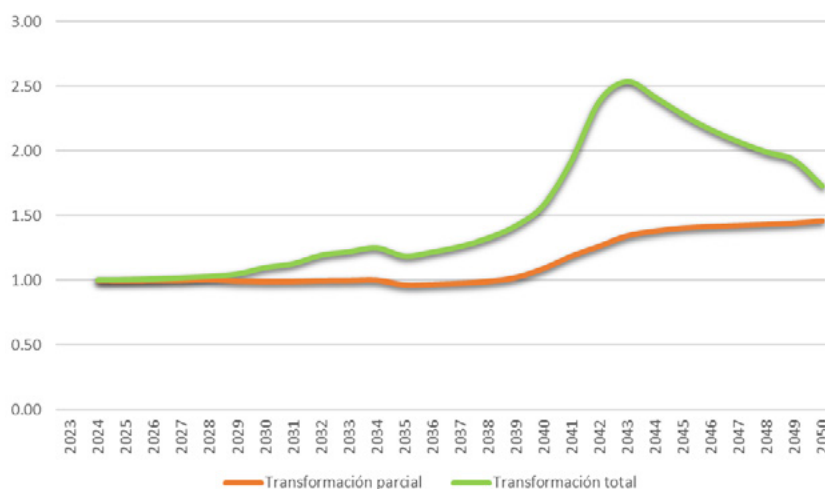


Figura 7-15. Diversidad energética de la matriz primaria

De la Figura 7-15 puede verse que el escenario de *Transformación Total* presenta una mayor diversificación durante el período considerado. Sin embargo, a partir de la década de 2040 aparece una tendencia declinante a medida que los recursos energéticos renovables de mayor penetración (i.e. eólica y solar FV) comienzan a dominar la matriz energética.

La Figura 7-16 muestra la potencial contribución de los escenarios elaborados al desarrollo territorial, teniendo en cuenta la posibilidad de generar nuevos emprendimientos vinculados a la instalación, operación y mantenimiento de sistemas de producción y consumo de energía. En este sentido, puede verse

que el escenario de *Transformación Total* presenta un potencial dos veces superior al de *Transformación Parcial*. La diversificación de los recursos energéticos utilizados, la diversidad de tecnologías para su transformación y aprovechamiento, y las escalas más reducidas asociadas a la generación distribuida explican, en gran parte, esta situación.

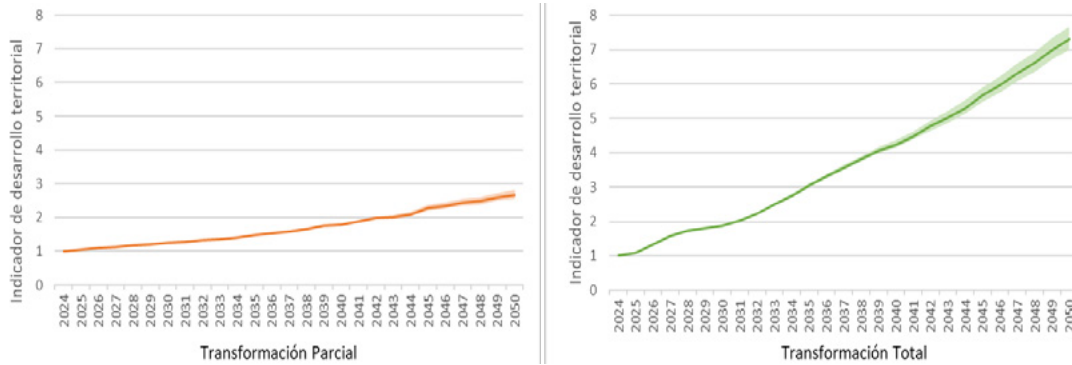


Figura 7-16. Indicador de desarrollo territorial para ambos escenarios. El indicador muestra el incremento en la posibilidad de desarrollo territorial de cada escenario respecto del año base (2024)

La Figura 7-17 muestra el potencial de conflictividad socioambiental que podrían tener los escenarios elaborados. Este potencial, basado en estadísticas internacionales¹⁸ sobre conflictos socioambientales relacionados a la producción de energía, podría reducirse a la mitad en el escenario de *Transformación Total* respecto al de *Transformación Parcial*, que sostiene la producción de combustibles fósiles. Esto no implica que los conflictos no puedan generarse en la producción de energía mediante otros recursos y tecnologías, por lo que el escenario de *Transformación Total* también presenta algún potencial de conflictividad asociado, principalmente, a la extracción de litio, a la producción de biodiesel y a la instalación de grandes centrales eólicas y solares.

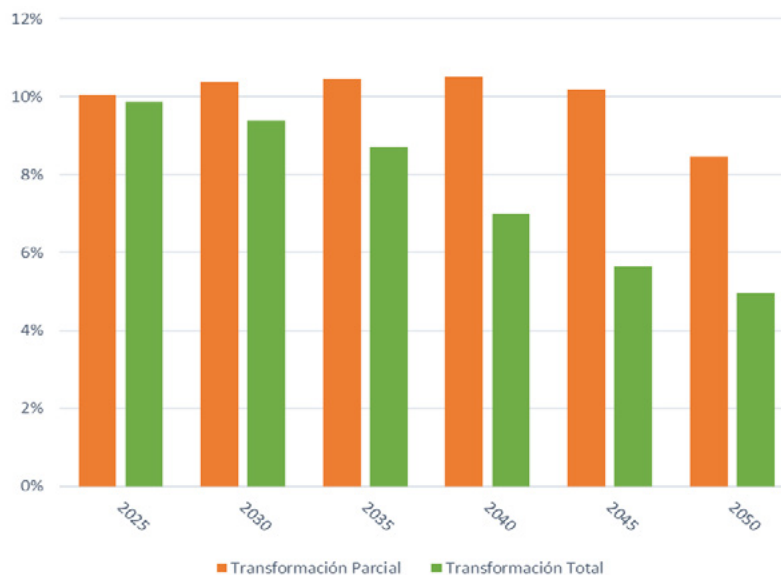


Figura 7-17. Conflictividad socioambiental

18. UAB. 2023. Atlas Global de Justicia Ambiental. Universidad Autónoma de Catalunya. <https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/presentan-el-atlas-global-de-justicia-ambiental-1345680342040.html?articleId=1345668606152>

La Figura 7-18 muestra la potencial contribución de cada escenario a la soberanía energética. Este indicador está construido a partir del potencial aporte a la diversificación de la matriz, al desarrollo territorial, al desarrollo tecnológico nacional, a la creación de empleos, al costo total del sistema energético, a la conflictividad socioambiental, y a los diversos impactos socioambientales evaluados anteriormente.

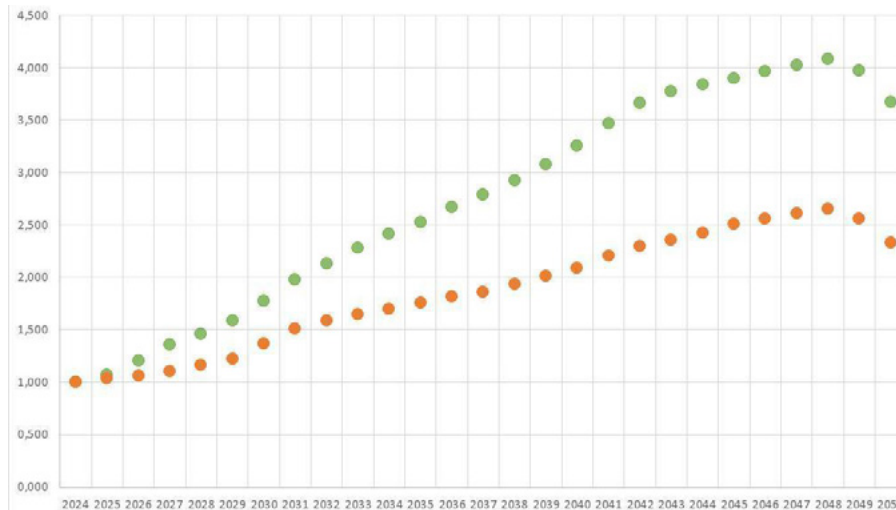


Figura 7-18. Soberanía energética

De la Figura 7-18 se puede observar que el escenario de *Transformación Total* podría mejorar la contribución a la soberanía energética respecto del escenario de *Transformación Parcial*, tomando como referencia la situación actual evaluada con el mismo indicador.

7. Comparativa con escenarios oficiales

A través de las Resoluciones 517/2023 y 518/2023, la Secretaría de Energía del Ministerio de Economía de la Nación aprobó el “Plan Nacional de Transición Energética al 2030”¹⁹ y los “Lineamientos y Escenarios para la Transición Energética a 2050”²⁰, respectivamente. En estos documentos, la Secretaría de Energía delinea el rumbo y establece las metas que alcanzaría el sector energético a 2030 y a 2050, tanto en términos de producción de recursos energéticos primarios y de energía eléctrica, como también de la demanda energética proyectada de los diferentes sectores de uso final, y las emisiones de gases de efecto invernadero que se alcanzarían en los diferentes escenarios planteados.

Estos escenarios energéticos oficiales dejan en claro las políticas del gobierno nacional actual (junio 2023) en materia de hidrocarburos a partir de la expansión de la producción de petróleo y gas y de la infraestructura asociada a la extracción, transporte, transformación, acondicionamiento y distribución.

En este apartado se hace una comparación, a partir de una serie de indicadores claves, entre los escenarios oficiales plasmados en la Resolución 518/2023 “Lineamientos y Escenarios para la Transición Energética a 2050” y los escenarios energéticos alternativos elaborados para este trabajo.

19. Boletín Oficial de la República Argentina. 2023. <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/289826/20230707>

20. Boletín Oficial de la República Argentina. 2023. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-518-2023-386322>

La Figura 8-1 compara la penetración de energías renovables en la generación de energía eléctrica, el porcentaje de sustitución de gas fósil y la penetración de vehículos eléctricos en el parque automotor.

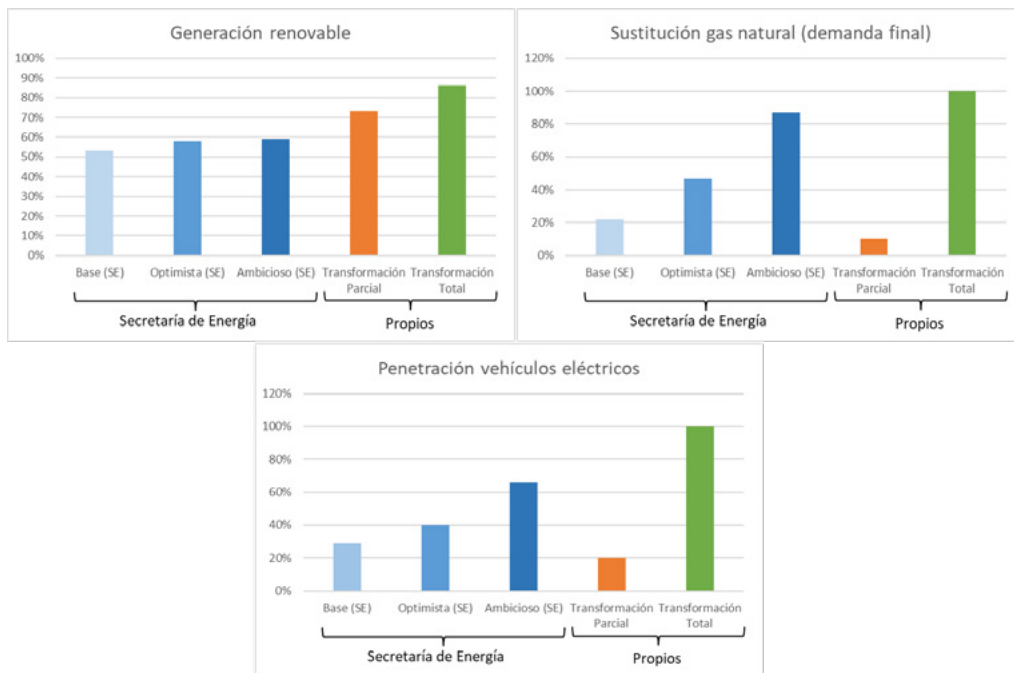


Figura 8-1. Comparativa del alcance de diferentes medidas modeladas en cada escenario

Se puede ver en la Figura 8-1 que el escenario oficial denominado “ambicioso” se acerca en los tres aspectos al escenario de *Transformación Total*.

La Figura 8-2 compara las emisiones de GEI de cada uno. Si bien el escenario oficial “ambicioso” reduce considerablemente las emisiones, no alcanza a las emisiones nulas a 2050 que alcanza el escenario de *Transformación Total* elaborado para este trabajo.

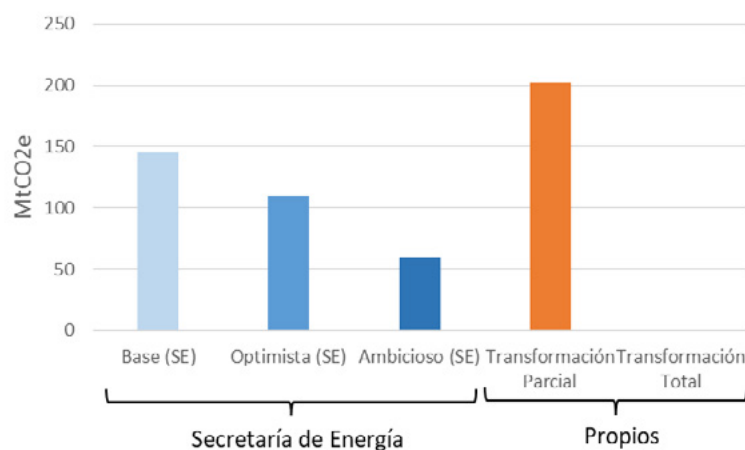


Figura 8-2. Comparativa de las emisiones totales del sector de la energía alcanzadas en 2050 para cada escenario

Por último, la Figura 8-3 compara la creación de empleos en todos los escenarios. Puede observarse que el de *Transformación Total* más que duplica la creación de empleo con respecto al escenario oficial “ambicioso”.

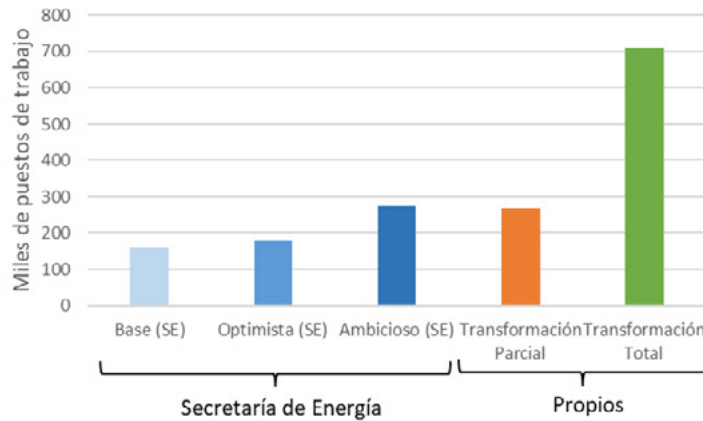


Figura 8-3. Comparativa de la creación de puestos de trabajo generados en 2050 para cada escenario

La comparativa realizada entre los escenarios oficiales presentados en la Resolución 518/2023 y los escenarios energéticos alternativos elaborados para este trabajo está limitada por la información brindada en la Resolución, la cual no incluye datos sobre otros posibles impactos socioeconómicos, socioambientales y político-institucionales que sí se evalúan para los escenarios elaborados para este trabajo.

8. Estrategia comunicacional para la transición energética

La necesidad de incorporar la dimensión comunicacional en la transición energética radica en que el cambio de hábitos y comportamientos individuales y sociales es determinante en el proceso de transición. Esto opera tanto en el nivel de toma de decisiones y regulación para la producción de energía como en los patrones de consumo de bienes y servicios, incluida la energía.

Para que se produzcan cambios de hábitos y comportamientos sostenidos en el tiempo deben transformarse ciertas formas de entender el desarrollo y el significado de prosperidad individual y de sociedad en su conjunto. Estas transformaciones son parte de un proceso social sobre el que se puede intervenir, pero no dirigir ni controlar. Dicho todo lo anterior, es preciso asumir que la revisión y transformación de prácticas de producción y patrones de consumo es un proceso de largo plazo.

Será preciso distinguir mensajes en función del nivel socioeconómico y el estilo de vida de los diferentes públicos. Mientras que cerca del 20% de los hogares debería disminuir consumos superfluos, otro 40% necesita incrementar su capacidad de consumo para cubrir sus necesidades básicas en materia energética. Apelar a motivaciones éticas para limitar el consumo de bienes y servicios, e indirectamente el consumo energético, no puede ser el primer paso en la comunicación de la transición energética dirigida a un público general.

Por el momento, lo colectivo, en relación con la crisis energética, tiene breves apariciones en el discurso social. Un ámbito más focalizado de expresión de lo colectivo es el de las comunidades afectadas por sitios de explotación de hidrocarburos. Más allá del nivel de participación o no de los usuarios que intervienen en la conversación, sus discursos están asentados en una lógica colectiva: el territorio y su riqueza natural como bien común. En este contexto, cabe preguntarse cómo motivar para el cambio a personas que no han sido alcanzadas aún por los efectos de una matriz energética basada en combustibles fósiles, y que tampoco llegan a percibir, por distintos motivos, la relación causal entre esa matriz y la crisis climática.

Tanto la producción como el consumo de energía están gobernados por lógicas económicas. Desde el concepto mismo de ahorro energético hasta la proyección del ingreso de divisas por la explotación de Vaca Muerta, pasando por las tarifas y la cantidad de días sin suministro, la energía está cuantificada en términos de dinero. En un escenario social donde la escasez, tanto económica como energética, se ha instalado como una constante, ¿cómo hablar de la necesidad de un cambio de sistema cuando la población aún espera que el actual funcione correctamente? La imperiosa necesidad de encarar una transición energética llega mucho antes de que la mayoría de la población esté siquiera enterada, mucho menos convencida del asunto.

La inminente necesidad de la transición no puede esperar a que las personas, y la sociedad en su conjunto, adapten sus estilos de vida a una nueva matriz energética. En consecuencia, todo plan comunicacional de la transición estará dirigido a un público no conocedor, no convencido y en muchos casos hasta reactivo al cambio.

La primera conclusión que surge del análisis es la complejidad de la cuestión energética, no sólo por las relaciones de poder que se entretajan en el negocio de la energía, sino también por la trama simbólica asociada a su uso, expresada en un cúmulo de instancias comunicacionales. Es por ello que abordar un camino de transición energética requiere una visión multidisciplinar, que considere e intervenga en todos los planos.

Comunicar la transición energética requiere encontrar o construir los puntos de contacto entre la necesidad de la transición y la realidad actual de crisis energética para productores, usuarios y el resto de los actores.

La idea de la energía como servicio básico podría ser un punto de partida común para empezar a comunicar la transición asociada a la crisis energética. Vincular atributos como seguridad y autonomía a un servicio básico como “la luz” puede resultar muy conveniente.

A modo de estrategia comunicacional, proponemos cinco líneas de acción para instalar gradualmente el tema de la transición energética y las motivaciones para el cambio.

Estas líneas se pueden entender también como etapas en el que se va proponiendo más involucramiento a los destinatarios.

1. Desnaturalizar a la energía como un servicio “dado”, sin considerar su origen, los recursos naturales involucrados, la cadena de suministro y los impactos socioambientales asociados.

La condición de la energía como bien intermedio y, por lo tanto, como un servicio “dado”, hace que sólo la experiencia de una interrupción en el suministro haga visible su existencia.

En este contexto, desnaturalizar implica observar y caracterizar el servicio de suministro eléctrico, y energético en general, sin dar nada por sentado. Supone desarmar supuestos, y en ese proceso, reasignar valores a puntos de vista y hábitos de producción y consumo de energía.

2. Conocer el circuito de la energía: del origen al efecto

Un paso más allá que desnaturalizar, y probablemente su consecuencia, es conocer el trayecto de la energía eléctrica hasta el interruptor. Sólo comprendiendo sus orígenes se podrán entender, o al menos atender, los argumentos de la transición, así como deconstruir el discurso épico construido sobre la explotación de hidrocarburos en Argentina.

3. Conectar a la comunidad mediante bienes comunes del territorio

Esta fase pretende responder a la pregunta: ¿qué tiene que ver el modo de producción de energía conmigo? Sea para usuarios individuales o colectivos, la relevancia e implicación con una problemática se construye según la proximidad a ella, un punto clave de la transición cultural necesaria para la transición energética.

4. Producir autonomía: fin de la centralización y el control del flujo energético

Fomentar la autonomía implica descentralizar el manejo de la producción energética. Las empresas proveedoras de energías renovables ya hablan de autonomía y democratización, pero la conexión de ese discurso con la realidad de los usuarios es casi nula y no genera repercusión alguna. Sin embargo, el concepto de autonomía y, primordialmente, su experiencia en un contexto de crisis de suministro eléctrico, es casi una situación ideal.

5. Entrenar la mirada de largo plazo: riesgos en el territorio, en el tiempo. Reflexiones sobre nuestra huella

Esta línea comunicacional está planteada en último lugar porque es una línea de fondo. En un contexto social en que prima la mirada de corto plazo debido al alto grado de incertidumbre en que se vive, entrenar la mirada de largo plazo no es tarea fácil, pero sí necesaria.

El Estado, desde cada uno de sus poderes y desde todos los niveles, debe ser el principal promotor e instrumentador de la transición energética. Sin embargo, nos preguntamos hasta qué punto un actor puede predicar un cambio de paradigma si muchas de sus acciones en materia energética se orientan en sentido contrario. La falta de integridad y coherencia de un emisor le resta legitimidad y puede determinar el fracaso de su prédica.

Mientras se disputa la política energética a nivel nacional, la comunicación de la transición puede ir construyendo un terreno fértil de abajo hacia arriba, trabajando en la transición cultural de largo plazo. Consideramos que los estados locales y las organizaciones de la sociedad civil –que en ocasiones intervienen en la construcción e implementación de políticas a escala local– son actores que pueden asumir un rol de emisor comprometido con el camino de la transición.

9. Primeros pasos para la transición

En general, cuando se proyectan y analizan las posibles transformaciones de un sistema energético se miran los resultados y las consecuencias en el corto, mediano y largo plazo, pero pocas veces se analiza su inicio, los primeros pasos de la transición.

El sistema energético de cualquier país es una suma de elementos y de actores enlazados e interactuando de manera compleja, por lo que una modificación en alguno de esos elementos desencadenará cambios sobre los otros, impactando sobre uno o, más probablemente, varios de los actores.

Estos actores incluyen a: empresas privadas y públicas vinculadas a la oferta de energía en sus distintas etapas; trabajadores vinculados directa o indirectamente al sistema energético; hogares, comercios, industrias, personas físicas y jurídicas que consumen energía en cualquiera de sus formas; y al Estado como administrador y regulador del sistema. Esto significa que cada miembro de la sociedad, de una manera u otra, es actor del sistema energético.

Esto implica que dar los primeros pasos hacia la transición requiere un diálogo entre actores para acordar una visión a futuro del sistema energético, algunos objetivos generales básicos, un sendero tentativo de transformación y sus primeras acciones, de modo tal que no haya “perdedores” en ninguna etapa de la transición²¹. El diálogo debería considerar y evaluar ex-ante y de forma sistémica las consecuencias socioeconómicas, socioambientales y político-institucionales del sistema energético actual, y a partir de allí pensar escenarios a futuro que eviten o mitiguen los aspectos negativos y potencien las consecuencias positivas²².

A partir de esa visión común se debería abordar una serie de aspectos que facilitarían los primeros pasos de la transición²³. Sin pretender dar un orden de prioridades en cuanto a su relevancia, los aspectos centrales a debatir deberían incluir:

El *redireccionamiento gradual de subsidios* a la energía hacia el desarrollo y explotación de otros recursos energéticos y sus tecnologías de transformación, así como hacia nuevas tecnologías para la demanda. Esto podría apalancar nuevos emprendimientos productivos y cadenas de valor locales y regionales con la consiguiente creación de empleos de calidad²⁴. El financiamiento y la cooperación internacional también deberían alinearse con este fin.

En este sentido, la *generación distribuida*, tanto de energía eléctrica como de energía térmica (calor), cobra especial relevancia, ya que su escala y carácter modular facilitan el financiamiento a partir de ese redireccionamiento de subsidios e incluso del sistema financiero local. A su vez, la generación distribuida de energía contribuiría al *desarrollo tecnológico* local y al *desarrollo territorial* a través de la creación de los ya mencionados emprendimientos productivos y cadenas de valor.

21. MECON. 2019. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/se-presentaron-los-resultados-del-proceso-hacia-una-vision-compartida-de-la-transicion>

22. Secretaría de Energía, Argentina. 2019. <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg01090.pdf>

23. Blanco, G. y D. Keesler, 2020. Elementos para una Estrategia a Largo Plazo Baja en Carbono. Centro de Tecnologías Ambientales y Energía, Facultad de Ingeniería, UNICEN. Editado por Fundación Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2020/07/UNICEN-Elementos-para-alcanzar-la-carbono-neutralidad-a-2050_2.pdf

24. Blanco, G. y D. Keesler, 2021. La Transición Energética en la Argentina y los Subsidios a los Fósiles. Centro de Tecnologías Ambientales y Energía, Facultad de Ingeniería, UNICEN. Editado por Fundación Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2021/11/RESUMEN_SUBSIDIOS_links.pdf

Muchos actores del sector, tanto en la Argentina como a nivel global, sostienen que el gas fósil debería ser el combustible a utilizar mayoritariamente *durante la transición*, por su relativa abundancia y las menores emisiones de gases de efecto invernadero en relación al petróleo y al carbón. Sin embargo, en la Argentina esta discusión estaría saldada antes de comenzar, ya que cualquiera sea el escenario energético analizado, hará falta tanto gas como petróleo por más de dos décadas hasta lograr reconvertir los consumos residenciales, comerciales, industriales y del transporte, que hoy utilizan esos combustibles fósiles.

Pero una cosa es continuar produciendo y utilizando gas y petróleo mientras se “transiciona” hacia otra matriz energética, reduciendo gradualmente su extracción, y otra diferente es expandir la frontera de producción y la infraestructura para su transformación, transporte y uso final, que es lo que se intenta hacer a partir de las políticas actuales del sector. En este último caso, ya no estaríamos hablando de transición energética, ya que la magnitud de las inversiones necesarias para llevar adelante esta expansión requiere de varias décadas, y en algunos casos más de medio siglo, para recuperación del capital invertido. Esta situación podría tener como consecuencia la generación de los llamados “*activos varados*”, a partir de la salida de servicio de infraestructura antes de que alcance su vida útil, o de que se llegue a recuperar el capital invertido; situación que podría darse en caso de que avance la transición en la Argentina y en el mundo hacia una matriz energética basada en recursos renovables.

A favor de esta expansión de la frontera productiva de gas y petróleo, se mencionan también potenciales beneficios que tendría para la *balanza comercial* de la Argentina, ya que los excedentes de la producción que no se consumieran localmente se podrían exportar. Esta proyección es discutible ya que, por un lado, lo que queda en el país son regalías que representan un porcentaje menor de las ventas de gas y petróleo al exterior mientras que la parte sustantiva de esas ventas queda para las empresas productoras. Por otro lado, tampoco está claro cuál sería el mercado para esas exportaciones en un contexto de transición energética global hacia energías renovables a la luz de la crisis climática y las cuestiones geopolíticas vinculadas a la energía.

La producción de energía eléctrica y térmica a partir de recursos energéticos renovables para la *sustitución de energía termoeléctrica de origen fósil y de gas fósil* de uso final sí reduciría la necesidad de importar gas fósil de Bolivia o GNL desde otros países, impactando positivamente en la balanza comercial de forma directa e inmediata.

Un apartado especial requiere la *movilidad* urbana e interurbana de personas y el transporte de mercaderías. Los sectores de la energía y el transporte están intrínsecamente vinculados, por lo que accionar sobre la movilidad y el transporte debería ser parte de los primeros pasos de la transición energética. La planificación urbana y el desarrollo de infraestructuras, la normativa, la educación y la concientización son elementos clave para facilitar la transición hacia la movilidad no motorizada, al cambio modal y al uso de vehículos particulares o públicos²⁵.

Estos aspectos de la transición energética llevan a la discusión sobre la necesidad de asegurar una *transición laboral justa* para los trabajadores del sector de los hidrocarburos, directos e indirectos²⁶. Nuevamente, aquí hay que resaltar que la explotación de gas y petróleo continuará, necesariamente, por los próximos 20 años o más, cualquiera sea el escenario considerado. Esto permitiría una transición gradual

25. Blanco, G. y D. Keesler, 2019. Movilidad Sustentable: Desafíos para la Argentina. Centro de Tecnologías Ambientales y Energía, Facultad de Ingeniería, UNICEN. Editado por Fundación Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2020/04/FARN-UNICEN_Movilidad-sustentable.-Desafios-para-la-Argentina.pdf

26. ILO. 2022. The future of work in the oil and gas industry: Opportunities and challenges for a just transition to a future of work that contributes to sustainable development. International Labour Organization 2022. ISBN 978-92-2-037558-7. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---sector/documents/publication/wcms_859846.pdf

de los trabajadores y empresas del sector hacia otras actividades vinculadas o no a la energía. No obstante, se deberá atender la situación y brindar capacitación y compensaciones económicas en los casos en que se requiera.

Entre los primeros pasos de la transición, se deberá repensar el rol del *sistema académico* en todos sus niveles y el rol del *sistema científico-tecnológico*. En cuanto al primero, es necesario fortalecer la *enseñanza multidisciplinaria* que contribuya y facilite la comprensión de problemáticas complejas como el cambio climático asociado, en gran parte, a la producción y consumo de energía, que afectan el presente y el futuro de las sociedades. En relación más directa con la transición energética, el sistema académico, a su vez, debería empezar a desarrollar programas de *capacitación para la transición laboral*, pensando en las posibles migraciones de trabajadores de sectores productivos que irán perdiendo relevancia a medida que la transformación del sistema energético avance a favor de nuevos sectores que irán creciendo y desarrollándose.

En relación al sistema científico-tecnológico, es necesario fortalecer las *líneas estratégicas* de investigación, desarrollo e innovación que apunten, por un lado, a brindar soluciones a las *problemáticas centrales del desarrollo* del país a partir de proyectos y actividades que integren científicos y expertos de múltiples disciplinas; y por otro, a fortalecer la *vinculación* tanto con el *medio productivo* como con *tomadores de decisiones* de distintos niveles de gobierno municipal, provincial y nacional. Esta vinculación debería atravesar los poderes ejecutivo, legislativo y judicial.²⁷

Los primeros pasos también deberán incluir la revisión de la *legislación y normativa vigente* en materia energética y otra cuyos alcances impacten en el sistema energético. La revisión debería alinearse con la visión de corto, mediano y largo plazo y con los objetivos generales acordados previamente entre los actores involucrados. La revisión de la legislación y normativa vigente debería *fortalecer la participación de esos actores para la evaluación sistémica e integral ex-ante de las acciones*, cubriendo aspectos socioeconómicos, socioambientales y político-institucionales, y facilitar así su implementación.

A nivel global, y también en la Argentina, se debate sobre los beneficios de establecer precios al carbono a partir de diferentes instrumentos de política económica²⁸. En ese debate, el impuesto al carbono aparece como una opción de aplicación relativamente sencilla y de resultados inmediatos²⁹. Sin embargo, cuando se analizan más detenidamente las implicancias de la implementación de un impuesto al carbono, surgen una cantidad de *cuestionamientos sobre el impacto final* sobre las personas en relación a los costos adicionales de bienes y servicios cuya producción está sostenida por el uso de combustibles fósiles^{30 31}.

Finalmente, los primeros pasos de la transición energética deberán incluir el diseño y el inicio de la implementación de una estrategia comunicacional para la concientización de la población y del resto de

27. MINCYT. 2017. Identificación de las problemáticas centrales de la Argentina para alcanzar un desarrollo sustentable. Comisión Asesora de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo Sustentable (CADES). https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/est_amb_identificacion-problematicas-centrales-para-desarrollo-sustentable-2017.pdf

28. Kreibiehl, S., T. Yong Jung, S. Battiston, P. E. Carvajal, C. Clapp, D. Dasgupta, N. Dube, R. Jachnik, K. Morita, N. Samargandi, M. Williams, 2022: Investment and finance. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.017. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter15.pdf

29. CEPAL. 2017. Efectos potenciales de un impuesto al carbono sobre el producto interno bruto en los países de América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/41867/S1700590_es.pdf

30. Vogt-Schilb, Adrien. 2019. ¿Podemos reducir las emisiones sin un impuesto al carbono?. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://blogs.iadb.org/ideas-que-cuentan/es/podemos-reducir-las-emisiones-sin-un-impuesto-al-carbono/>

31. Lebreault, José. 2021. 18 Ventajas y desventajas del impuesto al carbono. Proyecto Vida Plena. <https://proyectovidaplena.com/18-ventajas-y-desventajas-del-impuesto-al-carbono/>

los actores sobre la necesidad de transformar el sistema energético^{32 33}. Esta estrategia deberá servir para *motivar los cambios de algunos hábitos y comportamientos individuales y sociales* que serán imprescindibles para transformar patrones de consumo y aceptar nuevas formas de producir y consumir tanto energía como bienes y servicios en general³⁴.

10. A modo de conclusión

Los resultados de los escenarios energéticos alternativos elaborados muestran que otra forma de producir y consumir energía es posible en la Argentina.

Estos escenarios permiten, en primer lugar, poner en evidencia las magnitudes en juego para lograr la transformación del sistema energético. Estas magnitudes incluyen, entre otras, los recursos energéticos primarios necesarios para la sustitución parcial o total de los combustibles fósiles, los requerimientos específicos de potencia para la generación de energía eléctrica a base de fuentes renovables, las necesidades de infraestructura para el transporte y distribución de energía eléctrica, y los costos totales del sistema energético.

En segundo lugar, puede observarse del análisis que, cualquiera sea el escenario evaluado, estos presentarán claroscuros en relación a las potenciales consecuencias sobre distintos aspectos socioeconómicos, socioambientales y políticos institucionales que hacen a la sustentabilidad del sistema. Así puede observarse que el escenario de *Transformación Total* elaborado para este trabajo presenta potenciales consecuencias positivas en una cantidad de aspectos como costos totales, emisiones de GEI, creación de empleo, desarrollo territorial y tecnológico, soberanía energética, entre otros; aunque, al mismo tiempo, muestra potenciales impactos negativos vinculados al uso del suelo, e incluso a la diversificación de la matriz hacia el final del período.

Esto resalta la importancia de llevar adelante un análisis sistémico de cada política, medida o proyecto que conduzca a la transformación del sistema energético. Los indicadores elaborados para este trabajo son una muestra parcial y, en algunos casos, aproximada del tipo de evaluación que debería realizarse *a priori* de la implementación de cualquier política, medida o proyecto específico. A partir de este análisis se puede actuar anticipadamente potenciando las consecuencias positivas y mitigando o evitando las posibles consecuencias negativas.

32. SEAI. 2022. Communication strategies to encourage energy conservation. Sustainable Energy Authority of Ireland. <https://www.seai.ie/data-and-insights/behavioural-insights/publications/communication-strategies/Communication-strategies-to-encourage-energy-conservation.pdf>

33. Dupar, M., with McNamara, L. and Pacha, M. 2019. Communicating climate change: A practitioner's guide. Cape Town: Climate and Development Knowledge Network. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Communicating%20climate%20change_Insights%20from%20CDKNs%20experience.pdf

34. UCL. 2023. Handbook for Communicating Climate Change. https://www.ucl.ac.uk/climate-change/sites/climate_change/files/ucl_climate-change_handbook-for-comms.pdf

En este trabajo se plantea la necesidad de discutir los primeros pasos de la transición, considerando que exista un entendimiento sobre su necesidad para lo cual se propone un diálogo abierto entre todos los actores intervinientes con el fin de acordar una visión general de mediano y largo plazo. Con este fin, se discuten en este documento una serie de elementos y acciones que deberían considerarse como posibles primeros pasos. Entre estos se encuentran: la revisión del marco normativo para identificar cambios que faciliten la transición, el redireccionamiento gradual de los subsidios al actual sistema energético para apalancar la transición, y la transición gradual de trabajadores hacia otros sectores planificando su capacitación y compensación económica cuando sea necesario.

Por último, y como parte de los primeros pasos para la transición, se resalta la importancia de diseñar e implementar una estrategia para comunicar la necesidad de la transformación del sistema energético. Una transformación de tal magnitud, que involucra directa o indirectamente a cada individuo, familia, empresa, institución y organismo público del país, no puede llevarse adelante sin que haya una aceptación racional y/o emocional de los cambios que esa transformación implicaría, que incluyen algunos patrones de consumo, de comportamientos individuales y sociales, y, en algunos casos, de estilos de vida.

11. Referencias

Bass, Frank (1969) "A New Product Growth Model for Consumer Durables". Management Science, Vol 15 (5), 215-227.

Bass, Frank (2004) "Comments on "A New Product Growth Model for Consumer Durables": The Bass Model" Management Science, 50, N 12, pp. 1833-1840

Blanco, G. y D. Keesler, 2019. Movilidad Sustentable: Desafíos para la Argentina. Centro de Tecnologías Ambientales y Energía, Facultad de Ingeniería, UNICEN. Editado por Fundación Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2020/04/FARN-UNICEN_Movilidad-sustentable.-Desafios-para-la-Argentina.pdf

Blanco, G. y D. Keesler, 2020. Elementos para una Estrategia a Largo Plazo Baja en Carbono. Centro de Tecnologías Ambientales y Energía, Facultad de Ingeniería, UNICEN. Editado por Fundación Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2020/07/UNICEN-Elementos-para-alcanzar-la-carbono-neutralidad-a-2050_2.pdf

Blanco, G. y D. Keesler, 2021. La Transición Energética en la Argentina y los Subsidios a los Fósiles. Centro de Tecnologías Ambientales y Energía, Facultad de Ingeniería, UNICEN. Editado por Fundación Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2021/11/RESUMEN_SUBSIDIOS_links.pdf

Blanco, G. y D. Keesler (2022). Transición energética en la Argentina: Construyendo alternativas. Centro de Tecnologías Ambientales y Energía, Facultad de Ingeniería, UNICEN. Editado por Fundación Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Blanco, G. y D. Keesler (2023). Energías Renovables para la Transición Energética: Una Mirada Integral. Centro de Tecnologías Ambientales y Energía, Facultad de Ingeniería, UNICEN. Editado por Fundación Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2023/07/DOC_UNICEN_links.pdf

Boletín Oficial de la República Argentina. 2016. <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/151052/20160919>

Boris Hofmann, Deniz Igan and Daniel Rees. 2023. The changing nexus between commodity prices and the dollar: causes and implications. Bank for International Settlements. ISSN: 2708-0420. <https://www.bis.org/publ/bisbull74.pdf>

Bjørnland, Hilde C. 2022. Challenges for monetary policy in a rapidly changing world. European Central Bank. https://www.ecb.europa.eu/pub/conferences/ecbforum/shared/pdf/2022/Bjornland_paper.pdf

CEPAL. 2017. Efectos potenciales de un impuesto al carbono sobre el producto interno bruto en los países de América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/41867/S1700590_es.pdf

Dupar, M., with McNamara, L. and Pacha, M. 2019. Communicating climate change: A practitioner's guide. Cape Town: Climate and Development Knowledge Network. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Communicating%20climate%20change_Insights%20from%20CDKNs%20experience.pdf

Geroski, P. A. (2000). Models of technology diffusion. *Research policy*, 29(4-5), 603-625.

Hall, B. H., & Khan, B. (2003). Adoption of new technology. NBER Working Paper No. 9730. <http://www.nber.org/papers/w9730>. NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH. Cambridge, JEL No. O3, L1.

Heaps, C. G. (2022). Low Emission Analysis Platform (LEAP). Retrieved from <https://www.sei.org/projects-and-tools/tools/leap-long-range-energy-alternatives-planning-system/>

IPCC. 2023. AR6 Synthesis Report (SYR). <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

IRENA. (2023). World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway, Volume 1, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_World_energy_transitions_outlook_v1_2023.pdf?rev=261b3ae18f70429ea8cf595d5a4bee18

Kreibiehl, S., T. Yong Jung, S. Battiston, P. E. Carvajal, C. Clapp, D. Dasgupta, N. Dube, R. Jachnik, K. Morita, N. Samargandi, M. Williams, 2022: Investment and finance. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.017. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter15.pdf

Leah Temper, Daniela del Bene and Joan Martinez-Alier. 2015. Mapping the frontiers and front lines of global environmental justice: the EJAtlas. *Journal of Political Ecology* 22: 255-278. <https://journals.librarypublishing.arizona.edu/jpe/article/id/1932/>

Lebreault, José. 2021. 18 Ventajas y desventajas del impuesto al carbono. Proyecto Vida Plena. <https://proyectovidaplena.com/18-ventajas-y-desventajas-del-impuesto-al-carbono/>

MAyDS. 2020. Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional de la República Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, República Argentina. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/segunda_contribucion_nacional_final_ok.pdf

MAyDS (2021) Cuarto Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC).

MAYDS. 2023. 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

MECON. 2019. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/se-presentaron-los-resultados-del-proceso-hacia-una-vision-compartida-de-la-transicion>

MINCYT. 2017. Identificación de las problemáticas centrales de la Argentina para alcanzar un desarrollo sustentable. Comisión Asesora de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo Sustentable (CADES). https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/est_amb_identificacion-problematicas-centrales-para-desarrollo-sustentable-2017.pdf

Ministerio de Economía (2021B) Producción de Petróleo y Gas, <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/hidrocarburos/produccion-de-petroleo-y-gas>

Ministerio del Ambiente Perú (2023) Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/estadisticas>

Romero I., Cristóbal M. (2020) Herramienta para el Fomento de Instalaciones Solares Fotovoltaicas en la Ciudad de Buenos Aires, para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. https://www.buenosaires.gob.ar/sites/gcaba/files/herramienta_sfv_caba_-_reporte_final.pdf

Sabatini, F. (1997). Conflictos ambientales y desarrollo sustentable de las regiones urbanas. Revista eure, vol. XXII, N° 68, pp. 77-91.

Secretaría de Energía, Argentina. 2019. <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg01090.pdf>

SEAI. 2022. Communication strategies to encourage energy conservation. Sustainable Energy Authority of Ireland. <https://www.seai.ie/data-and-insights/behavioural-insights/publications/communication-strategies/Communication-strategies-to-encourage-energy-conservation.pdf>

Secretaría de Energía (2023) Resolución N° 36/2023. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/renovables/convocatoria-abierta-nacional-e-internacional-renmdi>

UCL. 2023. Handbook for Communicating Climate Change. https://www.ucl.ac.uk/climate-change/sites/climate_change/files/ucl_climate-change_handbook-for-comms.pdf

Vogt-Schilb, Adrien. 2019. ¿Podemos reducir las emisiones sin un impuesto al carbono?. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://blogs.iadb.org/ideas-que-cuentan/es/podemos-reducir-las-emisiones-sin-un-impuesto-al-carbono/>

Transición Energética: Escenarios a 2050 para la Argentina

Posibles implicancias socioeconómicas y socioambientales,
y primeros pasos para la transición.

Elaborado por

Centro de Tecnologías Ambientales y Energía
Facultad de Ingeniería
UNICEN

Autores principales

Daniela Keesler
Gabriel Blanco

Colaboradores

Valentina Álvarez Madrid
Marcela Bavio
Valentina Castiglione
Verónica Córdoba
Karen Godoy
Verónica Gutman
Florencia Jerez
Alejandra Manzur
Ariel Mariño
Nicolás Pereyra
Federico Ponce
Pamela Ramos
Ximena Tobi
Lucrecia Wagner

Diciembre 2023