



Universidad Nacional de Lanús

Departamento de Planificación y Políticas

Maestría en Gestión de la Energía

Descarbonización de la matriz de energía eléctrica de la Argentina

Alumna: Lic. María Eugenia Rallo

Director/a de Tesis: Mg. Ing. Mariela Beljansky

Fecha de entrega:

Índice

Listado de tablas	3
Listado de gráficos.....	3
Listado de ilustraciones	3
Listado de siglas	4
Agradecimientos	5
Introducción.....	6
Capítulo I – Contexto y escenarios al 2030.....	14
Objetivo y contexto	14
Escenarios Energéticos.....	15
Escenarios energéticos al 2030	17
Escenarios de Demanda	18
Escenario de demanda de energía eléctrica	18
Escenario de electrificación.....	19
Consumo de energía eléctrica evitado por la implementación de medidas de eficiencia energética.....	20
Escenarios de Oferta	22
Oferta interna total.....	22
Escenarios de generación de energía eléctrica	22
Consideraciones de la línea de base (2018) y escenarios 2030	25
Capítulo II – Costos de tecnologías de generación de energía eléctrica	33
Antecedentes y definiciones	33
Cálculo y resultados de LCOE	34
Capítulo III – Indicadores de descarbonización de la matriz de energía eléctrica y desarrollo sustentable	42
Indicadores de energía y desarrollo sustentable	42
Análisis de los indicadores	49
Capítulo IV – Conclusiones.....	58
Bibliografía	61

Listado de tablas

Tabla 1. Emisiones de GEI por subsector	9
Tabla 2. Incorporación de centrales hidráulicas y nucleares	23
Tabla 3. Oferta Interna Total de Energía. Año 2018 y 2020	26
Tabla 4. Potencia instalada (MW). Año 2018 y 2020	27
Tabla 5. Potencia instalada de energía renovable. Año 2018 y 2020	28
Tabla 6. Supuestos y valores para el cálculo de LCOE para tecnologías genéricas	37
Tabla 7. Resultados del cálculo de LCOE para tecnologías genéricas	38
Tabla 8. Indicadores de sustentabilidad vinculados a la descarbonización de la matriz de energía eléctrica	49
Tabla 9. Indicador de empleo/MW por tecnología	51
Tabla 10. Emisiones de gases y generación de energía eléctrica (año 2005-2016)	57

Listado de gráficos

Gráfico 1. Cambios en la temperatura global de la superficie con respecto a 1850-1900	7
Gráfico 2. Hitos clave en el camino hacia la red cero	11
Gráfico 3. Demanda de energía eléctrica 2005-2030	19
Gráfico 4. Ahorros acumulados según política de ahorro y eficiencia energética 2020-2030	21
Gráfico 5. Composición de la generación por fuente en escenario de electrificación masiva año 2018-2030	24
Gráfico 6 Cantidad de Usuarios-Generadores y Potencia instalada	53
Gráfico 7. Distribución de proyectos por sector y por potencia (kw)	53
Gráfico 8. Emisiones por la generación de electricidad por MWh y por tipo de tecnología (tCO _{2e} /MWh)	56

Listado de ilustraciones

Ilustración 1. Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible	43
Ilustración 2. Indicadores ODS 7 de seguimiento, líneas de base, metas intermedias y finales	45
Ilustración 3. Dimensiones e categorías de indicadores	47

Listado de siglas

CAMMESA	Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CIPPEC	Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GNL	Gas Natural Licuado
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial
IPCC	Panel Intergubernamental para el Cambio Climático
LACE	Costo de Electricidad Nivelado Evitado
LCOE	Costo nivelado de la energía
MAYDS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MW	Megavatios
MWh	Megawatts-hora
NDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional
NREL	Laboratorio Nacional de Energía Renovable
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
ReProEr	Registro de Proveedores de Energías Renovable
SAYDS	Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable
tep	Tonelada equivalente de petróleo
TWh	Teravatio-hora
USD	Dólar de los Estados Unidos de América

Agradecimientos

Terminar esta tesis fue un gran reto para mí ya que finalicé la cursada hace muchos años y desde siempre Leo estuvo presente alentándome a que la terminara. También quiero agradecer a mi mamá y mi papá que me enseñaron que con esfuerzo todo se alcanza.

Además, quería agradecer a Stefi por las mil horas on line compartidas armando nuestras tesis. Sin ese primer empujón no hubiera llegado hasta acá. A Andrea que tuvo la paciencia de explicarme todas mis dudas.

A Mariela que aceptó ser mi Directora sin pensarlo. Y, por último, a Laura y Alicia que me apoyaron este último año en un proceso que resultó sumamente efectivo.

Introducción

El cambio climático es el mayor problema de acción global colectiva que enfrenta la humanidad en el siglo XXI, cuya solución depende de la participación de todos los países en conjunto y que debe abordarse desde una perspectiva de equidad, igualdad y justicia. Esto es así ya que la atmósfera es un bien de uso público común, y en ella las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se mezclan de manera homogénea.

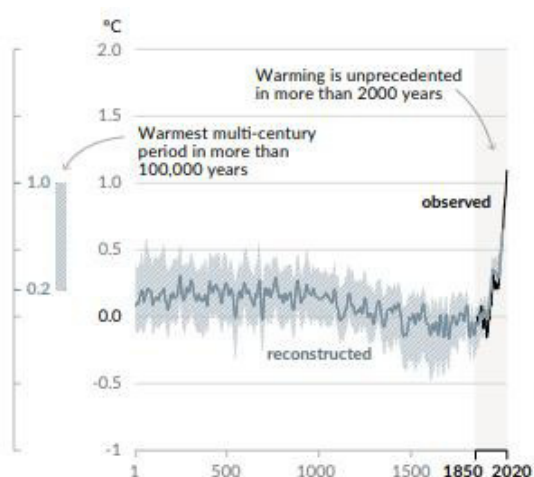
El reporte del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) denominado Calentamiento Global de 1,5 °C, presenta distintos escenarios de emisiones de GEI que se debería cumplir para que la temperatura global promedio del planeta no se incremente en más de 1,5 °C con respecto a valores preindustriales. Todos estos escenarios llegan a la conclusión que para el año 2050, las emisiones globales de GEI deben ser próximas a cero (Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, 2019).

Asimismo, recientemente se presentó un nuevo reporte del IPCC llamado la base de la ciencia física, en donde se establece que el clima del planeta ha cambiado y la influencia de nuestras acciones es inequívoca y, muchos de los impactos que actualmente se observan no tienen precedentes y son irreversibles por cientos o miles de años (Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, 2021).

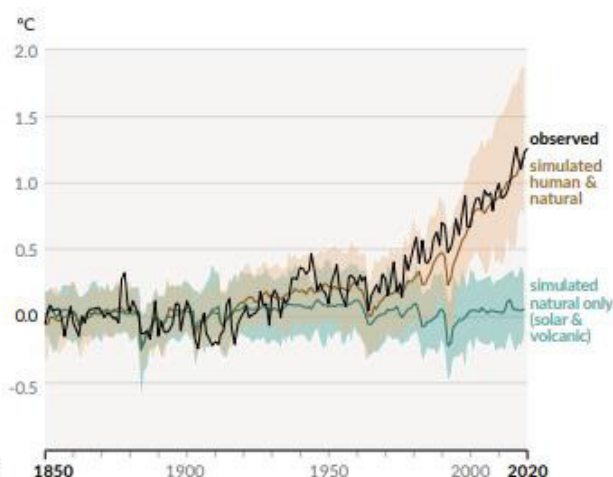
De la misma manera se observa que el aumento de la temperatura promedio en el periodo 2011-2020 se estima en 1,9 °C si se lo compara con 1850-1900. De eso se estima que 1,07 °C es producto de la actividad humana (ver gráfico 1).

GRÁFICO 1. CAMBIOS EN LA TEMPERATURA GLOBAL DE LA SUPERFICIE CON RESPECTO A 1850-1900

Cambio en la temperatura global de la superficie (media decenal) reconstruida (1-2000) y observada (1850-2020)



Cambio en la temperatura global de la superficie (media anual) observada y simulado utilizando factores humanos y naturales y sólo naturales (ambos 1850-2020)



Fuente: Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, 2021

También el reporte destaca que la actividad humana contribuyó al aumento de las precipitaciones, el retroceso de los glaciares, el calentamiento de los océanos y el aumento del nivel del mar. Y, los diferentes escenarios señalan que, a menos de tomar acción urgente, se alcanzaría el umbral de 1,5 °C de aumento en los próximos 20 años.

En este contexto mundial, en el año 2016 entró en vigor el Acuerdo de París en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el cual define un esquema de gobernanza y monitoreo global para lograr una reducción de las emisiones de los GEI durante las próximas décadas.

De esta manera, el Acuerdo de París establece el objetivo global de “mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático”. Además, define que “todas las Partes deberían esforzarse por formular y comunicar estrategias a largo plazo para un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero (...)” y asimismo, “estrategias de desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero a largo plazo, con vistas a mediados de siglo” (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2016).

De esta manera, los países partes de la CMNUCC y que han ratificado el Acuerdo de París deben presentar y actualizar sus Contribuciones Determinadas a nivel Nacional hacia el año 2030 y, además, su Estrategia a Largo Plazo hacia el año 2050.

En este marco, la Argentina adoptó el Acuerdo de París bajo la CMNUCC mediante la ley nº 27.270/2016. Bajo ese marco legal, en el año 2020 presentó a la CMNUCC una meta absoluta e incondicional establecida en la Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) de no exceder la emisión neta de 359 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂eq) en el año 2030 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020). Adicionalmente en abril de 2021, el gobierno argentino participó de la Cumbre de Líderes sobre el clima en el Día de la Tierra y, se estableció que se elevaba la NDC, a la presentada en 2020, por lo que la Argentina no debería exceder la emisión neta de 349 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂eq) en el año 2030. Esta contribución es un 27,7% menor a la meta presentada en el año 2016.

Como se puede observar en los párrafos anteriores, la NDC de la Argentina que informa a la CMNUCC es una meta absoluta en el año 2030, sin poder distinguir el porcentaje de reducción de emisiones de GEI por sector de la economía.

Además es importante destacar que la Argentina informó que será carbono neutral en el 2050 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020). Y actualmente sólo cinco países (Estados Unidos, Japón, Unión Europea, Canadá y Corea del Sur) presentaron posiciones similares a nuestro país. En particular para China fue para el año 2060 pero no anunciado de manera oficial ante la CMNUCCC.

Para el año 2016, a nivel global, el sector energético es la fuente de unas tres cuartas partes de las emisiones de GEI (Agencia Internacional de la Energía, 2021). Y, en el segundo lugar se encuentra el sector de agricultura, cambio de uso de la tierra y silvicultura con aproximadamente el 15% de las emisiones globales de GEI y, luego el sector de residuos y procesos industriales y uso de productos. Cuando se analiza los primeros diez países, ordenados respecto a las emisiones de GEI del sector energético para el año 2018, incluye a China, Estados Unidos, India, Rusia, Japón, Irán, Alemania, Canadá, Corea del Sur e Indonesia. Estos representan el 66,2% de las emisiones de GEI y aproximadamente el 64% de las emisiones acumuladas para el período 1990-2018 (Secretaría de Energía, 2021).

Respecto a la matriz primaria de estos países, en todos los casos existe un claro predominio de uso de hidrocarburos, principalmente el carbón¹. Este representa el primer lugar para China (58,2%) e India (55,9%) y es la segunda fuente energética en Indonesia (33,2%), Corea del Sur (29,3%) y Japón (25,9%). En el caso de Alemania cuenta al carbón como tercera fuente (20,5%), por encima de las fuentes renovables (14,6%). Y en Estados Unidos y Rusia tienen una participación de 13,8% y 12,2%, respectivamente. Para Canadá es del 4,2% y en Irán 0,5% (Secretaría de Energía, 2021).

Respecto al sector eléctrico, el carbón tiene un consumo en India (75,3%), China (66,5%) e Indonesia (58,5%). También es la primera fuente en Corea del Sur (44%) y en Alemania (35,3%) y la segunda fuente en Japón (33%) y Estados Unidos (27,9%). En cambio, Canadá tiene un fuerte predominio de la hidroelectricidad y Rusia e Irán del gas natural (Secretaría de Energía, 2021).

En el caso de la Argentina, respecto a las emisiones de GEI si analizamos el último Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, se puede observar que el sector de energía (que incluye la combustión del transporte terrestre por carretera) representa el 53% de las emisiones de GEI del país, y específicamente la generación de electricidad un 13%. Cabe destacar que este subsector, es el tercero en cuanto a la emisión de GEI, ya que el primero es la ganadería con un 21,6% y el segundo el transporte con un 13,8% (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2019).

TABLA 1. EMISIONES DE GEI POR SUBSECTOR

Subsector	Total MtCO ₂ e	%
Ganadería	78,63	21,6%
Transporte	50,22	13,8%
Generación de electricidad	47,83	13,1%
Cambio de uso de suelos y silvicultura	35,77	9,8%
Combustibles industrias	33,26	9,2%
Combustibles residencial	27,01	7,4%

¹ Se hace hincapié en carbón ya que es usualmente utilizado por su alta la intensidad, pero como contrapartida de esto emite 879 gCO₂/kWh, mientras que el petróleo 713 gCO₂/kWh y el gas natural unos 391 gCO₂/kWh.

Agricultura	21,12	5,8%
Procesos Industriales	20,05	5,5%
Fabricación de combustibles	16,79	4,6%
Emisiones fugitivas	10,52	2,9%
Residuos sólidos urbanos	9,12	2,5%
Combustibles otros sectores	7,79	2,1%
Aguas residuales	6,32	1,7%

Fuente: Elaboración propia en base a la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2019.

Asimismo, en la Argentina, la oferta interna total de energía², se caracteriza por su fuerte dependencia de los combustibles de origen fósil. Esta fuente representó en el año 2020 el 87% de la oferta interna total: 58% correspondió al gas natural, el 28% al petróleo y sus derivados, y el 2% al carbón (Ministerio de Economía, 2020). La energía hidráulica y nuclear aportan una baja participación en comparación a las otras fuentes mencionadas anteriormente, pero presentan mayor relevancia cuando se analiza la generación de energía eléctrica.

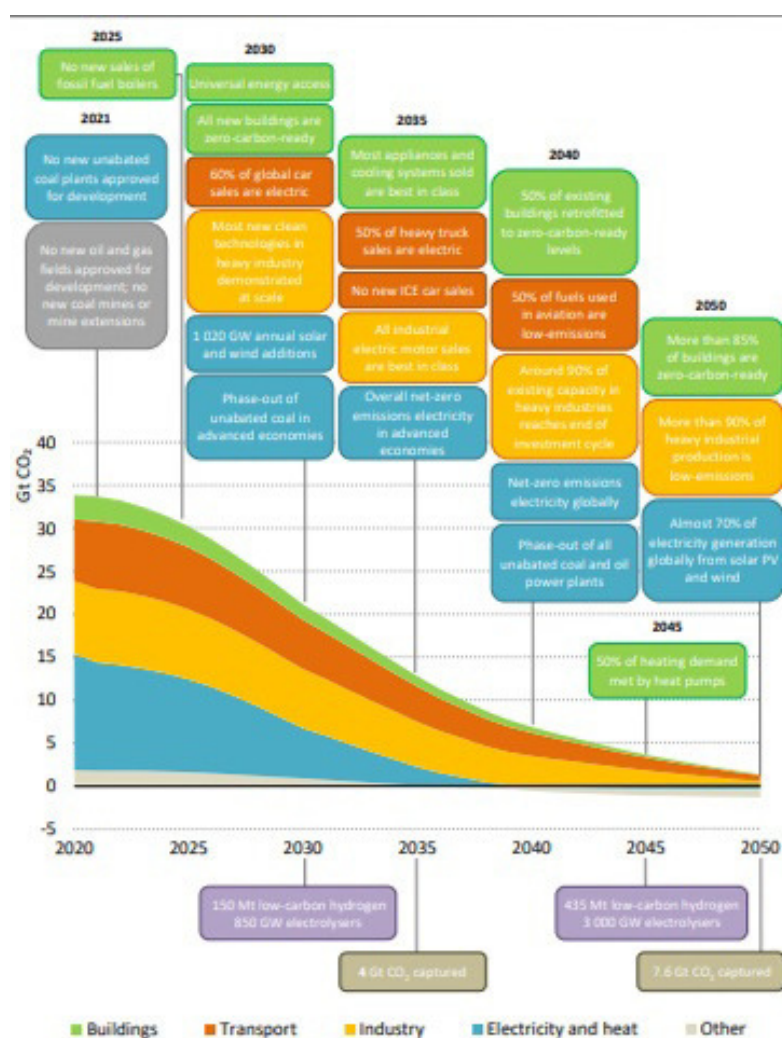
En este contexto, la Agencia Internacional de la Energía elaboró en el año 2021 un documento llamado Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector. En él, se despliega una serie de recomendaciones para lograr que las emisiones globales al 2050 se encuentren lo más cerca posible a cero. De esta manera, se destaca que la economía mundial en el año 2030 será un 40% mayor que la actual, pero utilizará un 7% menos de energía. Para aumentar ese porcentaje de disminución de uso de energía, y que sea de manera inmediata, se debe incentivar todas las tecnologías “limpias” que se encuentren actualmente disponibles. En cuanto a las energías renovables, indica que cada vez son más baratas, y esto da cierta ventaja a la generación de electricidad hacia el año 2050. En particular para la Hoja de Ruta elaborada por la Agencia Internacional de la Energía, se prevé un rápido aumento de la energía solar y eólica en esta década, hasta alcanzar 630 GW de energía solar fotovoltaica y 390 GW de energía eólica para el año 2030. También destaca la

² La oferta interna total de energía es definida como la oferta interna de energía primaria más el saldo comercial de fuentes secundarias.

energía hidroeléctrica y la nuclear, como dos de las mayores fuentes de electricidad con bajas emisiones de GEI, y que proporcionan una base esencial para la transición energética.

Por último, se manifiesta que todas las tecnologías necesarias para lograr drásticas reducciones de las emisiones de GEI para el año 2030 ya existen. Y, hacia el año 2050, las mayores oportunidades de innovación se refieren a las baterías, los electrolizadores de hidrógeno y, la captura y almacenamiento de carbono. En conjunto, estas tres tecnologías son realmente importantes para la reducción de las emisiones de GEI en la Hoja de Ruta (ver gráfico 2).

GRÁFICO 2. HITOS CLAVE EN EL CAMINO HACIA LA RED CERO



Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2021.

Asimismo, la Agencia Internacional de Energías Renovables recalca los siguientes pilares para la transición energética: expansión de las energías renovables; promoción de la eficiencia energética y electrificación. También y como se va a describir en el Capítulo II, indica que existen diferentes tendencias que promueven el desarrollo de la energía renovable que son la caída de costos; la presión por el cambio climático; las diferentes metas y objetivos de los países sobre la reducción de GEI en el marco internacional; la innovación tecnológica; la acción corporativa y de los inversores y la opinión pública (Agencia Internacional de Energía Renovable, 2019).

En este sentido, el sector energético es la clave para evitar peores efectos del cambio climático y al mismo tiempo es fundamental para el sistema económico, ya que de él dependen casi la totalidad de los procesos productivos, como así también una gran parte de la actividad cotidiana. En este sentido, el sector energético tiene un rol importante en el crecimiento de nuestro país y, asimismo, en transformarse tecnológicamente para ser un sector con menor impacto ambiental.

De esta manera, la posibilidad de inversiones a largo plazo y cambios tecnológicos debe verse como una opción plausible de hacer frente a los desafíos presentes y futuros que se explicitan en los distintos informes científicos. Esto debe enfocarse a través de la implementación de medidas que conlleven de manera integral a una diversificación de la matriz energética y hacer más eficiente la producción y uso de la energía y al mismo tiempo, que esto genere un menor impacto ambiental.

Como se ha indicado anteriormente, se debe llegar al año 2050 con emisiones cero a nivel mundial y esto requiere que el sector energético argentino, que representa el 53% de las emisiones de GEI, se reconvierta tanto de la demanda como de la oferta de manera sustentable para llegar a esa meta. Y el sector energético de nuestro país posee un gran potencial para llevar a cabo cambios de tecnología y de esta manera lograr una diversificación de la matriz que conlleven a la reducción a largo plazo de las emisiones de GEI.

En este sentido, en los últimos años, se ha comenzado a discutir sobre la necesidad de desarrollar un análisis multicriterio que contenga variables e indicadores para evaluar el impacto integral de las externalidades socioambientales de las medidas planificadas. Y de esta forma, lograr una priorización de medidas y acciones a desarrollar a largo plazo.

Es importante destacar que los indicadores son sumamente importantes ya que son un insumo indispensable para la toma de decisiones y deberían contribuir a la mejora de las

políticas públicas. Su construcción requiere de un conocimiento específico y la elaboración y/o selección de indicadores permitiría realizar una reflexión acerca del objetivo y el alcance de la intervención en un contexto determinado. En ese sentido, se asume que los indicadores son herramientas en torno a una planificación estratégica, el análisis de una situación en particular y en el modelo de agregación de valor público. Por lo que podría afirmarse que no son neutrales, sino que son instrumentos que permiten analizar, un conjunto de fenómenos de la realidad (Subsecretaría de Fortalecimiento Institucional, 2022).

Por lo que el desarrollo de indicadores de monitoreo debe verse como una herramienta que apoya el diseño y evaluación de cualquier política pública, generando una robustez en las decisiones, como así también mayor participación ciudadana para impulsar nuevas acciones hacia el desarrollo sostenible.

Capítulo I – Contexto y escenarios al 2030

Objetivo y contexto

El objetivo general de la tesis es generar y presentar indicadores que estén relacionados a la descarbonización de la matriz de energía eléctrica para el año 2030 que puedan ser utilizados en la toma de decisión. La finalidad de este análisis es que las variables e indicadores tengan un enfoque de energía y sustentabilidad y puedan ser construidos y utilizados para un análisis integral para implementar medidas y/o acciones del sector de la energía eléctrica y de esta forma, se aporte a la generación de información para definir políticas públicas.

En este sentido, los objetivos específicos serán describir los principales resultados de las últimas proyecciones de escenarios energéticos al año 2030 realizadas en Argentina; presentar y analizar la información disponible respecto a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de las matrices energéticas a nivel mundial; presentar los avances y los distintos enfoques trabajados respecto a la generación de indicadores de monitoreo de energía y sustentabilidad. Por lo que las preguntas que guían la presente tesis son: ¿Cuál es el punto de partida? ¿A qué situación se llegaría en el 2030? ¿Qué tipo de datos y variables se utilizan para priorizar y tomar decisiones que repercuten a largo plazo? ¿Qué propuestas existen para mejorar la información y datos del sector? ¿Qué indicadores se podrían construir para que se tengan en cuenta para integrar un análisis profundo y, qué información y qué datos son necesarios?

Para ello, como punto de partida y como marco teórico de la presente tesis se analizará el último documento oficial disponible relacionado a las proyecciones al año 2030 desarrolladas por el gobierno nacional respecto a cómo estará constituida la matriz de energía eléctrica. De esta manera, se describirán los distintos escenarios planteados que posibilitarían una transformación y disminución de la dependencia de combustibles fósiles de la matriz de energía eléctrica. Adicionalmente, se describirán los escenarios de demanda de energía eléctrica, incluyendo en dicho análisis el impacto de las medidas y acciones que se desarrollarán de ahorro y uso eficiente de la energía. También, se profundizarán los escenarios 2030 de potencia y generación de energía eléctrica para abastecer la demanda futura. Por lo que como se podrá observar en el Capítulo I, se decidió usar de base la información existente en el documento Escenarios Energéticos 2030 elaborado en el año 2019 por la Secretaría de Energía (Secretaría de Energía, 2019) .

En este sentido, en base al análisis anteriormente expuesto se propondrán indicadores que tendrán como fin lograr un acercamiento a un análisis integral de las medidas planificadas a largo plazo. Por un lado, se profundizará en el costo normalizado de energía, que es elemento que se usa habitualmente en la planificación energética. Por otro lado, se procurará construir variables e indicadores (como el aumento de mano de obra, emisiones de GEI, entre otros) que podrían ser incorporados para la toma de decisiones.

Escenarios Energéticos

En los últimos años en nuestro país, se han construido distintos escenarios energéticos a largo plazo (en su mayoría para los años 2025, 2030, 2035, 2040 y 2050), en donde muchos de ellos se elaboraron desde instituciones académicas y de la sociedad civil con el apoyo gubernamental, como así también desde el organismo nacional con competencia (actualmente la Secretaría de Energía del Ministerio de Economía).

Por un lado, el principal objetivo de los documentos desarrollados por instituciones académicas y de la sociedad civil fue impulsar un diálogo intersectorial para alcanzar acuerdos sobre una visión de la transición energética argentina. Por otro lado, el último documento construido por la Secretaría de Energía tuvo como fin evaluar distintos escenarios de evolución de la matriz energética –entre otros aspectos- entre los años 2019-2030. Se puede destacar que, para ambos enfoques, el objetivo es la generación de información técnica para definir políticas públicas.

El proceso liderado por instituciones académicas y de la sociedad civil comenzó en el año 2012, y se conformó la Plataforma Escenarios Energéticos Argentina³ con el objetivo de instalar un proceso de diálogo intersectorial abierto, transparente y con rigor técnico sobre las diversas opciones de futuro energético de nuestro país (Fernández, Ramiro, 2019). Uno de los documentos fue desarrollado en el 2015 en donde se realizaron escenarios energéticos al 2035, llamado “Escenarios Energéticos 2015-2035, resumen y conclusiones para un futuro energético sustentable”. Posteriormente, se elaboraron los “Escenarios Energéticos Argentina 2040, Coincidencias y divergencias sobre el futuro de la energía en Argentina”. Este último documento es altamente relevante y, se contemplará en el Capítulo III, ya que en su análisis considera la elaboración de indicadores vinculados al sector energético. También en el 2019, se elaboran los escenarios energéticos al 2050 denominado

³ Todos los documentos se encuentran en la siguiente página web:

<https://escenariosenergeticos.org/publicaciones/>

“Hacia una visión compartida de la transición energética argentina al 2050: propuesta de objetivos y metas”.

Si bien se realizaron documentos similares en diversos años, se puntualiza en el desarrollado en el año 2015, ya que es interesante el enfoque de trabajo, pero cabe la pena recalcar que actualmente ciertos datos y conclusiones ya se encuentran desactualizadas. En cambio, el último informe “Hacia una visión compartida de la transición energética argentina al 2050: propuesta de objetivos y metas”, posee datos de mayor relevancia respecto a la situación actual del sector de energía eléctrica y también es sumamente interesante el enfoque ya que se analizan tecnologías disruptivas a largo plazo.

Los principales temas del documento “Escenarios Energéticos 2015-2035, resumen y conclusiones para un futuro energético sustentable” (Fernández, Ramiro, 2015) y que todavía están vigentes son:

- La dependencia en la importación de combustibles líquidos y GNL con bajos niveles de inversión, mantiene maquinaria que tendría que dejar de utilizarse.
- Alto potencial que tiene el país en la implementación de medidas de eficiencia energética.
- Las energías renovables ocuparán gran porcentaje en la matriz energética. La energía eólica se mantiene como la de mayor penetración, pero surgiría la energía solar o biomasa.
- Disminución de las reservas convencionales de petróleo y gas. Sobre las fuentes no convencionales, la mayoría de las visiones indicadas en el documento, no se prevé su participación de manera sustancial antes del 2020.

Por otro lado, el informe “Hacia una visión compartida de la transición energética argentina al 2050: propuesta de objetivos y metas” (Fernández, Ramiro, 2019), llega a las siguientes conclusiones:

- El factor de incertidumbre sobre tecnologías y costos para el año 2050 plantea el desafío más importante.
- Existe una tendencia mundial de electrificación del sector transporte y otros sectores. Para ello, se debería ampliar la generación de la energía eléctrica y la eficiencia en el consumo de energía.

- Si los costos de energía renovables hacia el 2050 fueran similares o menores a los de otras fuentes y si se encontrara una solución económica y de tamaño al almacenamiento de energía eléctrica, podría plantearse una matriz que esté constituida en su totalidad por energías renovables.
- Complementar la energía renovable con el gas natural hasta tanto exista solución tecnológica y económica de las intermitencias.
- Avanzar hacia una sustitución de los combustibles líquidos con gas natural.

Como se va a observar en la próxima sección, muchos de los conceptos indicados anteriormente se consideran para la planificación energética gubernamental, pero muchos otros, como por ejemplo el planteo de una matriz de energía eléctrica al año 2050 que esté conformada íntegramente por energías renovables, se vislumbra actualmente que continúan con demasiados obstáculos.

Escenarios energéticos al 2030

Para la elaboración y definición a mediano y largo plazo de políticas públicas de energía se utilizan los Balances Energéticos Nacionales. Es importante destacar que la Secretaría de Energía utilizó ese documento como base -entre otros- para el desarrollo de los Escenarios Energéticos 2030 y es también, una de las fuentes principales para la elaboración del presente Capítulo, más precisamente cuando se analizan los años 2018 y 2020.

En particular, la fuente para el año 2018, se tomó exactamente la información que contiene el documento Escenarios Energéticos 2030 elaborado por la Secretaría de Energía y no el Balance Energético Nacional del 2018. Esto fue debido a que la versión que actualmente se encuentra disponible en la página web del Balance Energético Nacional difiere en algunos datos. Por lo que los datos que se utilizan para el 2018 provienen de Escenarios Energéticos 2030 para que sean uniformes a lo largo del documento con los datos de línea de base (año 2018). En cambio, para el año 2020, la fuente principal es el Balance Energético Nacional.

Como se indicó anteriormente, otro de los actores que realiza escenarios energéticos es la Secretaría de Energía de Nación. En este sentido, en el año 2019 se elaboró y se presentaron los “Escenarios Energéticos 2030”, partiendo como año base el 2018 se evaluaron los distintos escenarios de evolución de la matriz energética argentina hacia el 2030. Sobre la

base del análisis de distintas variables⁴ se confeccionaron los siguientes escenarios de demanda al 2030 (Secretaría de Energía, 2019):

- Políticas existentes:
 - Escenario Tendencial
 - Escenario Eficiente
- Políticas Activas:
 - Escenario Electrificación
 - Escenario Gasificación

Sobre la simplificación realizada anteriormente respecto a los escenarios analizados por la Secretaría de Energía, se destaca que en el presente documento sólo se analizará los escenarios de demanda de energía eléctrica y de consumo evitado de energía a partir de la implementación de medidas de eficiencia energética y, por último, el escenario de generación de energía eléctrica.

Escenarios de Demanda

Escenario de demanda de energía eléctrica

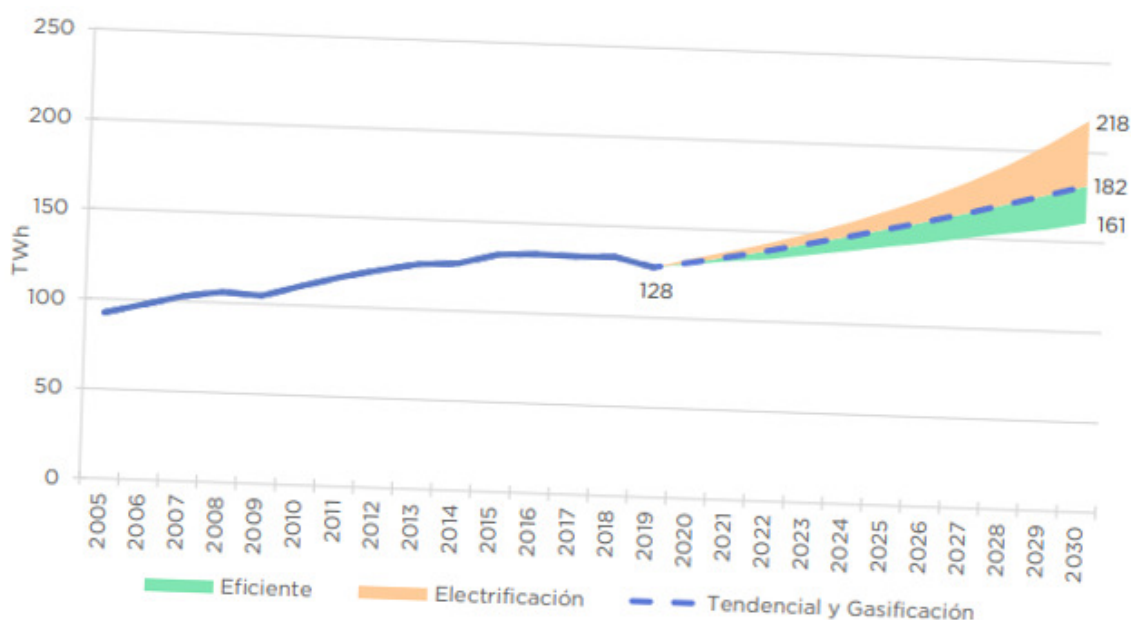
La variable principal analizada es la demanda de energía eléctrica, la cual se espera que se mantenga estable como lo viene haciendo desde el año 2013 (entre 130 TWh y 135 TWh) y, se estima un crecimiento anual acumulado del consumo eléctrico del 2,6%. Se esperan los siguientes resultados para los escenarios (ver gráfico 1. Demanda de energía eléctrica 2005-2030):

- Escenario Tendencial y el Escenario de Gasificación se espera una demanda de energía eléctrica de 182 TWh.
- Escenario Eficiente un total de 161 TWh.

⁴ Las principales variables utilizadas para confeccionar los escenarios energéticos son la trayectoria en el crecimiento del Producto Interno Bruto, el incremento en el total de hogares, la cantidad total de hogares con conexiones de gas natural, los déficits de grados día de calefacción por provincia y el crecimiento del parque automotor.

- Escenario Electrificación un total de 218 TWh. Aquí se destaca el fuerte aumento de medidas de electrificación, principalmente en los hogares (reemplazando así artefactos que utilizan gas natural) y mayor penetración de vehículos eléctricos. En este sentido, se esperaría que el escenario tendencial, el escenario eficiente y escenario de gasificación, el 12% de las ventas de automotores sería eléctrica, mientras que, en el caso del escenario de electrificación, este porcentaje asciende al 30%.

GRÁFICO 3. DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA 2005-2030



Fuente: Secretaría de Gobierno de Energía, Escenarios Energéticos 2030. 2019.

Escenario de electrificación

En este escenario se describen las políticas de electrificación en el sector residencial (demanda de tres usos: calefacción, cocción y calentamiento de agua caliente sanitaria) y el sector transporte.

El principal supuesto fue la migración paulatina de artefactos domésticos (cocinas, calefones, termotanques, calefactores y estufas) que consumen gas natural hacia artefactos que funcionan con energía eléctrica. En este sentido, se aplicaron las siguientes políticas de electrificación de los consumos:

- Reemplazo del 50% del parque de cocinas y calentadores de agua de gas a eléctrico.
- Reemplazo del 80% de las ventas de calefactores a gas por su homólogo eléctrico en 2030.

Por un lado, se espera que la demanda de gas natural residencial se reduciría respecto de la línea de base en 15,3 MMm³/d desde 38,6 MMm³/d a 23,3 MMm³/d. Por otro lado, la demanda eléctrica residencial se incrementaría 34 TWh desde los 79 TWh tendenciales a 113 TWh como consecuencia de un consumo adicional de 10,5 TWh en cocción, 16 TWh en agua caliente sanitaria y 7,5 TWh en calefacción.

En cuanto al sector transporte, se proyectó un mayor uso de vehículos eléctricos, los cuales alcanzarían 1,2 millones de unidades en 2030 (5,6% del parque consumiendo 3,24 TWh (1,5% de la demanda eléctrica).

Consumo de energía eléctrica evitado por la implementación de medidas de eficiencia energética

La implementación de medidas de eficiencia energética conlleva de manera directa una reducción en el consumo de energía y de manera indirecta, genera una reducción de emisiones de GEI, aumento de la productividad energética, una reducción de importaciones y, por lo tanto, seguridad energética.

El escenario de demanda eficiente se obtiene de restar en el escenario tendencial de demanda los ahorros acumulados por la implementación de políticas específicas de eficiencia energética. Las medidas consideradas en el análisis fueron:

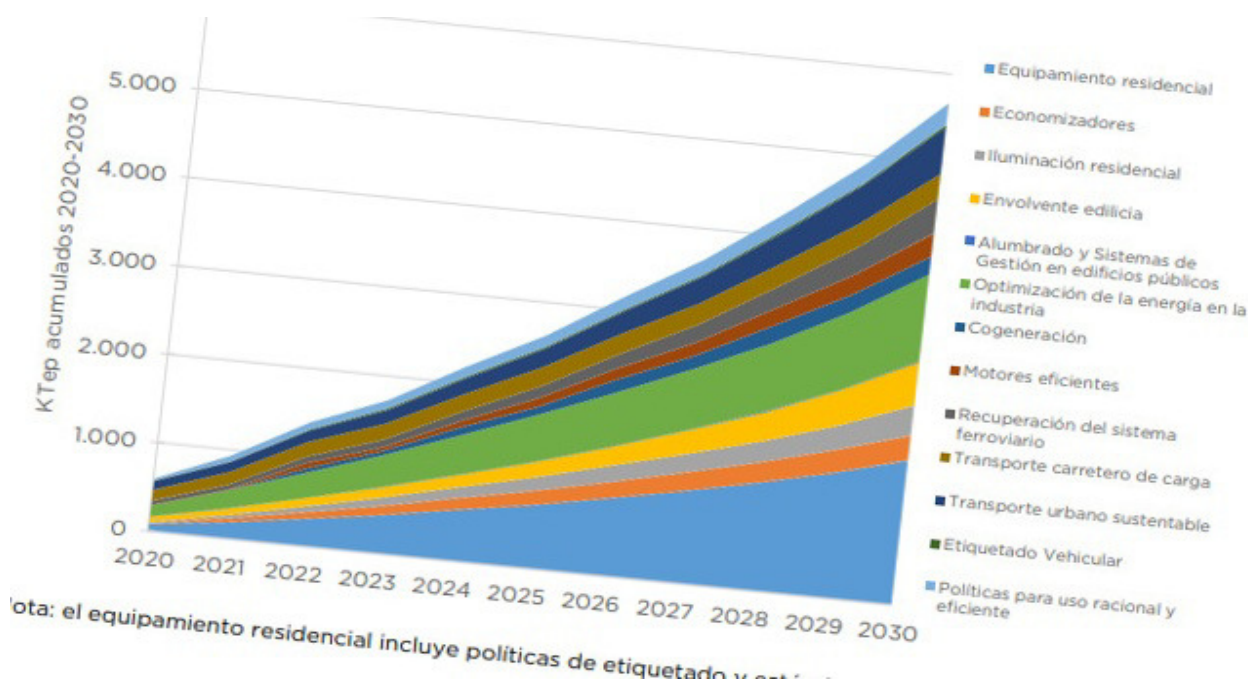
- Eficiencia en electro y gasodomésticos.
- Incremento del uso de LED en el parque de iluminación.
- Bombas de calor.
- Alumbrado público.
- Optimización de energía en la Industria. Esta comprende varias medidas donde se articulan la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía y promoción de la implementación de diagnósticos energéticos.
- Cogeneración.
- Calefones y termotanques.
- Transporte urbano e interurbano.
- Educación y comunicación. Aquí se estimaron políticas vinculadas a cambios de hábito, optimizando y potenciando el uso eficiente de la energía.

Los resultados del análisis elaborado por la Secretaría de Energía, arroja los siguientes resultados hacia el año 2030:

- Escenario Eficiente alcanzaría el 8,4% del total del consumo final estimado en el escenario tendencial.
 - En cuanto al gas natural se lograría un ahorro estimado de 10,5%, y el consumo evitado de energía eléctrica sería de un 11,4%, ambos si se lo compara con el escenario tendencial.
 - En cuanto a los sectores de consumo, el residencial tiene un alto potencial de ahorro con un 58%, posteriormente el sector de transporte con un 19% y el sector industrial con 16%.

Con el objeto de mostrar las trayectorias de cada una de las medidas se presentan en el siguiente gráfico los ahorros acumulados por política entre 2020 y 2030. El ahorro proyectado acumulado entre los años 2020 y 2030 asciende a 31,1 MMtep.

GRÁFICO 4. AHORROS ACUMULADOS SEGÚN POLÍTICA DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA 2020-2030



Fuente: Secretaría de Gobierno de Energía, Escenarios Energéticos 2030. 2019.

Escenarios de Oferta

Oferta interna total

En los escenarios se prevé hacia el año 2030 un incremento de la participación de energías renovables (hidroeléctrica, eólica, solar fotovoltaica, biocombustibles, biomasa y otros renovables) en la Oferta Interna Total, casi duplicando su porción relativa observada en el año 2018.

Dicho incremento surgiría principalmente como consecuencia del cumplimiento de la Ley 27.191 y de un mayor corte efectivo de biocombustibles. A su vez, se estima el retorno de las operaciones de la central nuclear de Embalse junto con el ingreso de la IV Central Nuclear (previsto para 2028).

La energía hidroeléctrica, mantendría su participación relativa ya que ingresarían 2,5 GW. Igualmente, en el 2030, la participación de los hidrocarburos en la oferta interna total seguiría siendo entre el 81% y 82%. Para el uso de carbón, petróleo y derivados, y gas natural sobre el total, en el escenario tendencial suman un 80,6%; un 79,7% en el escenario eficiente, un 79,8% para el de electrificación y, por último, un 82,2% en el escenario de gasificación.

Es importante destacar que los cuatro escenarios planteados muestran un desacople del crecimiento de la demanda de energía respecto del crecimiento de la economía. De esta manera, la intensidad energética pasa de ser 116 toneladas equivalentes de petróleo (tep) por cada millón de pesos de PIB (a precios de 2004) en 2018 a 102 tep/PIB MMARS04 en el escenario tendencial y de electrificación, 95 tep/PIB MMARS04 en el escenario eficiente.

Escenarios de generación de energía eléctrica

Ta como se indicó anteriormente, la generación de origen térmico sufre una disminución ya que se reemplazan instalaciones por otras de mayor eficiencia (ciclos combinados) y la nueva generación hidráulica, nuclear y renovable. De esta manera, se incorporará (independientemente de los escenarios considerados) las siguientes tecnologías:

TABLA 2. INCORPORACIÓN DE CENTRALES HIDRÁULICAS Y NUCLEARES

Escenario de incorporación hidroeléctrica	MW	Año de ingreso
Aña Cuá	276	2022
La Barrancosa	360	2023
Condor Cliff	950	2024
El Tambolar	70	2025
Portezuelo del Viento	210	2026
Chihuido I	637	2027
Total Hidroeléctrica	2503	
Escenario de incorporación nuclear	MW	Año de ingreso
Repotenciación Embalse	+35	2019
CAREM 25	27	2023
IV Central Nuclear	1200	2028
Total Nuclear	1262	

Fuente: Elaboración propia en base a Secretaría de Gobierno de Energía, Escenarios Energéticos 2030. 2019.

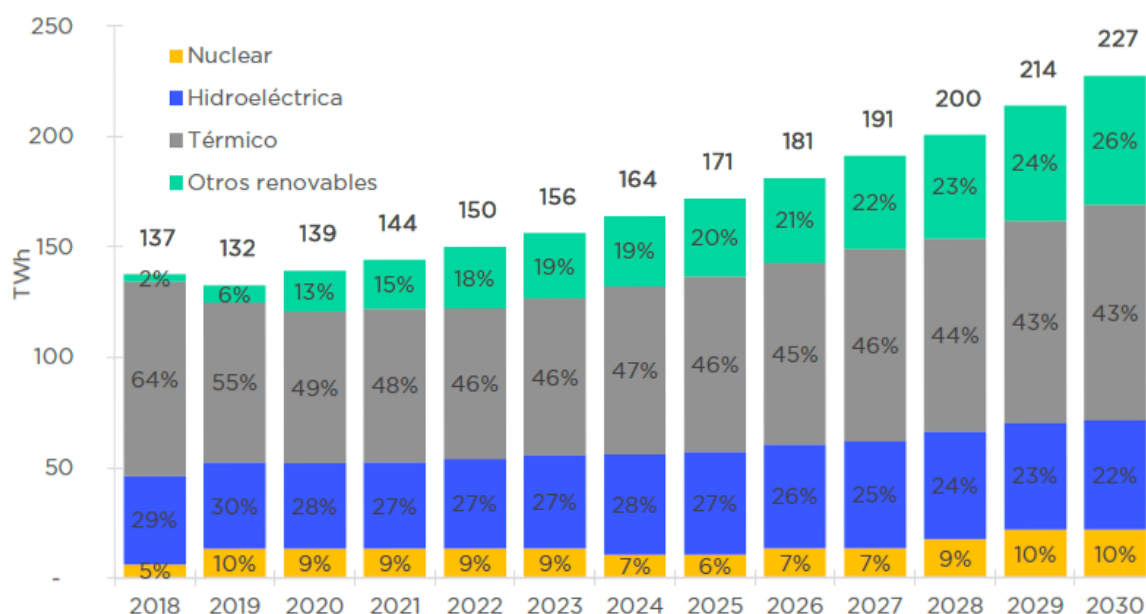
La incorporación de potencia hidroeléctrica (2.503 MW) y nuclear (1.262 MW) sería la misma para todos los escenarios. En el caso de las fuentes renovables y térmicas se realizan las incorporaciones necesarias para cubrir la demanda eléctrica de cada escenario, cumplimiento de la Ley 27.191 y se extiende su participación al 25% para el año 2030. Hay que tener en cuenta también que, bajo esa Ley, se estableció para los grandes usuarios la obligatoriedad de incorporar un consumo mínimo de energía eléctrica de fuentes renovables. Cabe destacar que, para las energías renovables, se estableció la misma prioridad de despacho que se encuentra prevista para las centrales hidroeléctricas de pasada y que no se exigió el respaldo físico de potencia (Secretaría de Energía, 2021).

Asimismo, se cumple con el objetivo de la Ley 27.424, incorporando 1.000 MW al año 2030. Adicionalmente al ingreso de los proyectos térmicos predefinidos, el sistema requerirá al año 2030 la incorporación de potencia firme que asegure un margen de reserva del 20%.

En todos los escenarios planteados por la Secretaría de Energía se alcanzaría el 25% de generación eléctrica a partir de las energías renovables no convencionales, contrayéndose en todos los casos la participación de la generación térmica respecto del año base 2018 (64%). Al respecto, esa participación resulta mayor en el escenario de electrificación (producto de la mayor demanda de energía eléctrica) donde alcanzaría el 43%, mientras que en el resto de los escenarios se encontraría entre 32% y 37% de la matriz de generación.

El siguiente gráfico la generación para el escenario de electrificación masiva, donde se observa que la generación de fuentes térmicas disminuiría a medida que pasan los años con el incremento de potencia de fuentes renovables.

GRÁFICO 5. COMPOSICIÓN DE LA GENERACIÓN POR FUENTE EN ESCENARIO DE ELECTRIFICACIÓN MASIVA AÑO 2018-2030



Fuente: Secretaría de Gobierno de Energía, Escenarios Energéticos 2030. 2019.

A modo de conclusión de los Escenarios Energéticos 2030 presentados en el 2019, los escenarios de demanda eléctrica tienen en cuenta las metas de la Ley 27.191 respecto a la

generación de fuentes de energía renovable al año 2025. Además, proyecta incorporar de manera adicional, generación a partir de fuentes de energías renovables no convencionales hasta llegar al 25% en el año 2030. También consideran el objetivo de la Ley 27.424 incorporando 1 GW de potencia instalada al año 2030.

De esta manera se indica que para reducir las emisiones del sector hay dos mecanismos: a través de reducir de la intensidad de energía y/o reducir las emisiones de la energía que se genera y consume. Para ello proponen que se seguirá creciendo, pero paulatinamente desacoplándolo con el consumo energético. Respecto a la matriz de energía eléctrica (actualmente con preponderancia de tecnologías como la térmica e hidráulica) se actualmente tiene un tercio de su generación sin emisiones de GEI y en el año 2030 tendría dos tercios de su generación libre de emisiones de GEI.

Consideraciones de la línea de base (2018) y escenarios 2030

El Balance Energético Nacional del año 2018, muestra una característica que se viene evidenciando desde hace muchos años, que la matriz energética tiene una alta dependencia de hidrocarburos, en particular del gas natural (ver tabla 3 – Oferta Interna Total de Energía. Año 2018 y 2020). Es decir, los combustibles fósiles representan el 87% de la oferta interna total de energía⁵ (58% gas natural, 28% petróleo y 2% carbón). Posteriormente se encuentra con menor participación la energía hidroeléctrica y la energía nuclear, 5% y 2% respectivamente. Estas dos fuentes si bien tienen menor porcentaje dentro de la oferta interna total, son relevantes para la generación de energía eléctrica de nuestro país.

Sobre el rol de las energías renovables, al año 2018 sólo representaban el 5% que incluye biocombustibles, eólica, solar y otras renovables, pero se destacan las fuentes más convencionales como leña y bagazo.

⁵ La metodología del Balance Energético Nacional define a la Oferta Interna Primaria de energía como la sumatoria de la producción local, importación y variación de inventario menos la exportación y la energía no aprovechada. Para referenciar el consumo del país, típicamente se utiliza la definición de Oferta Interna de Total de energía, que consiste en la oferta interna de energía primaria más el balance de comercio exterior de las energías secundarias.

TABLA 3. OFERTA INTERNA TOTAL DE ENERGÍA. AÑO 2018 Y 2020⁶

Oferta interna total de energía		
	Año 2018	Año 2020
Petróleo y derivados	28%	29,5%
Carbón	2%	1,2%
Hidráulica	5%	3,7%
Eólica y Solar	0,3%	1,5%
Otros renovables	3%	3,4%
Gas Natural	58%	54,7%
Biocombustibles	2%	2,1%
Nuclear	2%	3,9%

Fuente: Elaboración propia en base a datos de CAMMESA.

En cambio, para el año 2020 si bien continúa con una gran participación del uso de combustibles fósiles (54% gas natural, 29% petróleo y 1% carbón), se evidencian cambios principalmente en la energía eólica y solar, la energía nuclear y la energía hidroeléctrica (1,5%, 3,9% y 3,7%, respectivamente).

De manera similar sucede si se analiza la potencia instalada. Tal como se observa en la tabla 4, para el año 2018 la generación de energía eléctrica, fue producida principalmente, con un 64%, por máquinas térmicas a partir de combustibles fósiles (24.531 MW), predominando el gas natural (90%), seguido por el gas oil y fuel oil (7%) y de carbón (3%). Por otro lado, centrales hidroeléctricas (mayor a 50MW) representaron el 28% de la generación de electricidad, seguidas de la nuclear con un 5% y de otras renovables el 4%, que incluyen la energía solar, eólica, biogás, biomasa e hidráulica menor a 50 MW (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico, 2018).

Específicamente sobre las centrales hidráulicas del Mercado Eléctrico Mayorista, sus aportes fueron iguales o similares si se lo compara con caudales históricos y, si se lo compara con el 2017, la generación hidráulica disminuyó aproximadamente un 1%. Para la represa de Yacyretá y las cuencas del Comahue, los valores fueron por debajo de los aportes

⁶ La fuente para el año 2018, se tomó exactamente la información que contiene el documento Escenarios Energéticos 2030 elaborado por la Secretaría de Energía y no el Balance Energético Nacional del 2018. Esto fue debido a que la versión que actualmente se encuentra disponible difiere en algunos datos. Es por esto que los datos que se utilizan para el 2018 son del documento Escenarios Energéticos 2030 para que sean de manera uniforme con los datos de línea de base (año 2018). Para el año 2019, la fuente es el Balance Energético Nacional, 2019, Secretaría de Energía.

históricos. En cambio, en la Represa Hidroeléctrica Salto Grande (río Uruguay) los valores fueron superiores a lo esperado.

Sobre energía nuclear, actualmente existen tres centrales en funcionamiento, la Central Nuclear Atucha I, la Central Nuclear Atucha II y la Central Nuclear Embalse. Como es habitual, los meses de mayor generación de energía eléctrica son en invierno y verano cuando hay mayor demanda. Y cuando hay menor demanda, se realiza mantenimiento.

Respecto a la energía renovable, es importante aclarar que tienen prioridad de despacho, lo que significa que toda la electricidad que llega al sistema desde estas fuentes abastece automáticamente la demanda. También hay que destacar que, si bien desde el 2016 se encuentra reglamentada la Ley 27.191 de Energías Renovables, representó en el 2018 una pequeña porción de la potencia instalada, principalmente por el ingreso de los primeros proyectos de energía renovable que se gestaron en el Programa RenovAr. Estos llevaron a que entre diciembre de 2018 y 2019 se duplicara la generación eléctrica a partir de fuentes renovables. Hay que tener en cuenta además, que a fines del año 2021, la Ley 27.191 establece que se deberán alcanzar como mínimo el 16% del total del consumo propio de energía eléctrica y, a fines del año 2023, deberán alcanzar como mínimo un 18%.

TABLA 4. POTENCIA INSTALADA (MW). AÑO 2018 Y 2020

Potencia instalada (MW). Año 2018 y 2020		
	Año 2018	Año 2020
Térmico	24531	25365
Hidráulica	10790	10834
Nuclear	1755	1755
Renovable	1462	3997
Total	38538	41951

Fuente: Elaboración propia en base a datos de CAMMESA.

Para el año 2020, tal como sucedió en el año 2018, la generación hidráulica (10.834 MW de potencia instalada, correspondiendo un 26%) y la térmica (con un total de 25.365 MW, es decir un 60%) son las principales fuentes utilizadas para satisfacer la demanda. Específicamente sobre el uso de combustibles fósiles, el gas natural continúa siendo el principal combustible utilizado para generar energía eléctrica. Asimismo, se destaca el

crecimiento en la participación de las energías renovables, pasando de un 4% en el 2018 a un 10% del total de la potencia instalada de Argentina.

Sobre la energía hidráulica (mayor a 50MW) en las principales centrales del Mercado Eléctrico Mayorista se mantiene la tendencia de los menores aportes si se lo compara con los caudales históricos para la Represa de Yacyretá y Salto Grande.

Tal como se indicó anteriormente, la energía renovable representa el 10% de la potencia total instalada, y en el mes de noviembre alcanzó a cubrir el 12,6% de la demanda total. En el mes noviembre 2020 la potencia máxima fue de 22.289 MW y, en promedio, el 9,7% de la demanda eléctrica del país fue abastecida por fuentes renovables y, en particular para diciembre se alcanzó un pico histórico con un 23,3% (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico, 2020).

TABLA 5. POTENCIA INSTALADA DE ENERGÍA RENOVABLE. AÑO 2018 Y 2020

Potencia instalada de renovable (MW). Año 2018 y 2020		
	Año 2018	Año 2020
Solar	191	759
Eólica	750	2623
Hidro (mayor a 50MW)	498	510
Biogas	23	52
Biomasa		54
Total	1462	3998

Fuente: Elaboración propia en base a datos de CAMMESA.

En este sentido, es importante destacar que para el periodo 2018-2020 el fuerte crecimiento en la generación de energía eólica y solar ha contribuido al paulatino reemplazo de los combustibles fósiles. Asimismo, si los aportes de la energía hidráulica hubieran sido mayores, el uso de los combustibles fósiles hubiera caído mucho más. Sin embargo, el gas natural sigue siendo el combustible principal para la generación de electricidad. Durante los últimos años, la participación de la energía eólica y solar ha representado el 8 % del total de la potencia instalada. Y, como se indicó anteriormente esto se debió principalmente a las convocatorias RenovAr, que se desarrollaron durante los años 2016 y 2018. Actualmente no ha habido nuevos contratos, por lo que se esperaría un estancamiento del crecimiento de las energías renovables. Otro de los inconvenientes a mediano plazo para la expansión

de la energía renovable, es la falta de capacidad de transmisión y la recesión económica que se encuentra profundizada por el covid-19. En tanto la energía proveniente de la biomasa, si bien aumentó respecto al año 2018, se encuentra estancada principalmente por los precios en las licitaciones (Agencia Internacional de la Energía, 2020).

Por último, en estos próximos párrafos del presente Capítulo, se indican algunos cambios observados y un análisis crítico de lo que se encuentra definido en el documento Escenarios Energéticos 2030 presentado en el año 2019. Por lo que se identifican nuevas tecnologías que se comienzan a vislumbrar a nivel internacional, como así también algunas consideraciones que se deberían tener en cuenta a futuro.

Respecto a la energía hidráulica, de acuerdo con el estudio la temperatura y su influencia en la demanda de energía eléctrica: un análisis regional para Argentina usando modelos econométricos (Ministerio de Energía y Minería, 2016), en los últimos años se registró un incremento de situaciones de estrés y exigencia de los sistemas de distribución de energía eléctrica ante los cambios de temperatura, afectando así su funcionamiento y configuración. El estudio destaca que a partir del año 2010 se produjo un cambio estructural en el crecimiento tendencial de la demanda que viene dado por un mayor pronunciamiento de los picos de verano e invierno.

También, teniendo en cuenta la Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la CMNUCC (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2015), los caudales anuales medios de los grandes ríos del este de la Cuenca del Plata aumentaron entre 1960 y 2000, en conjunto un 35%. Luego tuvieron variaciones, al principio negativas, pero siempre con caudales muy por encima de los de la década de 1960. En cambio, las tendencias hidrológicas de los ríos que nacen en la Cordillera fueron generalmente opuestas desde 1980, particularmente en el río Limay y en el río Neuquén, afectando negativamente la generación hidroeléctrica. Estas tendencias fueron consistentes con las menores precipitaciones en las regiones andinas de donde se alimentan estos ríos. Las proyecciones de la precipitación sobre los Andes de Cuyo, Comahue y Patagonia, son ligeramente negativas para el futuro cercano, y más fuerte es la disminución para fin de siglo. Por lo tanto, no se debería descartar una afectación negativa del cambio climático sobre la generación hidroeléctrica en estas regiones.

Asimismo, en el Plan de Acción Nacional de Energía y Cambio Climático (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2017) se destaca que el cambio climático afectará la demanda y la generación, así como el transporte y la distribución de energía. Específicamente sobre los efectos sobre la oferta de energía, serán principalmente como consecuencia de los sistemas hidrometeorológicos como, por ejemplo, olas de calor más

frecuentes. A raíz de las variaciones en los regímenes de precipitaciones, se afectaría principalmente la generación hidroeléctrica, ya que ésta depende de la hidraulicidad, determinada por los caudales y por los saltos de las presas.

Cabe aclarar que esto no sólo impacta en la generación de energía hidráulica, sino también en la energía nuclear y consecuentemente en la generación de energía eléctrica. Por ejemplo, actualmente estamos en una bajante del río Paraná, y este es un afluente utilizado para enfriar las centrales Atucha I y II. Por lo que, si persiste la emergencia hídrica, ambas centrales podrían salir de funcionamiento (Letra P, 2021).

En este sentido, teniendo en cuenta los párrafos anteriores se debe contemplar en la planificación energética a largo plazo los impactos del cambio climático tanto en la demanda como oferta de energía eléctrica.

También respecto a la generación de energía eléctrica de origen nuclear se espera que en el año 2028 el ingreso total de 1262MW a través de la incorporación de la IV Central Nuclear, CAREM 25 y la repotenciación de Embalse (ver Tabla 2. Incorporación de centrales hidráulicas y nucleares). Actualmente, se está construyendo el CAREM 25 y ya se encuentra finalizada la repotenciación de Embalse. Respecto a la IV Central Nuclear (Atucha III) que estaba planificada para el año 2028 estará disponible para el año 2030, ya que se prevé firmar el contrato en el año 2022 y se espera un plazo de 8 años de construcción (Letra P, 2021). Asimismo, teniendo en cuenta el Plan de Acción de Nucleoeléctrica Argentina S.A. se debería contemplar para el año 2032, la central nuclear tipo CANDU de 700MW (Letra P, 2021).

Es importante destacar que cuando se finalizaba la presente tesis, se aprobó la Resolución SE 1036/2021 que contiene en Anexo los “Lineamientos para un Plan de Transición Energética al 2030”. En el documento se plantea que desde el punto de vista de la oferta se plantean dos posibles escenarios. El primero implica hacia el año 2030 mayores requerimientos de petróleo y gas natural con una participación en la generación de las energías renovables del 20% en la matriz eléctrica. En el segundo, hay mayor requerimiento de gas natural y relativamente menores de petróleo junto con una participación de las energías renovables en la generación eléctrica del 30%. Y la participación de la generación eléctrica de fuentes térmicas es del 40,3% en el escenario primer escenario y del 30,7% en el segundo.

Tal como se observa en el gráfico 1. Demanda de energía eléctrica 2005-2030, en el Escenario Electrificación es de un total de 218 TWh, y el resto de los escenarios relativamente menores. Sin embargo, en los últimos años la demanda de energía eléctrica fue de aproximadamente 130 TWh y se esperaría que la demanda se comporte de la misma

manera. Pero ese aumento hacia el año 2030 se verá alterado por el incremento y una fuerte penetración de medidas enfocadas en el sector residencial que reemplazarían artefactos que utilizan gas natural como así también autos eléctricos.

Específicamente sobre la movilidad eléctrica, actualmente es una tecnología que aún presenta desafíos para su inserción a gran escala, pero que podría irrumpir en el corto y mediano plazo en el mercado doméstico. Otro tema importante respecto a esta tecnología es el costo, la autonomía e infraestructura de carga y regulación (Secretaría de Energía, 2019). Teniendo en cuenta el Electric Vehicle Outlook 2017 y el Electric Vehicle Outlook 2020, se estima que al año 2050 el 50% de las ventas vehiculares podría corresponder a vehículos eléctricos (Bloomberg, 2017). Y es importante destacar que a nivel mundial 17 países han anunciado objetivos de vehículos 100% con cero emisiones o la eliminación progresiva de los vehículos de combustión interna hasta el año 2050 (Agencia Internacional de la Energía, 2020).

Otro de los temas que no se contempló en el documento es el rol a largo plazo del hidrógeno. Este está íntimamente relacionado con el futuro de vehículos bajos en carbono, como así también de energías renovables. Actualmente se denominan distintos tipos de hidrogeno, en donde muchos de estos se utilizan combustibles fósiles para su producción. Teniendo en cuenta el documento Renewable Energy Policies in a Time of Transition (Agencia Internacional de Energía Renovable, Agencia Internacional de la Energía, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2018), se indica el rol de los países para incentivar la penetración de este tipo de tecnologías. De esta manera se indica que, en países con amplias redes de gas, como los Países Bajos y el Reino Unido, se está estudiando el uso de hidrógeno en reemplazo al gas natural, como opción de calefacción con bajas emisiones de GEI.

Asimismo, el sector de la aviación utiliza biocombustibles mezclados en el combustible de aviación tradicional en varios niveles y se encuentran en estudio tecnologías alternativas como el uso de hidrógeno criogénico. Otro ejemplo es que hasta 2015, Luxemburgo ofrecía una subvención de 5000 euros para la compra de vehículos eléctricos flexibles, híbridos enchufables y de autonomía extendida. También entre 2017 y 2018, Austria ofrecía una subvención para una serie de vehículos eléctricos y de dos ruedas si utilizan electricidad renovable o hidrógeno como combustible (Klimafonds, 2017).

Si nos basamos en el documento de Net Zero by 2050 de la Agencia Internacional de la Energía y que, tal como se lee en la página 6 de la presente tesis, el IPCC indica que para el año 2050, las emisiones globales de GEI deben ser próximas a cero (Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, 2019), uno de temas a considerar es que se

debe dejar de invertir en nuevos proyectos que utilicen combustibles fósiles para generar energía eléctrica. Esto no es considerado a mediano o largo plazo en ningún documento de escenarios energéticos elaborado por el gobierno nacional. Más aún, se vislumbran nuevas inversiones en exploración y explotación de petróleo y gas natural.

Tal como se indicó en párrafos anteriores del presente Capítulo, se debe profundizar en el desarrollo de autos eléctricos para dejar de vender autos a motor de combustión. Asimismo, se debería promover masivamente tecnologías de energía renovable, principalmente la energía solar fotovoltaica y eólica que tienen potencial en nuestro país. Por lo que se debe generar un plan de electrificación de la matriz de energía eléctrica con renovables. Tampoco se incluye en el documento un análisis a largo plazo de los subsidios, por lo que se tendría que realizar un profundo análisis de los subsidios a los combustibles fósiles para trasladarlos y redireccionarlos a la generación de energía renovable. Por lo que faltaría también desarrollar un análisis de los ahorros al dejar de consumir combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica si se reemplaza con energía renovable.

Lo más importante a destacar es que hacia el 2050, se debe avanzar en continuar con el desarrollo de proyectos y acciones existentes y profundizar el uso de nuevas tecnologías que actualmente se encuentran en fase prototipo y que necesitan financiamiento para su implementación. Por lo que se debe elaborar un plan de transición energética con una hoja de ruta que articule y recoja los intereses del sector privado para aumentar las inversiones hacia el 2030 y 2050, como así también asociar metas a corto plazo a indicadores que muestren un seguimiento de los resultados de la implementación de medidas que contemplen los desafíos del cambio climático. Ese plan debería contener medidas y acciones para lograr una nueva matriz energética que se encuentre focalizada en su descarbonización y que involucre a las energías renovables, electrificación, hidrógeno verde, entre otras medidas.

Por último, teniendo en cuenta la información disponible en el documento “Escenarios Energéticos 2030” elaborado en el año 2019 por la Secretaría de Energía de Nación, no se evidencia si se desarrollaron (además del análisis del Costo Nivelado de la Energía) indicadores u otras variables que tengan como objetivo último relacionar la descarbonización de la matriz de energía eléctrica y el desarrollo sustentable para un análisis integral de priorización de acciones y medidas del sector.

Capítulo II – Costos de tecnologías de generación de energía eléctrica

El siguiente Capítulo tiene como objeto analizar y comparar distintas tecnologías para la generación de energía eléctrica a través del uso de la metodología del Costo Nivelado de la Energía o Costo Nivelado de la Electricidad (LCOE, por sus siglas en inglés). En este sentido, se espera obtener dichos valores (que es usualmente utilizado para la planificación energética) como parte integral de un análisis de diversos indicadores para la selección y planificación de tecnologías de generación de energía eléctrica.

Antecedentes y definiciones

Para la generación de energía eléctrica, los costos de inversión son un elemento muy importante de la competitividad de una tecnología. Pero hay que tener en cuenta que la factibilidad de un proyecto dependerá de todos los costos asociados a la tecnología en análisis para poder conocer la conveniencia de invertir o no en ella.

El LCOE es uno de los indicadores que más se utiliza en la planificación energética para medir y evaluar la competitividad entre distintas tecnologías de generación de energía eléctrica. EL LCOE entrega el costo de generación anual de electricidad por unidad de energía, comúnmente en USD/MWh.

Es decir, el LCOE puede ser interpretado como el mínimo valor al cual se puede vender la energía producida de la central de modo de obtener un balance neto igual a cero. Si el precio de venta fuese mayor que el LCOE, se tendrá una rentabilidad mayor de la esperada. En cambio, si es menor, significa que los ingresos no cumplirán las expectativas del inversionista. Pero, si bien no es el foco de análisis de este documento, esto último puede diferir en nuestro país cuando el Estado tiene rol muy importante en la toma de decisiones de nuevas plantas de generación de energía eléctrica y en particular, de la generación de energía nuclear.

Hay distintas fórmulas y herramientas que se pueden utilizar, pero las más relevantes y usadas a nivel internacional es la del Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, por sus siglas en inglés) desarrolló un método de cálculo simple aplicado generalmente a tecnologías de energía renovable a escala de servicios públicos y de generación distribuida.

El modelo presentado por el NREL está diseñado para comparar precios entre una compra de energía eléctrica y la implementación de un proyecto de energías renovables, pero no incluye costos financieros y tampoco indica relación entre CAPEX y OPEX (Sanchez Morales & Ramirez Contreras, 2020). También existe la Herramienta GeoLCOE para estimar el LCOE con un sistema de georreferenciación, y puede ser usado con las distintas tecnologías principalmente las renovables. Además, se puede encontrar el método de cálculo del Fraunhofer Institute For Solar Energy Systems que considera (Sanchez Morales & Ramirez Contreras, 2020).

Si bien no se profundizará en este Capítulo, es importante destacar que también existe para estimar los ingresos necesarios para construir y operar un proyecto de generación de energía durante un período de tiempo, la metodología del Costo de Electricidad Nivelado Evitado (LACE, por sus siglas en inglés). A diferencia con el LCEO, el LACE mide el costo de energía eléctrica desplazada, es decir, el costo de la electricidad evitado por una nueva planta de generación de energía eléctrica por el desplazamiento que esa infraestructura genera en la red. Por lo que se podría afirmar que se ajusta el LCOE al despacho de energía eléctrica.

Cálculo y resultados de LCOE

En este sentido, se presenta a continuación la fórmula simplificada para el cálculo que se utilizó en la presente tesis:

$$\text{LCOE} = \frac{\text{Inversión} + (8760 \times \text{Factor de Uso}) \times \text{Costos Variables} \times \text{Vida Útil} + \text{Costo de Combustible}}{\text{Energía generada en la vida útil}}$$

- Inversión: Unidad de medida: USD/MW.
- Factor de Uso: Se lo denomina también como factor de capacidad o factor de utilización de la planta, que es la relación entre la energía que produce la planta y la energía que produciría en el caso de que hubiese funcionado en todo momento al máximo de su potencia instalada. Este último varía en función de la tecnología empleada o la localización, entre otros factores. Se lo multiplica por la cantidad total de horas al año (8760).

- Costo de combustible: Unidad de medida: USD/MWh. En este análisis sólo se incorporó el costo del gas natural.
- Costos Variables: Unidad de medida: USD/MWh. Dependen de la generación de la central. Son los costos asociados al nivel de operación de la central como el mantenimiento, los pagos por transmisión y personal. Podría también incorporarse el impuesto por las emisiones Gases de Efecto Invernadero, principalmente el CO₂.
- Vida útil: en cantidad de años.
- Energía generada en la vida útil:

Para la realización del cálculo del LCOE, se utilizaron principalmente dos fuentes de información. Por un lado, datos del Gobierno de Chile, específicamente de la Comisión Nacional de Energía que elaboró en el 2020 el “Informe de Costos de tecnologías de generación. Informe Anual” (Gobierno de Chile, 2020). También se tomaron datos del documento Escenarios Energéticos 2030 elaborado en el 2019.

Para el cálculo del Costo de Combustible del Gas Natural, se realizó de la siguiente manera:

Poder calorífico del Gas Natural / Consumo específico. Es decir:

$$8400 \text{ kcal/m}^3 / 1600 \text{ kcal} = 5,25 \text{ kWh/m}^3$$

A la vez se sabe que el precio del Gas Natural es de 3,5 USD/MMBTU. Por lo que:

1 m³ de Gas Natural tiene un poder calorífico de 8400 kcal. Si esto lo convertimos a MMBTU:

33.311,6 BTU x MMBTU / 1.000.000 BTU. Es decir que:

1 m³ de Gas Natural es 0,0333116 MMBTU⁻¹. Por lo que 1 MMBTU ≈ 30,0196 m³.

Entonces para calcular el Costo de combustible se debería realizar de la siguiente manera:

$$[(\text{m}^3/\text{MWh}) \times (1 \text{ MMBTU}/30,0196 \text{ m}^3) \times 3,5 \text{ USD/MMBTU}] = \text{USD/MWh}$$

Donde el m³/MWh es el consumo específico por tecnología (tanto para la Turbina de Gas como para el Ciclo Combinado). Para esto, se basó en la información disponible de Central Puerto y a su vez se comparó esos datos con los suministrados en la página web de General Electric⁷. Entonces los valores utilizados fueron 1616 kcal/kWh para el Ciclo Combinado y 2569 kcal/kWh para la Turbina de Gas. Que, si convertimos estos dos valores a m³/MWh, nos da un total de 82,9 m³/MWh para el Ciclo Combinado y 290,7 m³/MWh para la Turbina de Gas.

En este sentido, se presenta a continuación la tabla resumen con todos los valores que se utilizaron para realizar el cálculo de LCOE para tecnologías que actualmente conforman la matriz eléctrica de Argentina (ver Tabla 6).

⁷ La información de General Electric, se encuentra en la siguiente página web: <https://www.ge.com/gas-power/products/gas-turbines>. Y para la Turbo Gas tiene (Tabla 6B.03 – Simple Cycle) un valor de 10779 kJ/kWh y para el ciclo combinado (Tabla 6B.03 – Combined Cycle 2X1) 6874 kJ/kWh.

TABLA 6. SUPUESTOS Y VALORES PARA EL CÁLCULO DE LCOE⁸ PARA TECNOLOGÍAS GENÉRICAS

	Costo de inversión (US\$/MW) (1)	Costos variables (US\$/MWh) (2)	Factor de uso (3)	Costo de combustible Gas Natural (US\$/MWh)	Vida útil (años) (4)	Consumo específico por tecnología (m3/MWh) (5)	Costo de combustible Gas Natural (US\$/MMBTU)
Nuclear	8.000	26,8	90		60		
Hidro de embalse	4.439	1,3	30		60		
Hidro de pasada	3.923	1,3	85		60		
Turbo Gas	898	3,5	15	33,89	20	290,7	3,5
Ciclo Combinado	675	8,5	85	21,32	20	182,9	3,5
Eólico	1.266	5,2	50		20		
Fotovoltaico	871	4,9	30		20		

Fuente: elaboración propia.

En base a la explicación realizada en este Capítulo y utilizando la formula definida anteriormente, los resultados para el cálculo de LCOE dan de la siguiente manera (Tabla 7):

⁸ (1) Fuente: Para la energía nuclear, se utilizaron los datos de la Secretaría de Energía, 2019. Para el resto de las tecnologías, de la Comisión Nacional de Energía. Gobierno de Chile. Informe de Costos de tecnologías de generación. Informe Anual. Marzo 2020. Disponible en: <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/03/ICTG-Marzo-2020.pdf>

(2) Fuente: Para la energía nuclear, eólico y fotovoltaico se utilizaron los datos de la Secretaría de Energía, 2019. Para el resto de las tecnologías, la Comisión Nacional de Energía. Gobierno de Chile. Informe de Costos de tecnologías de generación. Informe Anual. Marzo 2020. (página 39). Disponible en: <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/03/ICTG-Marzo-2020.pdf>

(3 y 4) Fuente: Secretaría de Energía, 2019.

(5) Fuente: calculado en base a la información disponible en <https://www.centralpuerto.com/wp-content/uploads/2020/08/Institutional-Presentation-1Q2020-v3-espa%C3%B1ol-1.pdf>

TABLA 7. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LCOE PARA TECNOLOGÍAS GENÉRICAS

Tecnología	USD/MWh
Nuclear	27
Hidroeléctrica de embalse	1
Hidroeléctrica de pasada	1
Turbo Gas	4
Ciclo combinado	9
Eólico	5
Fotovoltaico	5

Fuente: elaboración propia.

Tal como se puede observar en la Tabla 7, si bien son valores bajos (ya que no se incluyeron en el análisis distintas variables, como impuestos, gastos fijos, precio del carbono, entre otras cosas) se muestra igualmente una situación que se está evidenciando en los últimos años en análisis similares. En este sentido, se observa que la tecnología que posee el mayor LCOE es la central nuclear, debido principalmente al alto costo de inversión desde diseño, construcción y puesta en marcha. Y, a diferencia de lo que uno esperaría actualmente el valor del LCOE tanto de plantas de energía eólica como de energía fotovoltaica es menor o igual si se lo compara con la generación vinculada al uso de combustibles fósiles, como lo son el Ciclo Combinado y la Turbina de Gas. Por otra parte, se encuentran las plantas de generación de energía hidroeléctrica, que, si bien tienen un bajo valor de LCOE, depende de donde estén radicadas y, al igual que la energía nuclear en los últimos años, se evidencia principalmente para la construcción de hidroeléctricas de embalse que existe mucha resistencia social.

Se puede afirmar que conclusiones similares llegan documentos elaborados en los últimos años. Según la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés) indica que, en la última década se comenzó a reducir los costos y mejorar el desempeño de la generación de energía renovable, principalmente de la energía solar y eólica. También, afirma que si bien las energías renovables alguna vez fueron vistas como una forma costosa de abordar la diversificación de la matriz energética ahora es una opción competitiva durante todo su ciclo de vida. La IRENA analizó la evolución de los costos de la energía renovable desde 2012. En este análisis se muestra que las nuevas instalaciones solares y eólicas reducirán cada vez más sus costos operacionales y de inversión. Esta tendencia en la reducción de los costos aplica a la mayoría de las tecnologías renovables y

demuestran que las energías renovables son la columna vertebral de la transición energética (Agencia Internacional de las Energías Renovables, 2019).

En su última publicación vinculada a costos, indica que los costos de la energía solar y eólica han seguido bajando, complementando las tecnologías más maduras de la bioenergía, la geotérmica y la hidroeléctrica. La energía solar fotovoltaica presenta el mayor descenso de costos entre 2010 y 2019, con un 82%, seguida de la energía solar concentrada, con un 47%, la eólica, con un 40%, y la eólica marina, con un 29% (Agencia Internacional de las Energías Renovables, 2020). Y estima que, en el 2021, la explotación de hasta 1.200 gigavatios de capacidad de generación de energía eléctrica que utiliza carbón costaría más que la instalación de nueva energía solar fotovoltaica a escala comercial. Por último, indica que la energía renovable podría ser un componente clave de los paquetes de estímulo económico tras la pandemia de COVID-19 y alineando a las necesidades económicas a corto plazo, que las energías renovables sean el camino hacia la descarbonización de la matriz a mediano plazo y largo plazo.

Asimismo, la Agencia Internacional de la Energía en el año 2020 calculó el LCOE y el LACE⁹ (Agencia Internacional de la Energía, 2020). Es importante destacar que en este informe se incluye en el análisis un precio del carbono de 30 USD/tCO₂ común a todos los países durante la vida útil de todas las tecnologías ya que en muchos países ya han comenzado a considerarlo en las planificaciones energéticas. Asimismo, analiza la captura, utilización y almacenamiento de carbono como una tecnología que puede ser competitiva a largo plazo¹⁰ y si el precio del carbono supere los 50-60 USD/tCO₂ y en algunos casos los 100 USD/tCO₂ si se consideran las externalidades sociales. También incorpora una perspectiva sobre la electrificación de sectores como el transporte, el hidrógeno y la producción de calor para calefaccionar edificios.

La idea clave de la edición del año 2020 del Informe “Projected Costs of Generating Electricity” de la Agencia Internacional de la Energía, es que los costos nivelados de generación de electricidad de las tecnologías de generación con bajas emisiones de GEI están disminuyendo y son cada vez más inferiores a los costos de la generación utilizando combustibles fósiles. De esta manera, afirma que los costos de las energías renovables han seguido disminuyendo en los últimos años.

⁹ El informe provee información de 243 plantas de 24 países: Brasil, China, India, Rumania, Rusia, Sudáfrica, Japón, Estados Unidos, entre otros.

¹⁰ Según el informe tanto Estados Unidos como Australia presentaron datos respecto a tecnología de captura, utilización y almacenamiento de carbono.

Destaca que hace cinco años para las energías renovables el LCOE promedio superaba los 150 USD/MWh, y actualmente se encuentra por debajo de los 100 USD/MWh. Específicamente para las hidroeléctricas (de pasada y de embalse) pueden ofrecer alternativas competitivas cuando existen zonas y lugares adecuadas, pero los costes siguen siendo muy específicos dependiendo de cada país. El resultado del LCOE específicamente para las energías renovables, muestra que el valor disminuye a medida que aumenta su participación en el suministro de energía. Para la energía nuclear, los costos para el 2020 son más bajos que para el año 2015. Pero al igual que el punto anterior, difieren mucho de país a país. De esta manera, sigue siendo una tecnología de bajas emisiones de carbono con los costos relativamente bajos. También la electricidad producida a partir del funcionamiento a largo plazo de la energía nuclear mediante la prolongación de su vida útil es muy competitiva y sigue siendo altamente competitiva y también la más económicamente viable. En comparación con tecnologías que utilizan combustibles fósiles, se espera que las centrales nucleares sean más asequibles que las de carbón. Respecto de las turbinas de gas de ciclo combinado son competitivas en algunas regiones, y su LCOE depende en gran medida de los precios del gas natural.

También, ya en el año 2015, el Banco Mundial desarrolló un estudio desarrollado que reunió a más de 4.000 proyectos de once tecnologías realizadas en diferentes países. En este documento se afirma que la energía solar y la eólica presentan un rango competitivo de LCOE de entre USD 21-38/MWh y USD 37-57/MWh, respectivamente, mientras que para el ciclo combinado tiene un rango de USD 37-38/MWh (con un precio de gas natural de USD 3,1/MBTU). Pero para las térmicas a gas natural, si se consideran precios del combustible a USD 7/MBTU y USD 12/MBTU, el rango de LCOE de los ciclos combinados suben a USD 67-69/MWh y USD 97-103/MWh (Banco Mundial, 2015).

En este sentido, queda en evidencia que los LCOE de las tecnologías que utilizan combustibles fósiles son sensibles a los precios de los combustibles. Las turbinas de gas y los ciclos combinados son afectados ante la suba de precio del gas natural o ante la insuficiente producción de gas natural local que genera importar o usar combustibles más caros como el gasoil y fueloil (Cámara Argentina de Energía Renovable y KPMG, 2021). Y como se indicó anteriormente en este Capítulo, a diferencia de las plantas nucleares tienen una alta inversión inicial pero bajos costos de combustible, el peso del combustible en el caso de las plantas térmicas es más alto por lo que tiene alto impacto en sus costos y consecuentemente en su LCOE (Cámara Argentina de Energía Renovable y KPMG, 2021).

Por último, tal como se indicó en la página anterior, en los informes realizados en los últimos años ya comenzaron a internalizar los costos por emisiones de GEI. Esto es debido a que resulta fundamental la comparación de costos nivelados de electricidad de las distintas

tecnologías de generación internalizando los costos generados por las emisiones de GEI. Esto es importante ya que los precios de mercado no consideran las externalidades negativas de todos los costos de la generación de energía eléctrica (Cámara Argentina de Energía Renovable y KPMG, 2021). Y tal como indican Burtraw y Krupnick en el documento “The True Cost of Electric Power. An Inventory of Methodologies to Support Future Decision making in Comparing the Cost and Competitiveness of Electricity Generation Technologies”, contabilizar las externalidades, como por ejemplo la emisión de GEI, pueden duplicar el costo de las tecnologías que utilizan combustibles fósiles (Dallas Burtraw y Alan Krupnick. Center for Energy Economics and Policy, Resources for the Future, 2012). Por lo que queda en evidencia que si se comparan dos tecnologías de generación de energía eléctrica (una que utiliza combustible fósil y una energía renovable) y se implementa un impuesto al carbono, la relación entre el impuesto y la diferencia entre los LCOE de ambas tecnologías se podría concluir que la tecnología de energía renovable sería competitiva con la generación convencional.

Capítulo III – Indicadores de descarbonización de la matriz de energía eléctrica y desarrollo sustentable

En el presente Capítulo se identificarán indicadores con distinto nivel de desagregación que permita a los responsables de desarrollar e implementar las proyecciones energéticas a mediano y largo plazo y de esta manera, poseer más información para la toma de decisiones. En especial en este Capítulo se pondrá énfasis a aquellos indicadores vinculados a la descarbonización de la matriz de energía eléctrica y el desarrollo sustentable.

Indicadores de energía y desarrollo sustentable

De manera introductoria y como se afirmó a lo largo de la presente Tesis, en las últimas décadas, el impacto de las actividades humanas es un tema central en la agenda global y, por tanto, requiere de las políticas públicas. Para ello, se debe realizar un abordaje multidimensional capaz de equilibrar tres dimensiones: la ambiental, la sociocultural y la económico-productiva (Subsecretaría de Fortalecimiento Institucional, 2022). Y se requiere una drástica reducción de las emisiones de GEI y el sector energético ocupa un relevante peso en los distintos compromisos y documentos relacionados al Acuerdo de París. Al mismo tiempo, la Agenda 2030, uno de los acuerdos globales más ambicioso en materia de desarrollo, contiene un objetivo específico en materia de energía y desarrollo sustentable hacia el año 2030.

En este sentido, y en relación a la sustentabilidad energética, el Consejo Mundial de Energía la plantea en base a tres principales dimensiones (Consejo Mundial de la Energía, 2017):

- La seguridad energética es la gestión eficaz del suministro de energía primaria de fuentes nacionales y externas, fiabilidad de la infraestructura energética y capacidad de los proveedores de energía para satisfacer la demanda actual y futura.
- La equidad energética es la accesibilidad y asequibilidad del suministro de energía para toda la población.
- La sostenibilidad ambiental abarca el logro de eficiencias energéticas del lado de la oferta y la demanda y el desarrollo del suministro de energía a partir de fuentes renovables y otras fuentes bajas en carbono.

En este sentido, para alcanzar un desarrollo energético sostenible a largo plazo a escala global y local, no sólo se debe focalizar en un análisis costo-beneficio, sino que se debe integrar en dicho análisis otros aspectos socioeconómicos y socioambientales que en la mayoría de los casos es imposible la monetización. Además, se necesita una correcta evaluación de los indicadores a futuro para la toma de decisiones como así también un seguimiento de los impactos de las estrategias implementadas, a fin de comprobar si están promoviendo un desarrollo sostenible.

Es importante destacar que la elaboración de indicadores de monitoreo es una herramienta que apoya el trabajo de diseño y evaluación de cualquier acción o política pública, fortaleciendo decisiones informadas, así como la participación ciudadana, para impulsar a nuevas medidas hacia el desarrollo sostenible (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2001).

Unos de los antecedentes más relevantes a nivel internacional, fue en el año 2015 que se aprobó por la Asamblea General de las Naciones Unidas la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas. División de Estadística, 2017). Ésta indica una visión hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 Estados Miembros que la suscribieron y es la guía de referencia para el trabajo para los próximos 15 años. Dentro de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, se identifican 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que son una herramienta de planificación para los países, tanto a nivel nacional como local. Esto se debe a que el principal objetivo de la Agenda 2030 es que se realice un seguimiento de las diferentes metas de los 17 ODS.

ILUSTRACIÓN 1. LOS 17 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Fuente: <https://www.ar.undp.org/>

Dentro de los ODS, existe el número 7 denominado “Energía asequible y no contaminante”, que tiene las siguientes metas e indicadores:

- Meta: De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.
 - Indicadores: Porcentaje de población que tiene acceso a la electricidad y porcentaje de la población con acceso a los combustibles limpios para cocción.
- De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energética.
 - Indicador: Porcentaje de la energía renovable en el consumo final total de energía.
- De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.
 - Intensidad energética medida en términos de oferta interna de energía total y el PBI (ktep/millones de pesos de 2004).

Cabe la pena recalcar que cada país miembro puede definir los indicadores que le parezca más relevante y útil para realizar el monitoreo y seguimiento de las metas. Y, los que están enumerados aquí son los definidos por la Argentina. De esta manera se puede observar los resultados y monitoreo de los valores aportados por el gobierno nacional en el año 2017 sobre los indicadores de seguimiento vinculados al ODS 7 (ver Ilustración 2).

ILUSTRACIÓN 2. INDICADORES ODS 7 DE SEGUIMIENTO, LÍNEAS DE BASE, METAS INTERMEDIAS Y FINALES

INDICADOR	LÍNEA DE BASE		META INTERMEDIA		META 2030
	AÑO	VALOR	AÑO	VALOR	VALOR
7.1.1. Porcentaje de población que tiene acceso a la electricidad. *	2010	98,8%	2019	99,3%	99,5%
7.1.2. Porcentaje de la población con acceso a los combustibles limpios para cocción. **	2010	97,2%	2019	97,5%	97,8%
7.2.1. Porcentaje de la energía renovable en el consumo final total de energía. ***	2016	10,3%	2019	10,9%	16,3%
7.3.1. Intensidad energética medida en términos de oferta interna de energía total y el PBI. ****	2016	0,120 ktep/millones de pesos de 2004	2019	0,115 ktep/millones de pesos de 2004	0,098 ktep/ millones de pesos de 2004

Notas: ktep: Kilo toneladas equivalentes de petróleo.

* Fuente: Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas INDEC (Cuestionario Ampliado).

** Fuente: Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas INDEC (Cuestionario Básico).

*** Fuente: Balance Energético Nacional y Escenarios Energéticos 2030, Ministerio de Energía y Minería.

**** Fuente: Balance Energético Nacional, Escenarios Energéticos 2030, Ministerio de Energía y Minería y Producto Bruto Interno en millones de pesos a precios de 2004, INDEC.

Fuente: Ministerio de Energía y Minería.

Fuente: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ods_7_3.pdf

Asimismo, existen distintos organismos que proponen indicadores relacionados al monitoreo y evaluación del desarrollo sustentable tanto a nivel global como así también para América Latina.

Por un lado, se encuentra el documento de la Comisión para el Desarrollo Sustentable de Naciones Unidas la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), que si bien tiene varios años de haberse publicado describe una revisión de las principales iniciativas de desarrollo e implementación de indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible. Dentro del documento, se realiza un análisis de distintos indicadores por tema de la Comisión de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas desarrollados por distintos países. Por ejemplo, dentro de la secciones Ambiental, Social, Institucional y Económica, genera un listado dependiendo del Tema; Subtema; e Indicadores. Por ejemplo, dentro de la sección Económica, se presenta el Tema de “Patrones de Consumo y producción”, siendo como subtemas para dicho análisis al consumo de materiales; Uso de energía; manejo y generación de residuos y transporte. Y, dentro de estos, en particular para el Subtema de Uso de energía presenta tres indicadores como el consumo de energía anual per cápita; proporción del consumo de energía renovables e intensidad de uso de energía. Indica asimismo que estos indicadores constituyen un sistema de señales que permite a los países evaluar su progreso para la toma de decisiones (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2001). También en el año 2009, la CEPAL, presenta la Guía metodológica: diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. Allí indica las bases conceptuales y las herramientas metodológicas para el proceso de diseño, cálculo y análisis de un indicador

vinculado al desarrollo sostenible (Comisión Económica para América Latina y el Caribe , 2009).

En particular para el sector energético de Argentina existen algunos sistemas de indicadores denominado Sistema de Indicadores de Sustentabilidad para la Evaluación de Escenarios Energéticos Prospectivos del Plan Estratégico de Energía 2011-2030 (Secretaría de Energía de la Nación, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2012), como así también los Indicadores de Sustentabilidad de la Bioenergía en Argentina (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Universidad de San Martín, 2012). El primer documento fue elaborado en el marco del Plan Estratégico de Energía de la entonces Secretaría de Energía de la Nación y se desarrolló un sistema de indicadores que permitían evaluar de manera cuantitativa la sustentabilidad ambiental, social, económica y política del conjunto de acciones propuestas. El trabajo analizaba el período 2011-2030 y fue coordinado por la Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires con financiamiento del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Sobre el documento referido a los indicadores de bioenergía, su objetivo fue cuantificar los efectos ambientales, sociales y económicos de la producción y uso de los biocombustibles líquidos para mejorar las políticas vinculadas a sustentabilidad de la bioenergía (Fundación Ambiente y Recursos Naturales, 2020).

Tal como se indicó en el Capítulo I, también existe el documento Escenarios Energéticos Argentina 2040 (Mariela Beljansky, Leonardo Katz, Pablo Alberio y Gustavo Barbarán, 2018), elaborado en el marco de la Plataforma Escenarios Energéticos Argentina, que es integrada por Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energética de la Universidad de Buenos Aires, el Instituto Tecnológico de Buenos Aires, la Fundación Avina, la Secretaría de Gobierno de Energía de la Nación y el PNUD, con el objeto de promover el debate público y con sustento técnico, brindando insumos para la toma de decisión y para el diseño de políticas por parte de actores públicos y privados.

En particular relacionado con la tesis, el documento refleja nueve escenarios de proyecciones energéticas hacia el año 2040 que contempla las diferentes visiones y objetivos de los escenaristas involucrados en el proceso¹¹ y, se construyeron 16 indicadores

¹¹ Los escenaristas que formaron parte de Escenarios energéticos 2040 fueron: Asociación de Generadores de Energía Eléctrica de la República Argentina; Asociación de Grandes Usuarios de la Energía Eléctrica de la República Argentina en conjunto con la Unión Industrial Argentina; Comité Argentino del Consejo Mundial de Energía; Cámara Argentina de Energías Renovables; Foro de Ecología Política; Fundación Vida Silvestre; Fundación Ambiente y Recursos Naturales en conjunto con la Universidad Nacional del Centro de la Provincia

para evaluar cualitativa y cuantitativamente la evolución de lo planteado en los diferentes escenarios. Bajo estas premisas y definiciones llegan a diferentes conclusiones y divergencias de políticas y acciones que se llevarán a cabo a largo plazo. Los indicadores analizados en dicho documento son: a) emisiones de GEI; b) intensidad de emisiones de GEI en el sector primario; c) emisiones de GEI del sector eléctrico; d) emisiones de NOx y SO₂; e) uso de suelo; f) aspectos ambientales vinculados a la producción de hidrocarburos; g) diversidad de fuentes de generación eléctrica; h) diversidad energética primaria; costos medios actualizados; i) costo total actualizado; j) eficiencia energética; k) independencia energética; l) impacto en la balanza comercial; m) generación de empleo y, n) conflictividad (Mariela Beljansky, Leonardo Katz, Pablo Alberio y Gustavo Barbarán, 2018).

En este sentido, a modo de resumen de lo descripto en los párrafos anteriores se muestra en la siguiente ilustración distintos indicadores (no es exhaustivo) que se incluyen diferentes temas dentro de cada una de las siguientes dimensiones:

ILUSTRACIÓN 3. DIMENSIONES E CATEGORÍAS DE INDICADORES

Ambiental	Económico	Social
• GEI, calidad de aire • Suelo • Agua • Servicios ecosistémicos • Bosques	• Balanza comercial • Productividad • Desarrollo tecnológico • Costos y beneficios socioeconómicos • Independencia energética	• Salud • Acceso a servicios básicos • Educación/concientización • Aceptación/conflictividad social • Empleo y transición justa • Género

Fuente: Elaboración propia.

Si tomamos en cuenta una de las dimensiones y una de las categorías de indicadores y lo relacionamos con la evolución y descarbonización de matriz de energía eléctrica nos podemos encontrar con distintos indicadores específicos que pueden ser utilizados para monitorear su progreso. Nuevamente, de manera no exhaustiva y sólo para el análisis dentro de este documento nos podemos encontrar con los indicadores de seguimiento que se encuentran en la tabla 8.

de Buenos Aires; Grupo NOA (Salta y Jujuy) y el Consejo Asesor de Política Energética de la Provincia de Córdoba.

TABLA 8. INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD VINCULADOS A LA DESCARBONIZACIÓN DE LA MATRIZ DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Ambiental	Económico	Social
Gases de Efecto Invernadero	Desarrollo tecnológico	Empleo y transición justa
Emisiones totales de CO ₂ , NO _x y otros gases por generación de energía eléctrica o Emisiones totales de CO ₂ eq por generación de energía eléctrica	Participación de energías renovables para la generación eléctrica distribuida	Creación de empleos directos e indirectos de las medidas de promoción de energía renovable
	Incorporación de tecnologías locales	
Suelo	Balanza comercial	Acceso a servicios básicos
Porcentaje de superficie destinada la producción de las distintas energías renovables (eólica, fotovoltaica, hidroeléctrica, etc.)	Balance de importaciones/exportaciones de energía (combustibles y electricidad)	Porcentaje de la población con acceso a electricidad de red, gas de red o energías renovables modernas
Agua	Diversificación	Género
Uso del agua en la producción de energía primaria (hidrocarburos, nuclear, etc)	Porcentaje de la matriz de energía primaria con fuentes renovables	Relación mujeres/hombres en los nuevos puestos de trabajo en energías renovables
Bosques	Costo y beneficios	Educación/Concientización
Proporción de cobertura de bosque nativo afectada por medidas y políticas vinculadas a la generación de energía renovable	Inversiones requeridas en relación al PBI	Presupuesto destinado a campañas de educación/concientización de la población en la problemática del cambio climático y transición energética

Fuente: Elaboración propia en base a Secretaría de Energía de la Nación, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2012

De esta manera, tal como se dijo anteriormente un sistema de indicadores permite poseer información integral si los objetivos están siendo alcanzados, si las acciones implementadas tienen un impacto negativo o positivo, entre otras cosas. Por lo que, contribuyen a fortalecer las intervenciones por los responsables políticos y técnicos involucrados en la toma de decisiones.

Análisis de los indicadores

En esta sección se describirá y analizará un indicador de cada dimensión que están en la tabla 8, haciendo hincapié en la información que actualmente se encuentra disponible para realizar los cálculos necesarios para desarrollarlo y/o monitorearlo a lo largo del tiempo. En el caso que no existan los datos, se presentará qué se requeriría para desarrollarlo y, así contribuir al seguimiento de acciones vinculadas a la descarbonización de la matriz de energía eléctrica.

Es importante destacar que se procurará encontrar bibliografía y/o información generada en nuestro país y que los datos muestren directa o indirectamente el impacto de políticas públicas relacionadas con la temática en estudio.

Dimensión: Social

Categoría: Empleo y transición justa

Indicador: Creación de empleos de las medidas de promoción de energía renovable y nuclear -ambas bajas en carbono- (empleo/MW).

En esta sección se analiza el indicador de generación de empleo directo para la energía renovable y nuclear. Por lo que este indicador pretende dar a conocer la cantidad de puestos de trabajo para la construcción, mantenimiento y operación de 1MW para cada tecnología renovable que generará energía eléctrica. Se encuentra focalizado en la energía renovable y nuclear, dejando afuera tecnologías de biomasa y biogás por la relativamente baja penetración de energía eléctrica que se esperaría que inyecten estas tecnologías a la red de energía eléctrica en el año 2030.

El sector de las energías renovables y la nuclear consta de distintos pasos para el desarrollo e implementación los proyectos: fabricación y distribución de equipos; la construcción e instalación, y la operación y mantenimiento (O&M). En este análisis se focaliza únicamente

en la generación de empleo directo en la construcción y operación y mantenimiento. Por lo que se procurará dar a conocer los puestos generados en la fase de la construcción de la obra, dirección de obra y personal administrativo durante el período de ejecución de las obras del personal anual contratado para el funcionamiento de la planta y para el mantenimiento, entre otros.

En este sentido, es importante destacar que existen varios informes que presentan datos de manera aislada y que es una aproximación para este análisis. Por un lado, se encuentra el documento del año 2019 denominado “La generación de empleo en el sector de las energías renovables, Argentina”. En este se afirma que luego de un análisis de las Rondas 1, 1.5 y 2 del RenovAr y readecuación de contratos que comprenden un total de 4.966 MW de potencia¹², se propuso desarrollar un indicador que permita cuantificar, monitorear y, posteriormente, evaluar las implicancias del despliegue de las energías renovables. Se indica que sólo se enfocaron en la etapa de construcción y de operación y mantenimiento. Y se estima que en otra instancia se debería analizar etapas anteriores como temas relacionados a la fabricación y distribución de equipos, como así la generación de empleo indirecto (Gabriela Rijter, 2019).

Por otro lado, relacionado con la energía nuclear e hidroeléctrica (mayor a 50 MW) respecto a la fase de construcción no se encuentra información y la que se posee no es coherente si se compara con otras fuentes y, a la vez, no es referenciada en informes de nuestro país. Uno de los documentos que se encontró es de la Comisión Nacional de Energía Atómica que en la Central Nuclear Atucha II con una potencia de 745 MW se utilizaron en promedio 6.000 operarios (Comisión Nacional de Energía Atómica, 2018). La falta de disponibilidad de datos promedio para nuestro país también puede deberse a las características propias y tan diversas (esto quiere decir, por su potencia, radicación, especificidad de tecnología, entre otros) tanto de la construcción de represas hidroeléctricas como de centrales nucleares. Por lo que se decide no colocarlo en la tabla.

¹² Es importante destacar que la muestra para la realización del indicador sólo abarcó a la totalidad de ofertas recibidas para la Ronda 2.

TABLA 9. INDICADOR DE EMPLEO/MW POR TECNOLOGÍA

Tecnología	Fase	
	Construcción	Operación y Mantenimiento
Pequeños aprovechamientos hidroeléctricos	13 empleos/MW	2,5 empleos/MW
Eólico	0,2 empleos/MW	0,2 empleos/MW
Fotovoltaico	0,2 empleos/MW	0,2 empleos/MW
Nuclear		0,5 empleos/MW
Aprovechamientos hidroeléctricos (>50MW)		0,11 empleos/MW

Fuente: Elaboración propia en base a Boletín Energético 41 de la Comisión Nacional de Energía Atómica y La generación de empleo en el sector de las energías renovables, Argentina de Gabriela Rijter.

Tal como se puede observar en la tabla 9, a diferencia de lo que uno esperaría las tecnologías como eólica y fotovoltaico no son las más intensivas, sino que son los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos y la energía nuclear. Hay que tener en cuenta además que estas dos últimas tecnologías son a su vez las tecnologías con mayor vida útil promedio. No se pudo distinguir para todas las tecnologías si es de mano de obra local.

En la actualidad CIPPEC con el PNUMA y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, están realizando estudios sobre indicadores de empleo verde en el marco de una economía verde inclusiva. Además, se está evaluando la generación de empleo, considerando la cantidad de nuevos puestos de empleo y la priorización de mano de obra local. Este estudio incluye la evaluación de las repercusiones sobre el empleo y la reconversión hacia puestos de trabajo en otros sectores. Lamentablemente la información no se encuentra desagregada hasta el día de la fecha. Tampoco se encontró información específica sobre el desplazamiento de mano de obra en centrales si se quisiera dar un paso adelante y profundizar el análisis.

Por lo que se puede afirmar que, en la actualidad, en nuestro país no se evidencia una base de datos o estadísticas centralizadas con información desagregada para las energías renovables y nuclear para elaborar de manera certera un indicador que se pueda utilizar como proxy para poder ser usado en el desarrollo de escenarios energéticos a largo plazo y, de esta manera, evaluar las medidas y acciones que impacten en la generación de puestos de trabajo. Es importante destacar que específicamente para energía renovable, puede deberse a que es un tema que ha habido mayor despliegue en los últimos años y, posiblemente se comience a construir en base a información real de los proyectos puestos en marcha.

Dimensión: Desarrollo Tecnológico

Categoría: Participación de energía renovable para la generación eléctrica distribuida

Indicador: Porcentaje de tecnología local en instalaciones de energía distribuida

En el año 2017, se sancionó la Ley 27.424 de generación de energía eléctrica de fuentes renovables de forma distribuida. La ley establece un marco para que usuarios (hogares, PyMEs, grandes industrias, comercios, etc.) de la red eléctrica autogeneren su energía a partir de fuentes renovables e inyecten el excedente a la red. De acuerdo con los datos de la Secretaría de Energía de la Nación¹³ el segmento renovable ya pasó los 7 MW instalados en el país, y se plantea alcanzar los 1000 MW al año 2030.

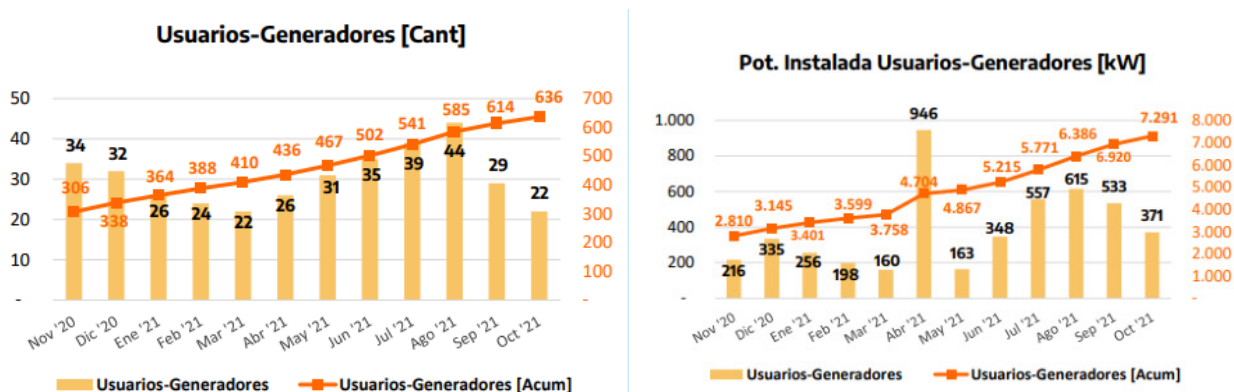
En este sentido, se contempla la generación de electricidad a nivel residencial y comercial/industrial conectada a la red, empleando fuentes renovables. Esto lleva a que una parte de la generación se realice directamente en los puntos de consumo, disminuyendo la carga sobre los sistemas de transporte y distribución de energía.

Para este tipo de medidas es fundamental acompañarlos con otro tipo de acciones, como por ejemplo con un programa de formación de instaladores y de mantenimiento, campañas de comunicación y a la vez fomentar al desarrollo de la industria nacional de los equipos de generación distribuida.

En la actualidad, teniendo en cuenta la información de la Secretaría de Energía, tal como se puede observar en los siguientes gráficos, comenzó a aumentar la cantidad de proyectos que completaron la instalación y se convirtieron en Usuarios-Generadores como así también la potencia acumulada llegando a octubre del año 2021 un total de 7.291 kW (Secretaría de Energía, 2021).

¹³ Los datos fueron descargados y analizados en octubre del año 2021.

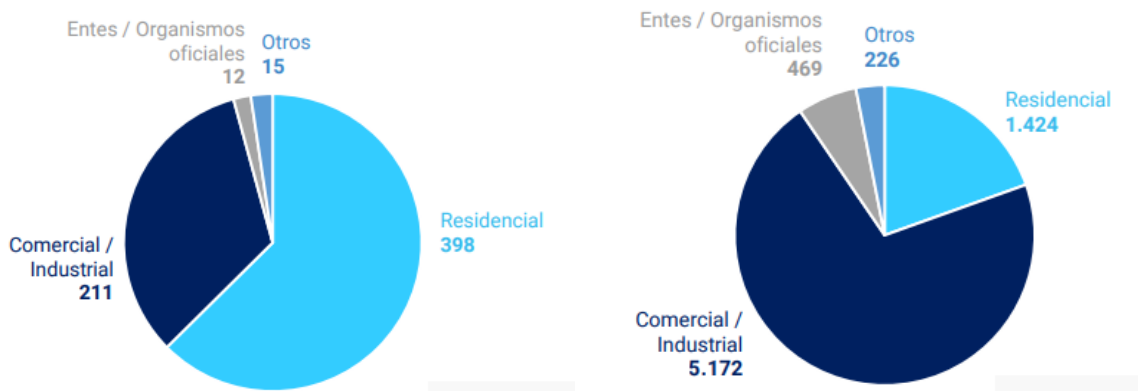
GRÁFICO 6 CANTIDAD DE USUARIOS-GENERADORES Y POTENCIA INSTALADA



Fuente: Secretaría de Energía, 2021.

Asimismo, tal como se observa en los siguientes gráficos la mayor cantidad de proyectos proviene del sector residencial (con un total de 398 proyectos), mientras que, si se lo analiza por la potencia, la distribución cambia y es el sector Comercial/Industrial con un 5.172 kW.

GRÁFICO 7. DISTRIBUCIÓN DE PROYECTOS POR SECTOR Y POR POTENCIA (kW)



Fuente: Secretaría de Energía, 2021.

Por lo que esto evidencia el crecimiento en estos últimos años y muestra el futuro que puede llegar a tener si se toman las medidas correctas para incentivar este sector. Esto también crea empleo directo e indirecto, como así también nuevos servicios y desarrollos tecnológicos alrededor de la energía distribuida. Sobre esto último es interesante conocer

qué tipo de tecnologías y origen se utilizan en las instalaciones de energía distribuida. Ya que, al identificar los proveedores nacionales del sector de las energías renovables, se pueden tomar medidas más direccionadas para impulsar la industria y diversificar la matriz productiva a través de mayor generación de valor agregado.

Uno de los organismos involucrados en este proceso, más allá de la Secretaría de Energía, es el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), ya que elaboró el Registro de Proveedores de Energías Renovables (ReProEr) en donde se puede observar empresas que prestan servicios y/o productos relacionados al RenovAr. Cabe aclarar que el INTI tiene como uno de sus objetivos registrar a los fabricantes y proveedores de componentes destinados a la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables que deseen obtener el beneficio de fiscal previstos en el artículo 14 de la Ley Nº 27.191 o para dar cumplimiento con el Componente Nacional Declarado al que se comprometieron en el momento de presentar su oferta.

En este sentido, para conocer el indicador de porcentaje de tecnología local en instalaciones de energía distribuida es necesario conocer si se utiliza este listado en el marco de la ley de generación distribuida y a su vez tener información de cuáles fueron los proveedores y fabricantes que han sido contratados para conocer el impacto en las PyMEs y grandes empresas que proveen sistemas, servicios de instalación y certificación, así como también mantenimiento y reparación.

Para ello, hasta octubre del año 2021 se encontraron más de 120 actividades de servicios¹⁴ que se indican en el ReProEr, como pueden ser: instalaciones eléctricas, instalaciones mecánicas, grúas, integradores, certificación, asesoramiento técnico, ingeniería, desarrollo de proyectos, movimiento de suelos, logística, obra civil, entre otros. De la misma manera, el INTI elaboró el listado de productos y servicios que existen y son más de 2.600 datos¹⁵.

Estos datos, si bien se encuentran abiertos y disponibles, es difícil realizar el seguimiento de las tecnologías y/o servicios que han sido utilizados a la hora de ser un usuario-generador en el marco de la ley de generación distribuida. Por lo que sería interesante conocer para realizar el indicador de porcentaje de tecnología local en instalaciones de energía distribuida lo siguiente: a) qué tipo de servicio fue contratado; b) qué tecnología/producto fue contratado; c) bajo qué normativa (energía renovable, MATER, energía distribuida); d) cuáles fueron las barreras y dificultades en el uso de la tecnología; e) en qué provincias

¹⁴ Disponible en: <https://reproer.inti.gob.ar/catalogo-servicios.php>

¹⁵ Disponible en: <https://reproer.inti.gob.ar/cpp-listado.php>

están radicadas las empresas proveedores de tecnología; f) en qué provincia fue instalada la tecnología; g) si todos los productos ofrecidos son con componentes nacionales o en qué porcentaje.

Dimensión: Ambiental.

Categoría: Gases de Efecto Invernadero.

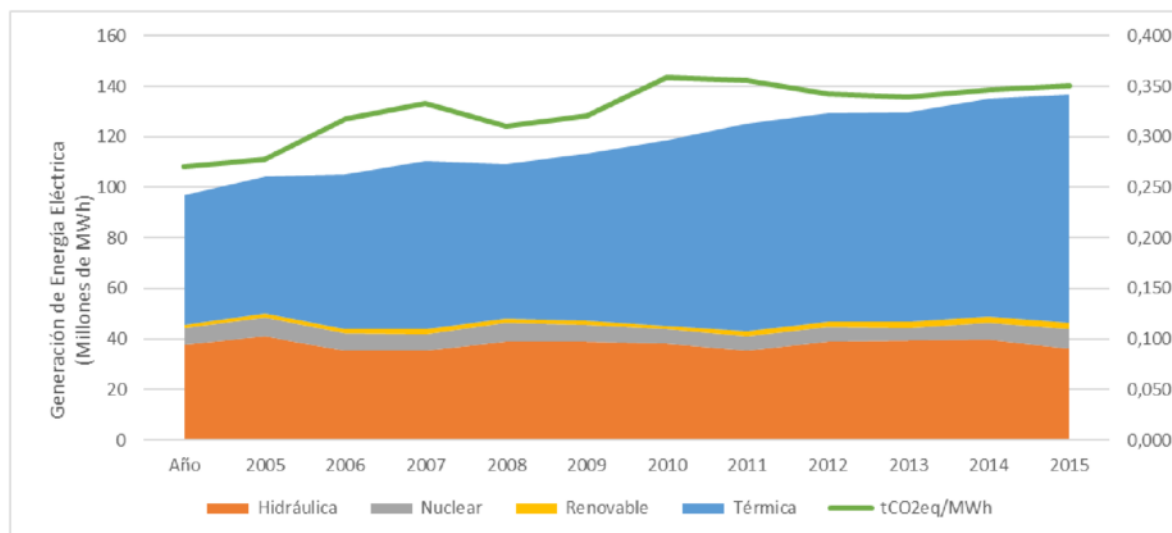
Indicador: Emisiones de CO₂e por MWh (tCO₂e/MWh)

Este indicador es de suma relevancia si tenemos en cuenta que el objetivo final es la descarbonización de la matriz energética. Para ello, se construyó el indicador de tCO₂e/MWh teniendo en cuenta la información de generación eléctrica por fuente suministrada por CAMMESA y al mismo tiempo se procesaron los datos del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019) que se realiza cada dos años. Para ello, se extrae la información del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, específicamente la categoría del IPCC “1.A.1a – Producción de electricidad y calor como actividad principal”. Para la categoría “térmica” que se encuentra en el gráfico 8, agrupa la energía eléctrica generada por ciclos combinados, turbinas de gas y vapor, y equipos diésel. Es importante aclarar que se realiza el análisis hasta el 2016 ya que es la última información disponible de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.

Tal como se puede observar en el gráfico 8, se calcula el CO₂e donde allí también contiene las emisiones de CH₄, y N₂O y se convierten a unidades equivalentes de CO₂ utilizando los potenciales de calentamiento global¹⁶.

¹⁶ El potencial de calentamiento global es una medida de la capacidad que tienen diferentes GEI en la retención de calor en la atmósfera, ya que no todos los gases absorben la radiación infrarroja de la misma manera ni todos tienen igual vida media en la atmósfera. El gas utilizado como referencia para medir otros GEI es el CO₂, por lo que su potencial de calentamiento global es igual a 1. Cuanto más alto sea el PCG que tiene un gas, mayor será su capacidad de retención de calor en la atmósfera.

GRÁFICO 8. EMISIONES POR LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD POR MWh Y POR TIPO DE TECNOLOGÍA (tCO_{2e}/MWh)



Fuente: elaboración propia en base a CAMMESA y Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2019.

Por último, teniendo en cuenta también los datos de la tabla 10, es importante destacar que, se pueden realizar muchos otros indicadores relacionados también a calidad de aire y analizar por ejemplo los compuestos orgánicos volátiles distintos al metano (COVNM), SO₂, N₂O, NO_x por generación de electricidad. Ya que estos gases están también indicando el uso intensivo de combustibles fósiles.

TABLA 10. EMISIONES DE GASES Y GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA (AÑO 2005-2016)

Año	MtCO ₂	MtCH ₄	MtN ₂ O	MtNO _x	MtCO	MtCOVNM	MtSO ₂	MtCO ₂ eq	GWh				tCO ₂ eq/GWh	tCO ₂ eq/MWh
									Hidráulica	Nuclear	Renovable	Térmica		
2005	26,21	0,001	0,0001	0,070	0,009	0,002	0,023	26,25	37892	6374	1321	51351	270,798	0,271
2006	28,82	0,001	0,0001	0,077	0,009	0,002	0,025	28,87	41080	7153	1907	53928	277,382	0,277
2007	33,28	0,001	0,0002	0,089	0,010	0,003	0,029	33,34	35426	6721	1864	61012	317,448	0,317
2008	36,48	0,001	0,001	0,110	0,014	0,002	0,037	36,83	35121	6849	1761	66877	332,956	0,333
2009	33,62	0,001	0,001	0,108	0,014	0,002	0,032	33,96	38799	7589	1543	61363	310,714	0,311
2010	36,04	0,001	0,001	0,116	0,016	0,002	0,039	36,39	38799	6692	1502	66392	320,920	0,321
2011	42,21	0,002	0,001	0,137	0,020	0,003	0,048	42,61	38084	5892	1371	73475	358,639	0,359
2012	44,10	0,002	0,001	0,145	0,022	0,003	0,047	44,53	35173	5904	1974	82331	355,147	0,355
2013	43,91	0,002	0,001	0,147	0,022	0,003	0,040	44,33	39056	5732	1978	82712	342,374	0,342
2014	43,60	0,002	0,001	0,144	0,021	0,003	0,046	44,03	39207	5258	2301	83048	339,211	0,339
2015	46,38	0,003	0,001	0,155	0,023	0,003	0,049	46,82	39840	6519	2510	86347	346,266	0,346
2016	47,37	0,003	0,001	0,161	0,025	0,003	0,040	47,83	36192	7677	2632	90099	350,154	0,350

Fuente: elaboración propia en base a CAMMESA y Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2019.

Capítulo IV – Conclusiones

A modo de cierre se expondrán las principales conclusiones a las cuales se ha ido arribando a lo largo del desarrollo de la presente tesis:

- El cambio climático es una realidad y los impactos ya observados son: al aumento de las precipitaciones, el retroceso de los glaciares, el calentamiento de los océanos y el aumento del nivel del mar. Estos impactos son reales y la solución no depende de un solo país ni de un solo sector de la economía.
- El sector energético es la fuente de unas tres cuartas partes de las emisiones de GEI del planeta y representa más de la mitad de las emisiones de GEI de la Argentina y, el subsector de generación de energía eléctrica genera el 13% de emisiones de GEI (ambos referido al año 2016).
- Nuestro país debe profundizar de manera drástica una reducción de emisiones de GEI para encontrarse en línea con lo establecido por el Acuerdo de París en donde se pretende alcanzar la carbono neutralidad al 2050. Si la inversión continúa en la producción de combustibles fósiles (principalmente el gas natural y petróleo no convencional) no podrá llegar a ese objetivo.
- Las transformaciones que se necesitan, requerirán mayor inversión, profundización en cambios en los sistemas tecnológicos, de producción y de consumo.
- Los escenarios energéticos y las estrategias a largo plazo deben contemplar y proponer un modelo de desarrollo en balance con los ciclos naturales de nuestro planeta.
- Los escenarios energéticos y proyecciones energéticas deben tener en cuenta un análisis de inversiones en infraestructura a largo plazo que requerirán, a su vez, de estabilidad política, jurídica y económica.
- Hacia el año 20230 y 2050, se debe avanzar en profundizar el uso de nuevas tecnologías que actualmente necesitan financiamiento para su desarrollo e implementación.
- Se debe elaborar un plan de transición energética que contemple los intereses del sector privado para aumentar las inversiones, y asociar metas a corto plazo a indicadores que muestren un seguimiento de los resultados de la implementación de acciones que contemplen la descarbonización de la matriz energética y que involucre a las energías renovables, electrificación, hidrógeno verde, entre otras medidas.

- Se debe contemplar las proyecciones climáticas en la planificación energética a largo plazo principalmente para la instalación de centrales nucleares y represas hidroeléctricas.
- En los escenarios energéticos 2030 presentados en el 2019, se indica que para reducir las emisiones del sector hay dos mecanismos: a través de reducir la intensidad de energía y/o reducir las emisiones de la energía que se genera y consume. Para ello proponen que se seguirá creciendo, pero paulatinamente desacoplándolo del consumo energético. Respecto a la matriz de energía eléctrica (actualmente con preponderancia de tecnologías como la térmica e hidráulica) se actualmente tiene un tercio de su generación sin emisiones de GEI y en el año 2030 tendría dos tercios de su generación libre de emisiones de GEI.
- Respecto a los costos de las distintas tecnologías de generación de energía eléctrica, se evidencia a través de distintos análisis y documentos técnicos que tanto la energía eólica como la fotovoltaica comienzan a tener valores competitivos si se los compara con las centrales que utilizan combustibles fósiles. Y, gracias a esto, se podría comenzar a profundizar la participación de distintas renovables en la matriz de energía eléctrica y, si se acompaña esto con otros incentivos y decisiones políticas disruptivas se podría lograr a largo plazo una mayor participación en la matriz energética de nuestro país.
- Se debe incorporar indicadores de sustentabilidad en la toma de decisión, más teniendo en cuenta las medidas que se implementan a largo plazo.
- Es importante destacar que los indicadores que utilizan los tomadores de decisión, ya no responden a la necesidad en la que nos encontramos que es un cambio de paradigma. Se requiere nuevas formas de pensar el desarrollo para encontrarnos con un modelo en el que se deben incluir los distintos impactos ambientales e inequidades sociales.
- Existen muchos indicadores del sector energético vinculados al desarrollo sustentable que pueden ser utilizados con eficacia a la hora de realizar un seguimiento y monitoreo. Sin embargo, hay muchos datos que deben ser recopilados y profundizados para tener una visión más amplia de lo que está sucediendo y las medidas que se encuentran llevando a cabo para medir el impacto real y final a largo plazo.
- La producción de estadísticas e indicadores aún es incipiente y poco robusta. En este sentido, uno de los principales desafíos de gestión se encuentra en la construcción de un sistema de indicadores de sustentabilidad capaz de realizar mediciones comparables que permitan realizar un monitoreo en el corto, mediano y largo plazo.

- Se debe considerar el sistema de indicadores de monitoreo desde el inicio de las políticas públicas para generar la información de la línea de base pertinente y poder lograr un monitoreo de manera coherente.
- Se deben desarrollar metodologías para la identificación de variables clave de cada dimensión que funcionen como herramientas de seguimiento de gestión de las políticas orientadas a la descarbonización de la matriz energética.
- Se deben llevar acuerdos entre distintos niveles de gobierno para integrar y favorecer la coordinación y, la implementación de estrategias de desarrollo sustentable a largo plazo.

Bibliografía

- Agencia Internacional de Energía Renovable. (2019). *A New World: The Geopolitics of the Energy Transformation*. Obtenido de <https://www.irena.org/publications/2019/Jan/A-New-World-The-Geopolitics-of-the-Energy-Transformation>
- Agencia Internacional de Energía Renovable. (2020). *Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2020*. Obtenido de <https://www.irena.org/publications/2020/Sep/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2020>
- Agencia Internacional de Energía Renovable, Agencia Internacional de la Energía, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (2018). *Renewable Energy Policies in a Time of Transition*. Obtenido de <https://www.irena.org/publications/2018/apr/renewable-energy-policies-in-a-time-of-transition>
- Agencia Internacional de la Energía. (2020). Obtenido de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ae17da3d-e8a5-4163-a3ec-2e6fb0b5677d/Projected-Costs-of-Generating-Electricity-2020.pdf>
- Agencia Internacional de la Energía. (2020). *Global Electric Vehicle Outlook 2020*. Obtenido de https://iea.blob.core.windows.net/assets/af46e012-18c2-44d6-becd-bad21fa844fd/Global_EV_Outlook_2020.pdf
- Agencia Internacional de la Energía. (2020). *Global Energy Review 2021*. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>
- Agencia Internacional de la Energía. (2021). *Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector*. Obtenido de https://iea.blob.core.windows.net/assets/beceb956-0dcf-4d73-89fe-1310e3046d68/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf
- Agencia Internacional de las Energías Renovables. (2019). *Renewable Power Generation Costs in 2018*. Obtenido de <https://www.irena.org/publications/2019/May/Renewable-power-generation-costs-in-2018>
- Agencia Internacional de las Energías Renovables. (2020). *Renewable Power Generation Costs in 2019*. Obtenido de <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>
- Banco Mundial. (2015). *Guidelines for Economic Analysis of Power Sector Projects : Renewable Energy Projects*. Obtenido de <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/22777?locale-attribute=es>
- Bloomberg. (2017). *Electric Vehicle Outlook*.

- Cámara Argentina de Energía Renovable y KPMG. (2021). *Energías Renovables en Argentina. Desafíos y oportunidades en el contexto de la transición energética global*. Obtenido de https://www.cader.org.ar/wp-content/uploads/informe_ERA_2021_ares-vf.pdf
- Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento. (2020). *De la crisis a la oportunidad del sector energético: escenarios y condiciones para ampliar la oferta a 2050*. Obtenido de <https://www.cippec.org/wp-content/uploads/2021/03/200-DT-ADE-De-la-crisis-a-la-oportunidad-del-sector-ener%C3%A9tico-Drukaroff-Farina-Rivas-diciembre-2020.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe . (2009). *Guía metodológica: diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible*. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3661/1/S2009230_es.pdf
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2001). *Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas*. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5570/1/S0110817_es.pdf
- Comisión Nacional de Energía Atómica. (2018). *Boletín Energético 41*.
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico. (2018). *Informe Mensual 2018*. Obtenido de <https://www.cammesa.com/linfomen.nsf/MINFOMEN?OpenFrameSet>
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico. (2020). *Informe Mensual 2020*. Obtenido de <https://www.cammesa.com/linfomen.nsf/MINFOMEN?OpenFrameSet>
- Consejo Mundial de la Energía. (2017). *Energy Trilemma Index 2017 Report*. Obtenido de <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-index-2017-monitoring-the-sustainability-of-national-energy-systems>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2016). *Acuerdo de Paris*. Obtenido de https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf
- Dallas Burtraw y Alan Krupnick. Center for Energy Economics and Policy, Resources for the Future. (2012). *The True Cost of Electric Power. An Inventory of Methodologies to Support Future Decision making in Comparing the Cost and Competitiveness of Electricity Generation Technologies*. Obtenido de https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/105/46105552.pdf?r=1
- Fernández, Ramiro. (2015). *Resumen y conclusiones para un futuro energético sustentable. Plataforma Escenarios Energéticos 2035*. Obtenido de <https://escenariosenergeticos.org/publicaciones/>
- Fernández, Ramiro. (2019). *Hacia una Visión Compartida de la Transición Energética Argentina al 2050*. Obtenido de <https://escenariosenergeticos.org/se-presentaron-los-resultados-del-proceso-hacia-una-vision-compartida-de-la-transicion-energetica-argentina-al-2050/>

- Fundación Ambiente y Recursos Naturales. (2020). *Elementos para alcanzar la carbono neutralidad a 2050*. Obtenido de <https://farn.org.ar/proyecto/elementos-para-alcanzar-la-carbono-neutralidad-a-2050/>
- Gabriela Rijter. (2019). *La generación de empleo en el sector de las energías renovables, Argentina*.
- Gobierno de Chile. (2020). *Informe de costos de tecnologías de generación*. Obtenido de <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/03/ICTG-Marzo-2020.pdf>
- Letra P. (2021). *La energía nuclear va a duplicar su participación en la generación eléctrica*. Obtenido de <https://www.lettrap.com.ar/nota/2021-8-7-18-19-0-la-energia-nuclear-va-a-duplicar-su-participacion-en-la-generacion-electrica>
- Mariela Beljansky, Leonardo Katz, Pablo Alberio y Gustavo Barbarán. (2018). *Plataforma Escenarios Energéticos Argentina 2040*. Obtenido de <https://escenariosenergeticos.org/publicaciones/>
- Matías Medinilla. (2021). *Energía Estratégica*. Obtenido de https://www.energiaestrategica.com/el-gobierno-nacional-trabaja-en-nuevos-beneficios-para-generacion-distribuida-en-argentina/?utm_source=email_marketing&utm_admin=136890&utm_medium=email&utm_campaign=Carta_abierta_de_los_campeones_de_la_COP
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Universidad de San Martín. (2012). *Indicadores GBEP de Sustentabilidad de la bionergia en Argentina*. Obtenido de https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/sustentabilidad/_archivos//000001_Indicadores%20de%20Sustentabilidad%20de%20Bioenerg%C3%ADa%20Argentina/000001_Indicadores%20de%20Sustentabilidad%20de%20Bioenerg%C3%ADa%20Argentina.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Segunda Contribución Nacional Determinada a Nivel Nacional de la República Argentina*. Obtenido de https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Argentina%20Second/Argentina_Segunda%20Contribuci%C3%B3n%20Nacional.pdf
- Ministerio de Economía. (2020). *Balance Energético Nacional de la República Argentina del año 2019*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/hidrocarburos/balances-energeticos>
- Ministerio de Energía y Minería. (2016). *La temperatura y su influencia en la demanda de energía eléctrica: Un análisis regional para Argentina usando modelos econométricos*. Obtenido de http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/publicaciones/mercado_electrico/informeselectrica/as14946098911.pdf
- Naciones Unidas. División de Estadística. (2017). *arco de indicadores mundiales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Labor de la Comisión de Estadística en relación con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. A/RES/71/313*. Obtenido de https://ggim.un.org/documents/A_Res_71_313_s.pdf

- Organización Internacional del Trabajo. (2021). *Inventario de políticas relacionadas a la economía verde en Argentina*. Obtenido de https://www.ilo.org/buenosaires/publicaciones/WCMS_783139/lang-es/index.htm
- Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. (2019). *Calentamiento global de 1,5 °C*. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf
- Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. (2021). Obtenido de https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- Sanchez Morales, D. H., & Ramirez Contreras, D. F. (2020). *Propuesta de una metodología para el cálculo del LCOE en proyectos de generación renovable, basado en el flujo de caja financiero*. Obtenido de https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/7332/2020_Tesis_Duban_Herley_Morales_Sanchez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2019). *Reporte Bienal de Actualización*. Obtenido de <https://unfccc.int/documents/210219>
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2015). *Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Obtenido de <https://unfccc.int/non-annex-I-NCs>
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2017). *Plan de Acción Nacional de Energía y Cambio Climático - versión 01*.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2019). *Tercer Reporte Bienal de la Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Obtenido de <https://unfccc.int/documents/201965>
- Secretaría de Energía. (2019). Obtenido de http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/planeamiento/2019-11-14_SsPE-SGE_Documento_Escenarios_Energeticos_2030_ed2019_pub.pdf
- Secretaría de Energía. (2019). *Escenarios Energéticos 2030*. Obtenido de <http://datos.minem.gob.ar/dataset/escenarios-energeticos>
- Secretaría de Energía. (2021). *Informe Anual 2021 - Generación Distribuida en Argentina - Evolución de Trámites, Conexión de Usuario-Generador*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/generacion-distribuida/que-es-la-generacion-distribuida/reportes-de-avance-implementacion-de-la-ley-27424>
- Secretaría de Energía. (2021). *Lineamientos para un Plan de Transición Energética al 2030 - Resolución 1036/2021*. Obtenido de <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/252092/20211101>

Secretaría de Energía de la Nación, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
(2012). *Sistema de indicadores de sustentabilidad para la evaluación de escenarios energéticos prospectivos del PLAENER*.

Subsecretaría de Fortalecimiento Institucional. (2022). *Los usos de los indicadores en la gestión pública*.
Obtenido de
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/los_usos_de_los_indicadores_en_la_gestion_publica.pdf