

TRABAJO FIN DE MASTER

SOSTENIBILIDAD DEL PLAN ENERGÉTICO ARGENTINO 2030

Resultados Preliminares

TRABAJO FIN DE MASTER
PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MASTER EN
INGENIERÍA DE LA
ENERGÍA

SEPTIEMBRE 2019

AUTOR:

Nicolás José Ergas

DIRECTOR DEL TRABAJO FIN DE MASTER:

Fernando Gutiérrez Martín

TUTOR EXTERNO DEL TRABAJO DE FIN DE MASTER:

Israel Herrera Orozco

Agradecimientos

En primer lugar debo agradecerles a Magda y a Juan Eduardo por haberme brindado siempre de todo lo necesario para poder estar en el lugar donde estoy hoy, impartiendo la educación que todo niño debería tener. A mis tres hermanas, Alexia; Amira y Berenice por haberme acompañado en toda mi infancia, siendo mis compañeritas de juego y aprendizaje. A ellos les debo mi vida, por haber estado en los momentos que mas los necesite y por acompañarme desde Argentina en todo momento.

A mis dos mejores amigos Gaby y Facu, los gorditos, por las llamadas con ánimo de aliento durante toda esta estancia. Haciéndome notar que las distancias son ínfimas cuando la amistad está presente, que la vida nos de salud para disfrutar de asaditos y que siempre haya un *Uyyy* que nos haga reír.

A mis amigos Goni, Matute y Potoco por haberme enseñado que se puede construir una amistad de cero y que desconocidos pueden pasar a ser muy buenos amigos. "Quizás hoy no lo valoremos pero dentro de 3 años nos vamos a acordar de esta gente y sonriremos sin querer...". Hoy luego de un año les agradezco por haber sido mi familia en España.

A Laurita por su amistad incondicional, por ser una anfitriona de lujo y por haberme hecho sentir como en casa en un país que no era el mio. Haciéndome un hueco en su vida y yo haciéndole uno en mi corazón.

A mis tutores Fernando e Israel, por haberme acompañado con su sabiduría en este proceso de elaboración del trabajo de fin de master.

A la Unidad de Análisis Energéticos del Centro de Investigaciones Energéticas, Medio Ambientales y Tecnológicas de España(**CIEMAT**), ya que me han dado el espacio y las herramientas para que pueda realizar mi trabajo de fin de máster con ellos. Su colaboración y conocimiento me ha permitido construir lo que hoy es mi leal saber y entender sobre el tema de estudio.

Y por último pero no menos importante a la Nación Argentina, por haberme dado la posibilidad de estudiar en el Reino de España, formándome no solo profesional sino también personalmente. A los millones de ciudadanos que pagan sus impuestos para que la educación sea pública y gratuita.

A todos ellos... Gracias.

Resumen

El presente trabajo busca estudiar la sostenibilidad del plan energético argentino hacia el año 2030 con múltiples opciones. Para ello se desarrolla el concepto de sostenibilidad y sus componentes más importantes. Al hablar de sostenibilidad se debe considerar el concepto a nivel mundial, con la cooperación colectiva de todas las Naciones.

El no tomar acciones en los consumos energéticos actuales podría comprometer el bienestar de futuras generaciones alterando en forma notable el planeta tierra.

Se aborda también el concepto de modelos energéticos y su importancia para poder guiar los planes energéticos de una Nación. En simultáneo se describe su estructura, analizando su conveniencia y exponiendo los aspectos de los modelos y el error que cometen.

El estudio está enfocado a un análisis medio ambiental de los escenarios planteados, si bien se desarrollan conceptos socio-económicos, se profundiza en el Análisis de Ciclo de Vida ya que el centro que acoge al autor se especializa en dicha rama de la investigación. Al mismo tiempo se presentan las normas y herramientas existentes para hacer que la calidad de las investigaciones realizadas sea mayor. Por otra parte se diseña y presenta el modelo utilizado en el estudio, describiendo sus distintas etapas, sus procesos y las consideraciones realizadas en cada caso para dotar al mismo de características que lo asemejen al modelo real.

Entre las tareas a realizar se estudia a Argentina como sistema energético, analizando las tecnologías de generación existentes en la región, presentándolas en forma detallada y observando hacia donde se pretende llevar el consumo en un futuro. Se estudia también como se modificará el mix energético actual para lograr los objetivos planteados por quienes diseñan las políticas actuales. En paralelo se busca realizar un estudio de las técnicas aplicadas para lograr cumplir con los objetivos planteados y se presentan distintas leyes y primas que fomentan la penetración de parques renovables en el sistema.

A la hora de analizar los posibles escenarios del país hacia el año 2030 surgen dos posibilidades, una en la cual el consumo mantiene el comportamiento actual, el famoso escenario BAU¹. Y otra en la que se adoptan técnicas que promueven la eficiencia energética, el consumo responsable y el desarrollo en tecnologías para lograr que las demandas disminuyan y de esta forma llegar a que las emisiones globales sean menores. Se presentan las distintas estrategias que se pueden llegar a implementar y se adelanta que la solución final al modelo es un punto intermedio entre los dos escenarios.

Los resultados del estudio muestran la conveniencia medio ambiental de los proyectos planteados, sin embargo es importante destacar que no existe la solución perfecta que no atenta en ningún momento contra el medio ambiente. Por dicha razón se plantea un análisis posterior de las distintas categorías en las cuales el sistema sufre ciertos impactos, para recalcar la necesidad de reforzar la investigación y el desarrollo tecnológico en dichos sectores. Separando de cada escenario las categorías con mayores impactos y deduciendo la tecnología responsable de dicha acción.

¹Business as Usual

El estudio Socio-Económico basado en la bibliografía existente aborda conceptos del impacto que tienen las políticas energéticas, ya que con el movimiento de descarbonizar las economías surgen inconvenientes sociales. Ya sea por el desplazamiento de puestos laborales, las grandes inversiones en los proyectos energéticos y las desventajas existentes en ciertas cadenas de la industria a raíz de altos precios en la energía; entre otros.

Como cierre de la parte de investigación se presenta una visión objetiva de ciertas ideas basadas en la situación actual del país, haciendo hincapié en los resultados obtenidos y expresando las posibles consecuencias en caso de que el plan energético se desenvuelva según lo estipulado.

Se realiza también un análisis de la situación Argentina en cuanto a energías, su presencia y control desde los organismos gubernamentales; y los distintos incentivos económicos en el campo de las renovables para lograr aumentar su participación en el mix.

Para concluir se exponen percepciones personales del trabajo realizado, dando un aporte en base a la experiencia previa y el conocimiento adquirido en el tema. Analizando la viabilidad de los distintos proyectos y denotando los aspectos positivos de los cuales Argentina se verá beneficiada si logran los objetivos planteados.

Finalmente se detallan los trabajos futuros con el objetivo de lograr ciertos ajustes que asemejarán el modelo aún mas a la realidad. Se plantea también la posibilidad de trabajar con modelos energéticos propios dotados de mayor detalle y con mayores libertades para fijar condiciones de contorno y observar las respuestas de los mismos. Por otro lado se denota la necesidad de trabajar con técnicas de análisis Socio-Económicos para obtener resultados tangibles sobre el tópico de estudio.

Palabras Clave: *Sostenibilidad, Argentina, Energía, Medio Ambiente, ACV, LCA, Socio-Económico, Energías Renovables, Mix Eléctrico.*

Índice

1. Introducción	1
1.1. Sostenibilidad en el mundo	1
1.2. Modelos Energéticos	3
1.3. Sostenibilidad en el Sector Eléctrico	4
2. Objetivos	6
3. Metodología	7
3.1. Mix Eléctrico Argentino	7
3.1.1. Contribución por tecnología Año 2016	7
3.1.2. Contribución por tecnología Año 2018	8
3.2. Escenarios 2030	8
3.3. Análisis de Ciclo de Vida del Sector Eléctrico Argentino	13
3.3.1. Definición de Objetivo y Alcance del ACV	14
3.3.2. Limitación Geográfica y Temporal	14
3.3.3. Inventario y Modelo Planteado	14
3.4. Evaluación de Impacto	15
4. Resultados y Discusión	17
4.1. Mejoras proyectadas respecto a 2016	21
4.2. Limitaciones de los escenarios	23
4.3. Cambio Climático	25
4.4. Visión Socio-Económica	28
4.4.1. Estrategias y Aspectos a Analizar	28
4.4.2. Efectividad de las Políticas Adoptadas	29
4.4.3. Fomento a las Renovables en Argentina	31
4.4.4. Otras técnicas existentes	31
5. Conclusiones	33
6. Lineas Futuras	35
7. Planificación temporal y Presupuesto	38
7.1. Planificación Temporal	38
7.2. Presupuesto	38
8. Abreviaturas	41
Anexos	42
A. Categorías de Impacto	42
A.1. Cambio Climático	42
A.2. Agotamiento del ozono estratosférico	43
A.3. Radiación	43

A.4. Toxicidad Humana, efectos no-carcinógenos	43
A.5. Toxicidad Humana, efectos carcinógenos	43
A.6. Partículas en suspensión	44
A.7. Formación fotoquímica de Ozono	44
A.8. Acidificación	44
A.9. Eutrofización terrestre	44
A.10. Eutrofización acuática	44
A.10.1. Eutrofización de agua dulce	45
A.10.2. Eutrofización de agua marina	45
A.11. Ecotoxicidad	45
A.12. Uso del suelo	45
A.13. Agotamiento de recursos (minerales y metales)	46
A.14. Agotamiento de recursos no renovables	46
B. Tablas de Resultados	47
B.1. Resultados por categoría en sus respectivas unidades	47
B.2. Resultados por categoría normalizados	48
C. Contribución por Tecnología/kWh	49
C.1. LCI para el escenario 2016	49
C.2. LCI para el escenario 2018	49
C.3. LCI para el escenario 2030 BAU	50
C.4. LCI para el escenario 2030+e	50
D. Mapas eléctricos	51
D.1. Distribución de Potencia	51
D.2. Centrales de generación eléctrica	52
D.3. Líneas de transporte	53

1. Introducción

1.1. Sostenibilidad en el mundo

La palabra Sostenibilidad empieza a tener protagonismo en la década de los setenta, luego de ser reconocido como un tópico de interés en la primer conferencia de las Naciones Unidas del Medio Humano en Estocolmo en 1972. Es pertinente definir lo que se considera como desarrollo sustentable (DS) a nivel internacional ya que este es alcanzado cuando se satisfacen las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para alcanzar las suyas[1]. Desde el punto de vista del post-modernismo, se lo ve como un sinónimo de progreso.

A la hora de evaluar la Sostenibilidad de un sistema, se deben tener en cuenta 3 factores que limitarán el nivel de desarrollo alcanzable:

- Estado de la Tecnología.
- Organización Social.
- Impacto Ambiental de las medidas a aplicar.

Para satisfacer las necesidades no solo se precisa trabajar en los campos mencionados anteriormente, sino que también se requiere que las naciones con mayores niveles de pobreza tengan el recurso necesario para lograr el crecimiento económico que les permita alcanzar sus objetivos. Esto se logra mediante políticas tanto nacionales como internacionales que buscan lograr una igualdad de condiciones entre los participantes. En simultaneo es necesario que los que cuentan con un nivel de desarrollo mas alto, dediquen mayores inversiones y recursos para mitigar las consecuencias del cambio climático.

A nivel mundial existe un compromiso ligado a la conservación del medio ambiente y a la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero(GEI), como es el caso del compromiso mundial alcanzado en la XXI Conferencia de las Partes(COP21) que plantea el concepto emisiones cero para el periodo 2050-2100. Ya que esta comprobado que el no tomar medidas desembocaría en el continuo incremento de la temperatura de la Tierra, dejando impactos severos e irreversibles.

Según [2] las emisiones a lo largo de la historia están fuertemente ligadas con el crecimiento del Producto Bruto Interno(PIB) a nivel mundial. La razón principal de la correlación existente se debe al alto consumo de combustibles fósiles para la obtención de energía hasta finales del siglo XX. Los factores que han hecho que se opte por este tipo de recursos en ese momento de la historia son:

1. Alto poder calorífico de los combustibles fósiles respecto a la biomasa.
2. Alta disponibilidad y bajo costo de extracción.
3. Transporte asequible de los mismos y con rendimientos aceptables.
4. Fácil de almacenar(Garantía de suministro).

Dadas las características que hacen conveniente el uso de estos combustibles, la penetración se ha dado en la mayoría de los sectores energéticos tal como se muestra en la figura 1. Por esta razón es que el cambio en la conducta de consumo debe ser lo mas pronto posible con el fin de lograr que el acumulado en emisiones, las cuales crecen a nivel exponencial, sea inferior al billón de toneladas de CO_2 anuales. Ya que en caso de superar este limite el calentamiento global superará dos grados centígrados respecto al nivel preindustrial[3].

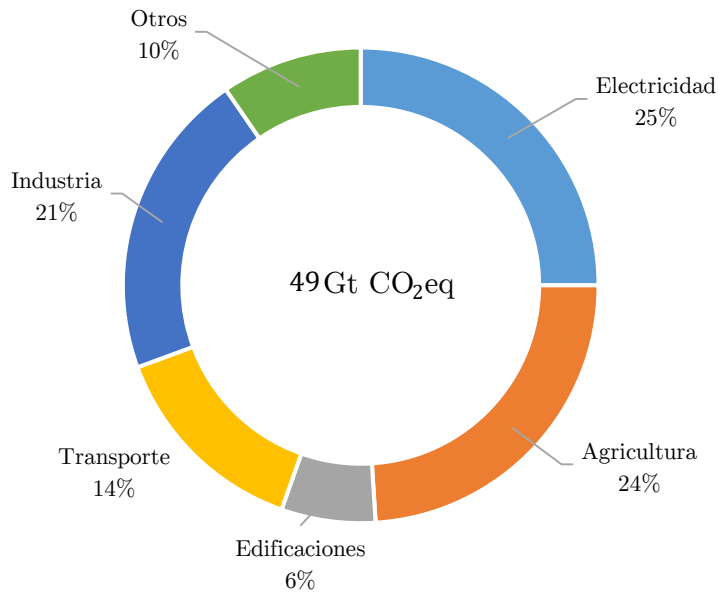


Figura 1: Emisiones globales por sector económico. Elaboración propia-Fuente de datos: IPCC (Abril 2014).

1.2. Modelos Energéticos

Con el objetivo de anticiparse a lo que sucederá en el futuro, la ciencia a nivel mundial lleva mas de cinco décadas estudiando modelos dinámicos a largo plazo que brinden información suficiente como para predecir posibles resultados y anticiparse a ellos. Se dice *posibles* ya que aún no se haya ningún modelo que sea perfecto, la razón se basa en la velocidad con la que crece la población mundial en conjunto con los factores que participan en la ecuación. Una planificación energética debe considerar como mínimo las siguientes variables de estado para poder considerarse significativa:

- Población.
- Calidad de vida.
- Inversiones
- Recursos naturales.
- Contaminación.

Haciendo un estudio en profundidad de una Nación específica, se puede realizar un análisis prospectivo de la misma (se basa en ver que acciones se deben tomar para conseguir un hito determinado). Y en conjunto con distintas técnicas de predicción llegar a un objetivo futuro. En la actualidad el trabajo de los entes de la rama energética centran su labor en una combinación de predicciones y proyecciones para construir el futuro en vez de adivinarlo[4].

Al día de la fecha existen distintos softwares para construir escenarios energéticos que permiten modelizar la actividad de un proceso como son *TIMES*, *LEAP*, *PLEXOS* entre otros. Si bien las firmas son distintas, los modelos que se utilizan para representar el caso real son similares. En el presente trabajo, el diagrama de bloques utilizado es análogo al de la figura 2. En la misma se pueden apreciar 3 bloques principales:

1. Entradas: Aquí es donde el usuario define como quiere que este compuesto su modelo, en función de la energía que consumirá per capita; el precio de la energía en el mercado y los recursos energéticos que estén disponibles en ese momento.
2. Modelo Energético: Es el bloque mas complejo del modelo, en este sector se realiza el diseño en base a las tecnologías disponibles, la economía, la población, las restricciones medioambientales. Es sobre el cual se harán los ajustes hasta llegar a un modelo robusto que cumpla con los requerimientos del análisis.
3. Salidas: Los resultados obtenidos serán producto de la optimización empleada. Como se ha mencionado anteriormente con estas salidas se puede planificar y proyectar las inversiones y políticas necesarias de una Nación. Estos datos van desde la producción hasta el uso de la energía por sector, al mismo tiempo puede dar información de que tecnologías estarán presentes en los distintos sectores económicos; y por ultimo pero no menos importante, ya que el foco de este trabajo se centrará en ello, puede dar información sobre el impacto ambiental que ocasionaría ese perfil energético.

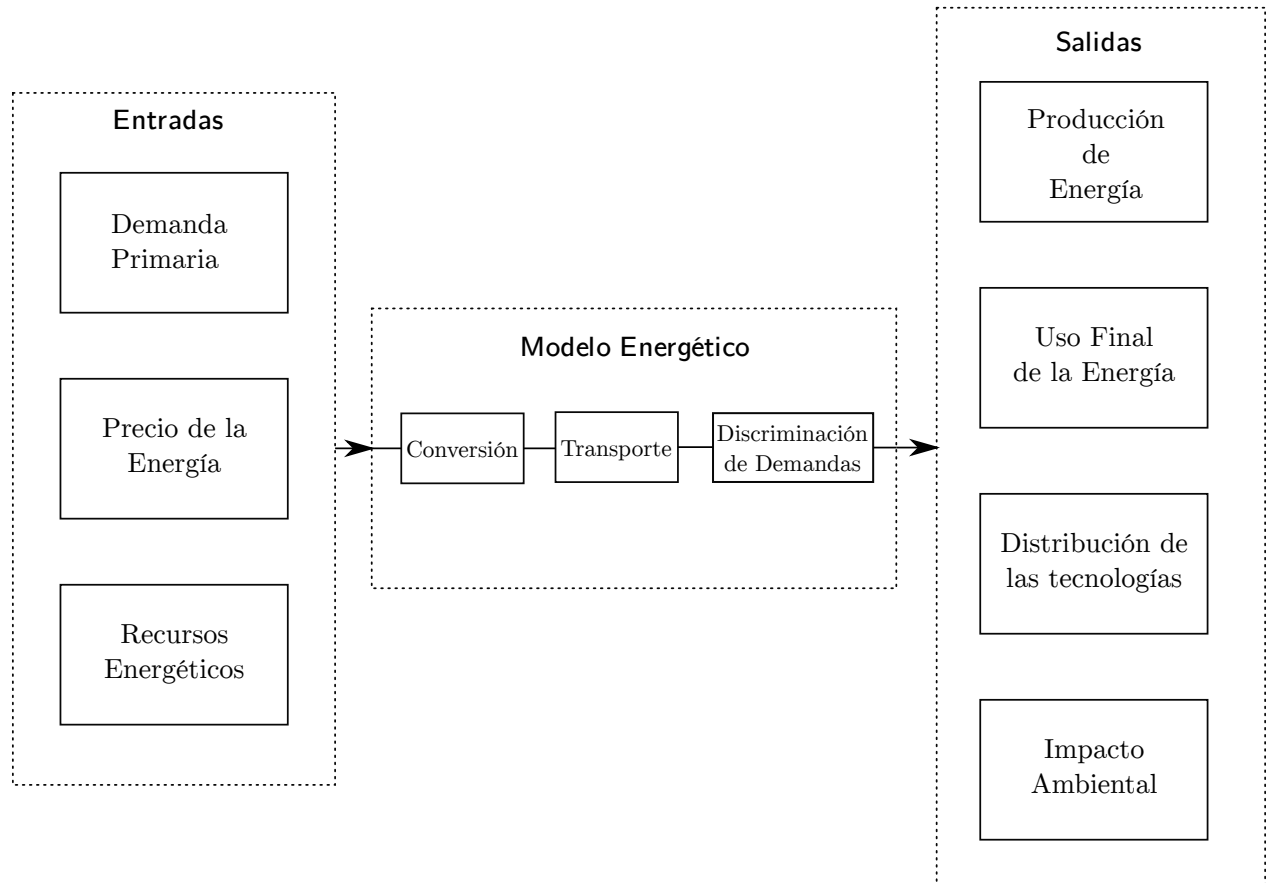


Figura 2: Diagrama en bloques de un Modelo Energético. Elaboración propia

1.3. Sostenibilidad en el Sector Eléctrico

Como bien se ha mencionado en el principio de esta sección, en la actualidad se trabaja con el DS en muchos sectores de la economía, pero el sector eléctrico es de gran interés, ya que la energía en forma de electricidad es importante en el crecimiento global de una Nación. Un mix eléctrico sostenible puede mostrar mejoras en la economía, la calidad de vida y el bienestar social de un país.

Además de ser un sector en el cual hay potencial por desarrollar, es pertinente plantear la diversidad de indicadores de sostenibilidad; y la libertad del investigador para conformar su elección en base a sus objetivos. Al día de hoy el impacto ambiental es una de los enfoques mas utilizados para cuantificar la sostenibilidad de un mix eléctrico[5]. No sólo por su exhaustividad sino también por la razón de que un veinticinco por ciento de las emisiones a nivel mundial provienen del sector eléctrico(Figura 1).

A la hora de analizar el impacto ambiental que produce el sector eléctrico de una Nación se tienen en cuenta distintas categorías de impacto, sin embargo todas integran uno de los cuatro grupos listados[6]. Si bien se profundizará en ellas a lo largo del trabajo cuando se estudie el método de análisis a utilizar en el caso de estudio, es acorde presentarlas.

- Emisiones al aire, agua y suelo.

- Consumo de recurso.
- Uso del suelo y calidad del mismo.
- Asuntos relacionado con los desechos.

Dada la trascendencia de la energía eléctrica y el conjunto de procesos necesarios para producirla, transportarla y entregarla, abunda la Investigación y Desarrollo(I+D) en este campo. Existe la posibilidad de evaluar cada etapa con sus productos de entrada y salida ; este tipo de evaluación es conocida como Análisis de Ciclo de Vida (ACV) o en ingles Life Cycle Assessment (LCA).

En un ACV o LCA se analiza las cargas ambientales asociadas a un producto, en este caso la unidad de energía eléctrica, mediante la identificación y cuantificación de los recursos; así como los residuos emitidos al entorno, para analizar el impacto de estos sobre el medio ambiente y evaluar e implementar posibles mejoras[7].

En el caso del ACV de un sistema eléctrico, su sensibilidad ante los cambios en los procesos utilizados para obtener la energía, la diversidad geográfica en el transporte de la misma o la categoría a analizar hacen que sea una herramienta confiable y versátil para plantear distintos escenarios.

2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo es el de analizar el plan energético y las proyecciones del sector eléctrico realizadas por el Ministerio de Energía de la Nación Argentina [8] desde el punto de vista de la sostenibilidad.

Al partir de los fundamentos planteados en la sección anterior sobre el enfoque de la sostenibilidad y la premisa de que es el estado quien se encargará de que las metas económicas, regulatorias y tecnológicas se lleven a cabo; y que si bien se desarrollarán los conceptos socio económicos aplicados al caso de estudio, la base de la investigación estará enfocada en el impacto ambiental que supondrá para la República Argentina la matriz eléctrica hacia el año 2030.

Para poder lograr el objetivo principal, es necesario desarrollar los siguientes conceptos:

- **Matriz Eléctrica Argentina:** Incluyendo la participación de las tecnologías de generación y el consumo anual. Describiendo la situación energética actual y la existente al momento en el que se confeccionó el plan nacional.
- **Escenarios Futuros:** Describiendo las distintas opciones y los factores que entran en juego en cada caso. Justificando la razón de las medidas adoptadas.
- **Análisis de Ciclo de Vida:** En el cual se justifique la normativa y las herramientas utilizadas para confeccionarlo, el modelo planteado, la forma en la cual se evaluarán y presentarán los resultados.
- **Visión Socioeconómica:** Análisis cualitativo en base a la bibliografía existente relacionada con la temática trabajada. En donde se busca abordar conceptos como la aceptación de las tecnologías de generación y la creación de nuevos puestos de trabajo.

Una vez obtenidos los resultados, se discutirá sobre ellos y se evaluarán las políticas tanto futuras como existentes, que facilitan el cumplir los objetivos fijados, al mismo tiempo se intentará demostrar la causa principal de cada categoría de impacto analizada. También se analizará el impacto sobre el sistema argentino de interconexión(SADI) y la descentralización del mismo.

Posteriormente se desarrollaran las conclusiones, haciendo un análisis critico de las falencias encontradas a lo largo de la investigación en el modelo planteado. Observando también la viabilidad y el grado de ambición de los objetivos del plan energético.

Por último se volcarán las líneas futuras, describiendo las posibles mejoras y las tareas a realizar para darle solidez al labor realizado en este documento.

3. Metodología

3.1. Mix Eléctrico Argentino

En el momento de la confección del plan energético argentino (Año 2016) el mix eléctrico estaba conformado por distintas tecnologías de generación con las potencias que se presentan en la tabla 1 al igual que las potencias actuales y el porcentaje con el cual creció cada una. Si bien en una primer instancia se presentan las tecnologías por potencia instalada con el objetivo de que el lector se familiarice con la matriz eléctrica argentina, posteriormente se verá que en el ACV lo importante es la contribución de cada tecnología por unidad de energía.

		Año		
Tecnología [MW]		2016	2018	Incremento %
Térmica	T. Gas	5251	4451	-15,24 %
	T. Vapor	4451	7161	60,89 %
	M. Diesel	1293	1808	39,83 %
	C.C.	9227	11110	20,41 %
Hidráulica		11170	10790	-3,40 %
Nuclear		1755	1755	0,00 %
Renovables		754	1462	93,90 %
Total		33901	38537	13,68 %

Cuadro 1: Comparativa entre potencias Instaladas en los años 2016 y 2018 - Fuente de datos: CAMMESA

En los anexos se pueden encontrar mapas de la localización por tecnología de las distintas centrales.

3.1.1. Contribución por tecnología Año 2016

Con intenciones de presentar la información necesaria para construir la base de datos que posteriormente se utilizarán en el modelo para los cálculos mediante el software empleado. Se consultan las estadísticas de generación para el año base.

Dado que Argentina tiene gran dependencia de los combustibles fósiles, el parque térmico tiene gran relevancia para el sector eléctrico. En el año 2016 el gas tuvo mayor consumo que en el año anterior en la generación debido a que el sector industrial no tuvo la misma actividad. Se registró un aumento en el consumo de Gas Oil ya que ingresó nueva potencia en el parque térmico. El Carbón y el Fuel Oil tuvieron menor protagonismo a raíz del aumento de la producción proveniente del gas. El año hidrológico no fue el que se esperaba, por dicha razón la generación hidráulica no alcanzó los niveles medios estimados.

Ya que los diagramas Sankey son herramientas didácticas a la hora de mostrar flujos energéticos por categorías, se utiliza la herramienta *SankeyMATIC* en conjunto con tablas realizadas en *Excel* a partir de la documentación consultada[9]. El diagrama resultante se puede apreciar en la figura 3.

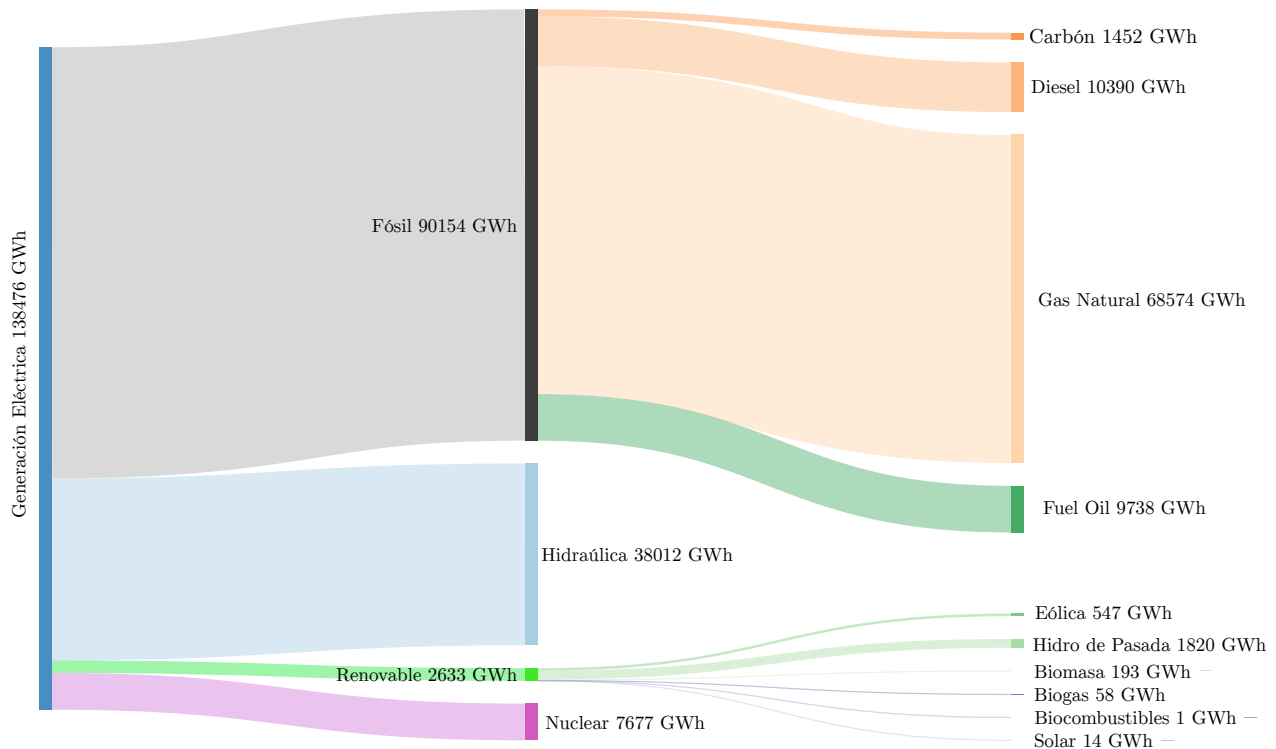


Figura 3: Generación por tecnologías en el año 2016 - Fuentes de datos: CAMMESA

3.1.2. Contribución por tecnología Año 2018

Haciendo un trabajo análogo al del año 2016 para los datos registrados del último año, se observa el reparto presentado en la figura 4.

Se registro un aumento en el consumo de energía para los meses de verano a causa de las temperaturas registradas por encima de la media esperada. Debido a que en Argentina la mayor parte del sector residencial utiliza gas para calefaccionar sus hogares y que el invierno tuvo temperaturas mas altas de las esperadas, resultó en mayor disponibilidad de gas para la generación eléctrica. Al mismo tiempo esto ha hecho que se consumo menos combustibles líquidos para la generación como es el caso del Gas Oil y el Fuel Oil. Para el caso del carbón los valores disminuyeron respecto al 2016[10].

3.2. Escenarios 2030

Los dos escenarios energéticos planteados por el Ministerio de Minas y Energía de la Nación Argentina han sido construidos mediante la herramienta *LEAP*. El programa basa sus modelos en técnicas del tipo TOP-DOWN en las cuales la visión del sistema es mas

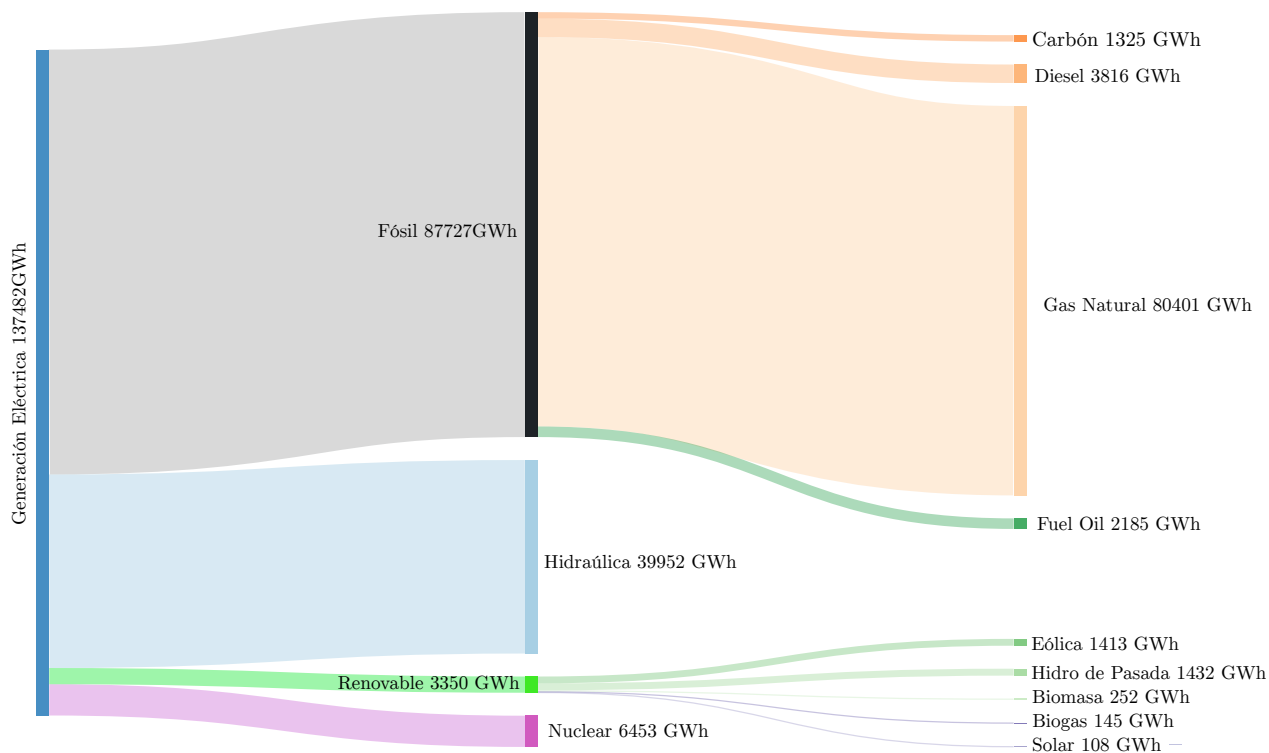


Figura 4: Generación por tecnologías en el año 2018 - Fuentes de datos: CAMMESA

global pero con un buen control de flujos entre sectores y una visión económica basada en la señal que dan los precios de la energía[11]. La razón de la elección radica en que la necesidad de información es inferior a los modelos del tipo BOTTOM-UP. Para darle a los escenarios ya planteados un mayor nivel de detalle y luego graficar cada uno de ellos, se parte de los siguientes supuestos:

- A raíz del desarrollo de Argentina en el sector gas, la permanencia de los métodos convencionales y el progreso de los métodos no convencionales de extracción se espera focalizar la generación térmica a partir del gas natural. Precisando en menor medida del carbón por su contaminación respecto a la del gas, y de los combustibles líquidos ya que estos tienen mejor eficiencia en el sector transporte.
- Argentina apuesta en gran medida a los proyectos hidroeléctricos, entre las obras más importantes se espera incorporar casi dos nuevos GW en el sistema.
- La rama nuclear tiene proyectos en curso, dentro de los planes se busca seguir con la tecnología de reactores de agua presurizada, ya que es un campo en el cual los profesionales argentinos están capacitados.
- En cuanto a las renovables existen leyes que fomentan la penetración de las renovables, con plazos estipulados y penalizaciones para quienes no las cumplan. Entre las tecnologías con mayor proyección se encuentran la eólica, por los factores de capacidad estudiados en el sur del país; la solar, por los niveles de radiación solar en el noroeste

del país y el biogas a partir de los desechos de la producción sojera en el centro norte de la República.

Como se muestra en la figura 5, y se ha dicho anteriormente. Existen dos escenarios, con las contribuciones por tecnología de la gráfica de barras de la figura 6. La participación por tecnología se ha estimado en función de la documentación consultada eligiendo las opciones mas conservadoras y viables en base al recurso energético disponible en el país en equilibrio con los objetivos de la sostenibilidad; la tendencia a nivel mundial y los proyectos nacionales existentes. Por su parte la viabilidad económica de los escenarios no ha sido analizada.

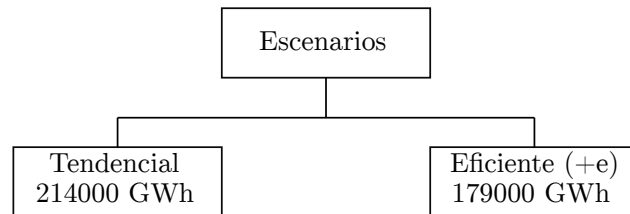


Figura 5: Escenarios 2030. Elaboración Propia - Fuentes de datos: MEyM

Existe un escenario tendencial(**BAU**) en el cual el consumo sigue el comportamiento actual y otro eficiente(**+e**) donde se adoptan políticas de consumo eficiente como:

- Eficiencia en Electrodomésticos
- Incremento de LED en el parque de Iluminación
- Bombas de calor
- Alumbrado Público
- Optimización de Energía en la Industria
- Cogeneración
- Calefones y Termotanques
- Transporte
- Educación y Comunicación
- Promoción de nuevas tecnologías

La situación energética del sector eléctrico de Argentina en el año 2030 se vería como la figura 7 si se planteara la evolución tendencial, y como la figura 8 si se adoptaran políticas de eficiencia energética y estas diesen resultado.

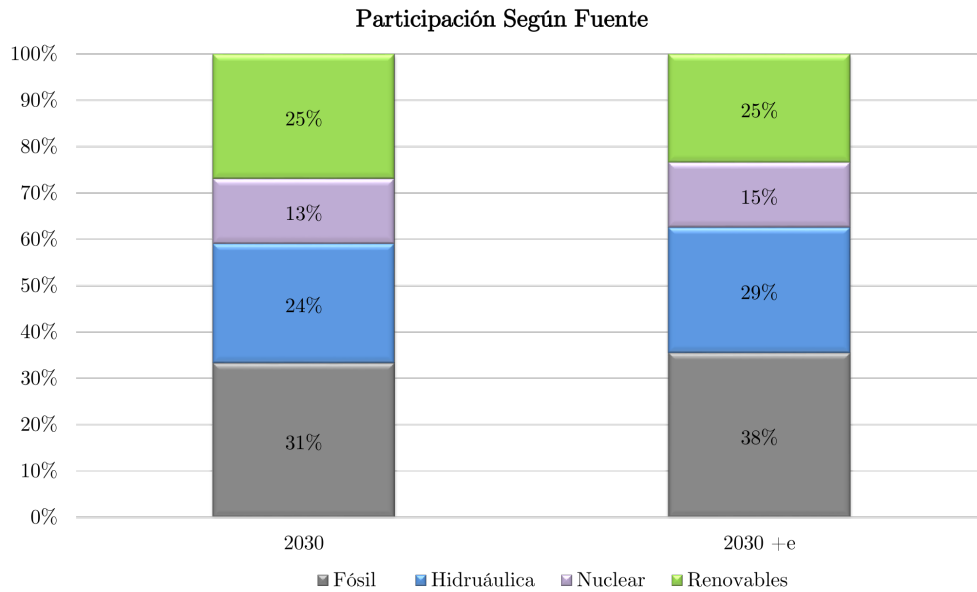


Figura 6: Contribución energética proyectada por sector escenarios 2030. Elaboración Propia - Fuentes de datos: MEyM

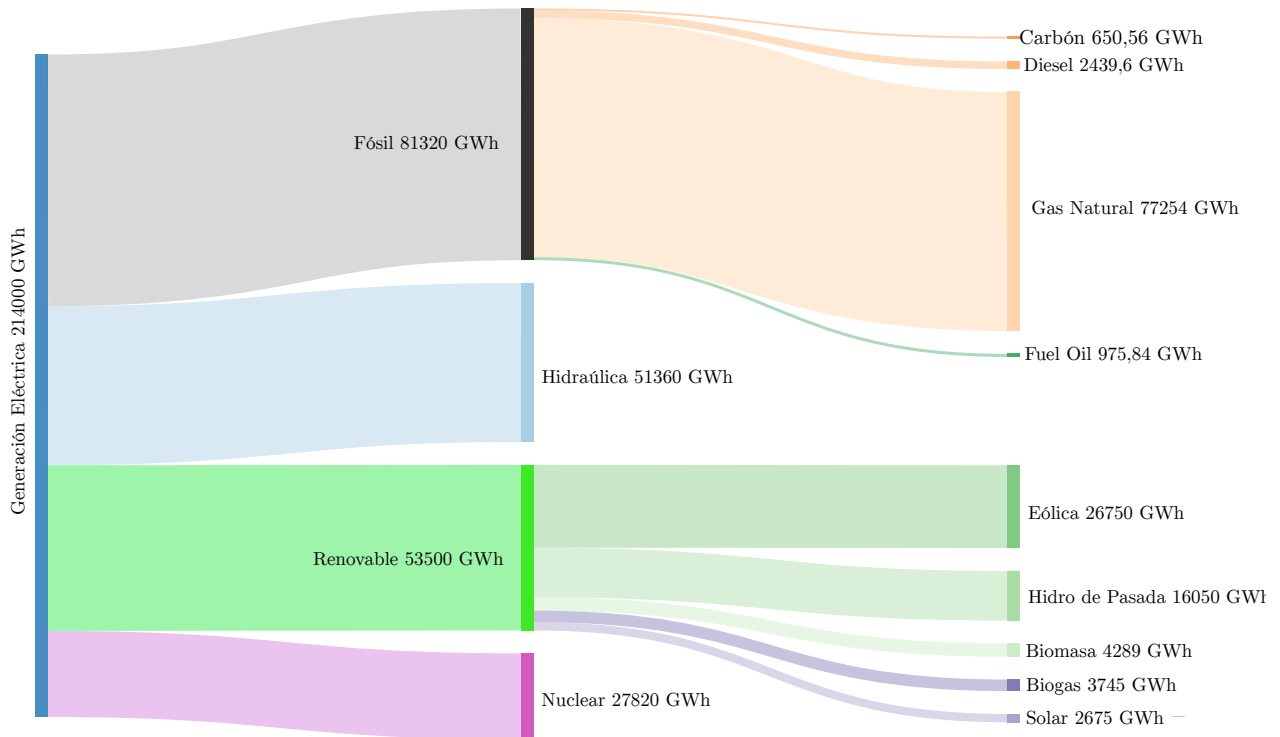


Figura 7: Previsión tendencial de la Generación por tecnologías en el año 2030 - Fuentes de datos: MEyM

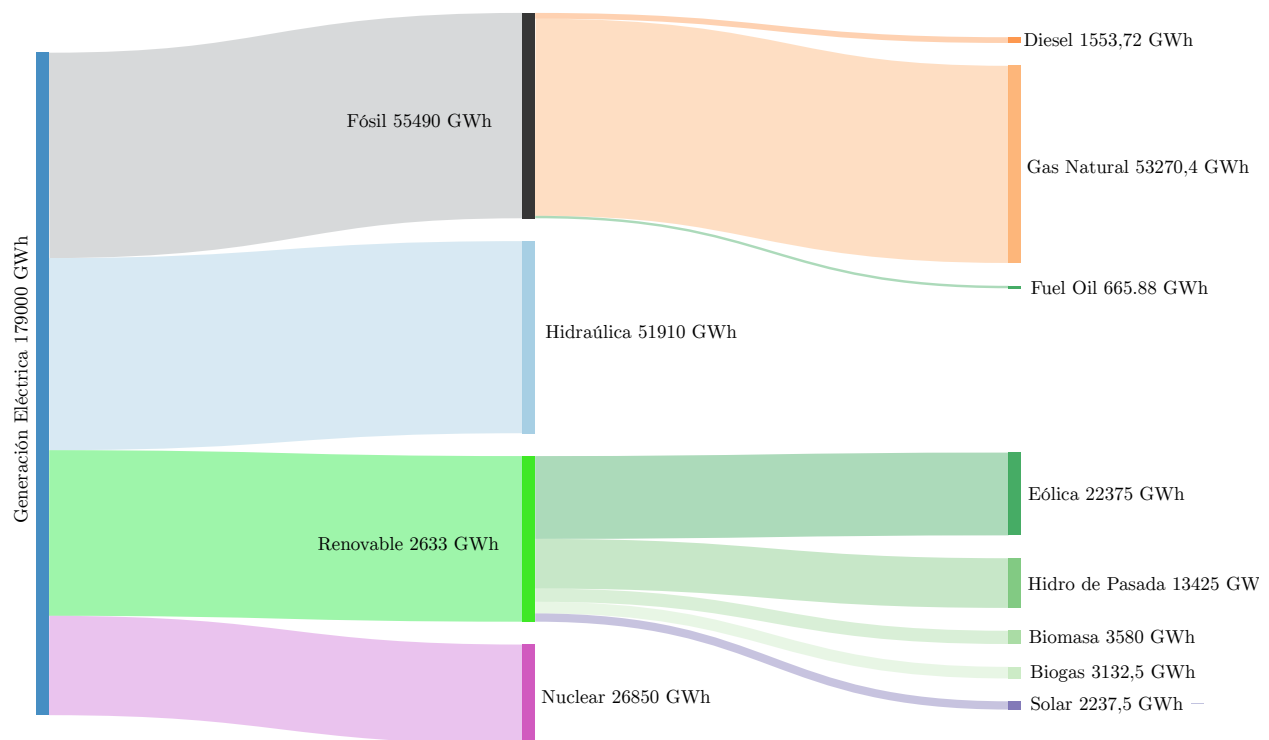


Figura 8: Previsión eficiente de la Generación por tecnologías en el año 2030 - Fuentes de datos: MEyM

3.3. Análisis de Ciclo de Vida del Sector Eléctrico Argentino

Antes realizar un ACV, es necesario describir sus elementos y como se confecciona un correcto análisis. Con el objetivo de que a nivel mundial exista un standard que le quite subjetividad a este tipo de estudios, existe la norma ISO 14040/4:2016[13][14] la cual viene a reemplazar a la antigua ISO 14040-3:2001. Bajo este standard se hará la sección correspondiente a la evaluación del impacto ambiental de la sostenibilidad del mix eléctrico argentino. Las etapas del ACV se presentan en la figura 9.

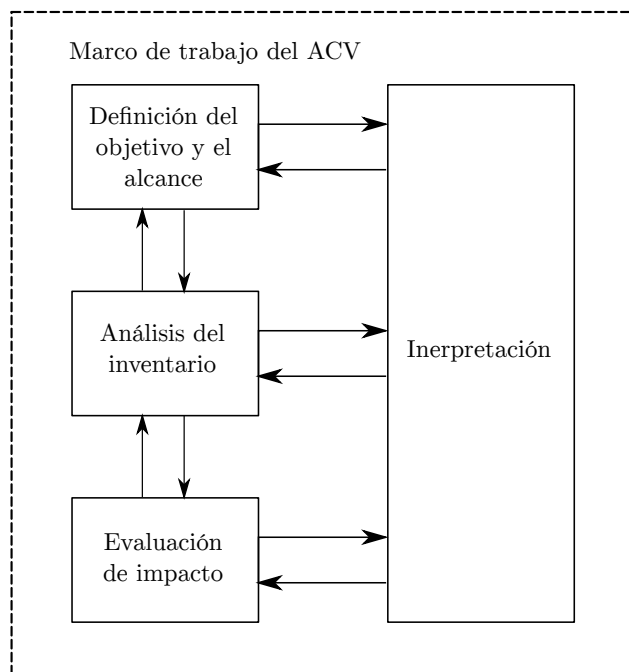


Figura 9: Etapas de un ACV. Elaboración propia - Fuente de datos:ISO 14040

Si bien la idea es evitar extenderse en este tipo de desarrollos conceptuales, amerita dejar plasmadas algunas ideas:

- Es clave que en la **Definición de objetivos y alcance** se elija la unidad funcional correcta, ya que esta es una de las bases para que el análisis sea exitoso. Por otra parte es importante definir el alcance del estudio a fin de encontrar un equilibrio entre el nivel de detalle y lo significativo para el resultado total de esa precisión lograda.
- Al confeccionar el Inventario(LCI) se definirán los procesos del sistema estudiado. Es aquí donde se debe contar con la información necesaria en base a los límites del sistema establecidos.
- Cuando se realiza la evaluación de impacto se puede acudir a métodos reconocidos mundialmente en los cuales ya se ha estudiado cuales son las categorías de impacto más relevantes y donde se han definido factores a fin de poder realizar los procesos de Clasificación, Caracterización, Normalización y Valoración bajo un standard consensuado.

3.3.1. Definición de Objetivo y Alcance del ACV

El objetivo del ACV es el de realizar una comparación medio ambiental entre los escenarios planteados hacia el año 2030 por el Ministerio de Energía Argentino, teniendo en cuenta la situación en el momento de la confección del plan y considerando también el escenario actual. El alcance del estudio parte de la producción de energía en alta tensión bajo la contribución de las distintas tecnologías existentes en el mix eléctrico argentino y atraviesa todos los procesos hasta el mercado de baja tensión, en el cual se encuentran los consumidores residenciales. La unidad funcional elegida es una unidad de energía y se opta por un kilo Watt hora (kWh).

3.3.2. Limitación Geográfica y Temporal

3.3.3. Inventario y Modelo Planteado

A la hora de realizar un ACV una de los quehaceres mas laboriosos y en los que se invierte mas tiempo es en realizar el LCI, para llevar a cabo esta tarea previamente se debe tener un modelo o estructura del proceso, que ayude a seguir el sistema bloque a bloque.

El modelo que se utilizará para este estudio es el de la figura 10. En el se pueden detectar 3 tipos de bloques, el mismo esta basado en una estructura planteada por el equipo desarrollador de Ecoinvent[15] .

- **Mix Eléctrico Argentino:** Aquí es donde se encontrará la información planteada para cada escenario, en el mismo se hallará la contribución energética por tecnología por unidad de energía generada. Cada proceso utilizado como tecnología de generación es propiedad de la base da datos Ecoinvent 3. En este punto del modelo la energía se encuentra en alta tensión en el bus de barras de salida de la sub-estación transformadora propia de cada planta.
- **Mercado:** Este bloque, presente en los 3 niveles de tensión(AT:Alta;MT:Media y BT:Baja), tiene en cuenta los siguientes factores, estimados a partir de el modelo planteado por Frischknecht para el mix eléctrico Suizo[12]:
 1. Perdidas en la linea: Dado que las mismas son proporcionales a la energía que llevan con el cuadrado de la corriente como variable, estas buscan representar la energía vertida en el transporte.
 2. Emisiones directas al aire de O_3 y NO_2 : Son las emisiones que se producen a raíz del campo electro-magnéticos por la ionización de las moléculas de aire aledañas a la linea de alta tensión.
 3. Linea de Transmisión: La cual tiene en cuenta el kilómetro del linea por cada unidad de energía, representa el impacto ambiental que tiene el construir la linea de transporte distribuyendo la carga toda la energía que transportaría durante la vida util de la linea.
- **Transformación:**Se tienen en cuenta las perdidas por transformación en función de eficiencias estimadas por los autores de la base de datos Ecoivent 3, en el cual se halla una contribución para Argentina en el año 2012.

3.4. Evaluación de Impacto

En esta fase se procesan e interpretan los datos que se han introducido en el modelo en términos de impacto ambiental y aspectos sociales. Es aquí donde se presenta una lista de categorías de impacto de preferencia en base a las intenciones del investigador y la correspondencia con el análisis a realizar[16].

A fin de estandarizar el trabajo de investigación, tratando los asuntos ambientales mas relevantes, se opta por evaluar el inventario realizado bajo las categorías fijadas por la Plataforma Europea en Análisis de Ciclo de Vida[17]. La cual plantea el método Product Environmental Footprint(PEF) para cuantificar el impacto ambiental de distintos bienes y servicios. La confiabilidad en este método radica en que la misma se construye a partir de enfoques y estándares internacionales.

La intención de PEF es la de hacer que los estudios bajo este método se tornen fáciles de reproducir, cotejar y verificar en comparación con otros métodos existentes[18]. El objetivo al analizar las categorías de impacto es el de reunir los elementos del LCI con el mismo tipo de carga ambiental de acuerdo un mismo grupo propuesto por el Environmental Footprint(EF) Method. A continuación se presentan las dieciséis categorías a analizar dentro de el presente estudio y su respectiva unidad de medida, al mismo tiempo se adjunta en los anexos una descripción de cada una de ellas:

1. Cambio Climático[kg CO_2eq]
2. Agotamiento del ozono estratosférico[kg $CFC - 11eq$]
3. Toxicidad Humana, efectos carcinógenos[CTUh]
4. Toxicidad Humana, efectos no carcinógenos[CTUh]
5. Partículas en suspensión[Incidencia epidémica]
6. Radiación[kBq $U^{235}eq$]
7. Formación fotoquímica de Ozono[kg $NMVOCEq$]
8. Acidificación[mol $H + eq$]
9. Eutrofización terrestre[kg Neq]
10. Eutrofización de agua dulce[kg Peq]
11. Eutrofización marina[kg Neq]
12. Ecotoxicidad[CTUe]
13. Uso del suelo[Pt]
14. Escasez de Agua[m^3 mundiales eq]
15. Agotamiento de recursos Abióticos[kg $Sbeq$]
16. Agotamiento de recursos no renovables[MJ]

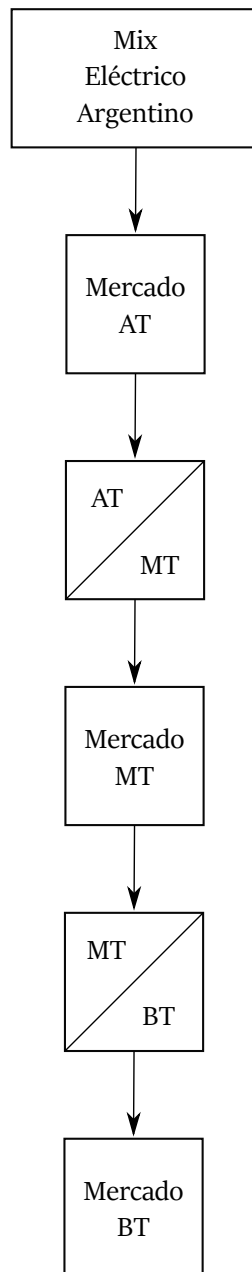


Figura 10: Diagrama en Bloques del modelo planteado. Elaboración propia- Fuente de datos: Ecoinvent 3

4. Resultados y Discusión

Luego de realizar la simulación del modelo en SimaPro se obtienen distintos resultados que deben ser depurados y analizados, para ser volcados en gráficas que resulten de fácil interpretación para el lector. Dada la cantidad de categorías y de escenarios analizados, se decide utilizar gráficas radiales.

Con el objetivo de lograr la escalabilidad entre las categorías analizadas, se opta por normalizar los valores respecto al máximo de cada una de ellas, agregando también un factor para que la normalización sea de cero a cien. La expresión utilizada es:

$$Valor_{i_{normalizado}} = \frac{Valor_i}{Valor_{imax}} 100$$

De esta forma se consigue realizar una comparación de las categorías en forma adimensional y normalizada en simultaneo.

Una primera aproximación busca mostrar un análisis general centrado en la comparativa. Mostrando también la situación actual del sector eléctrico Argentino.

Las dieciséis categorías analizadas se pueden observar en las figuras 11; 12 y 13, las mismas se han separado en tres gráficas por una cuestión de comodidad visual. El objetivo de esta representación busca mostrar los 4 escenarios analizados.

Al montar el escenario que representa la situación actual, se trata de mostrar la transición del plan energético.

En las gráficas se puede apreciar que si bien los escenarios futuros son mejores desde un punto de vista global, existen categorías en las cuales el impacto es mayor, como es el caso de la Radiación Ionizante. En la siguiente sección se buscará dar una explicación de la razón por la cual estas categorías tienden a tener mayores impactos. Al mismo tiempo es de interés dar una respuesta con mayores fundamentos al analizar en detalle cada escenario y sus efectos.

Por otro lado se puede apreciar que en muchos casos la disminución en ciertas categorías de impacto llega a ser inferior al cincuenta por ciento de la magnitud que se da en la actualidad.

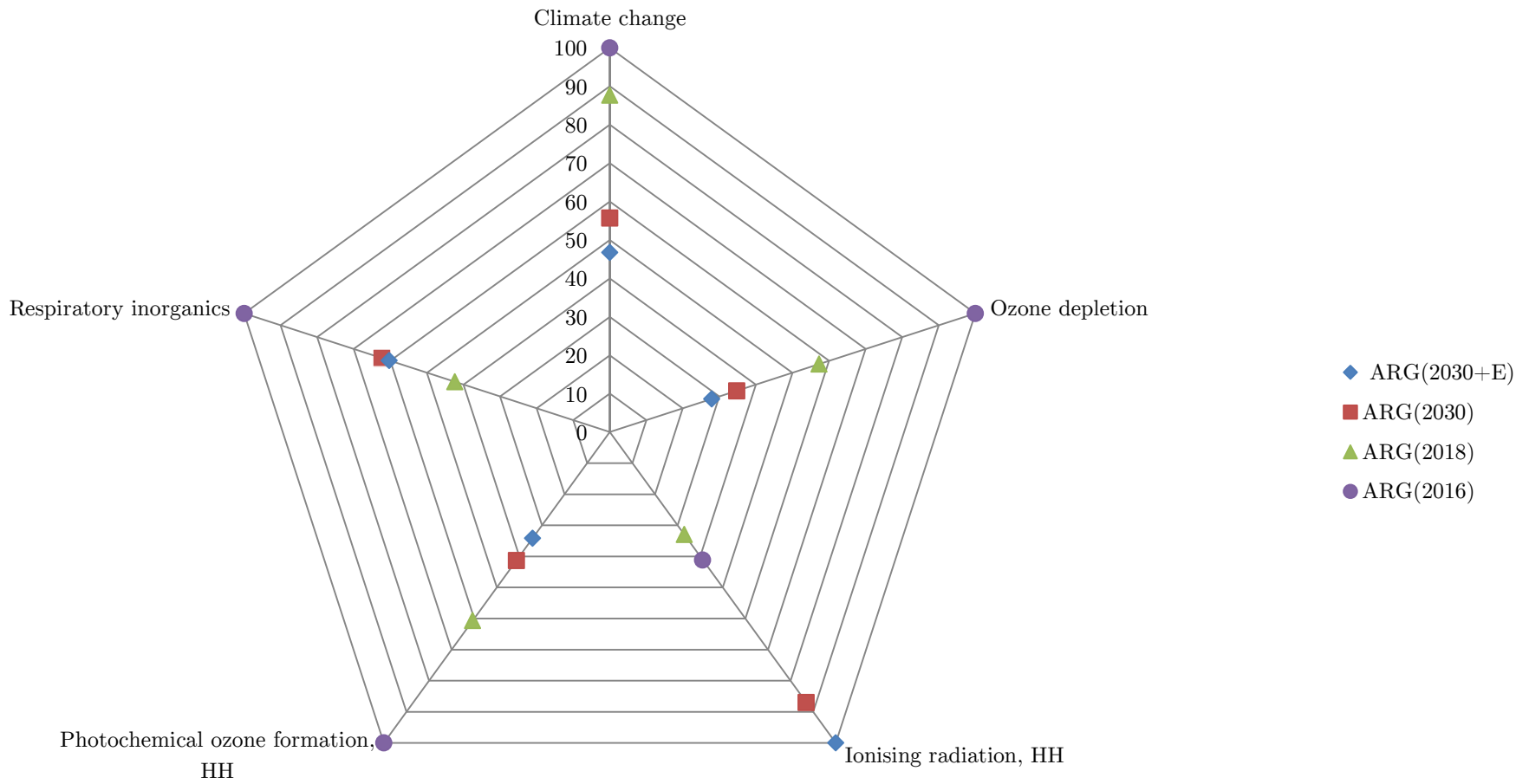


Figura 11: Comparación del impacto de los distintos escenarios para cada categoría del método- Parte A

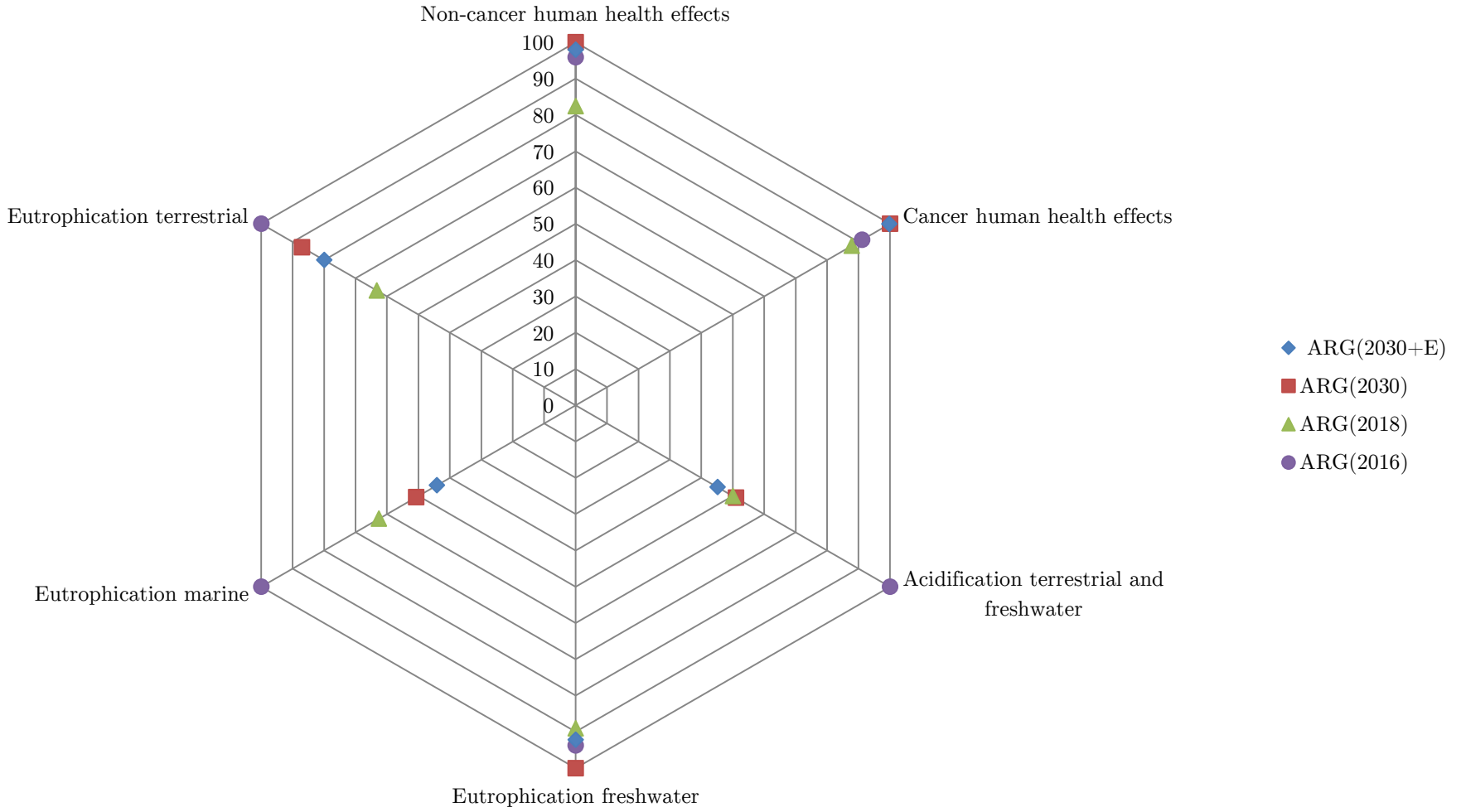


Figura 12: Comparación del impacto de los distintos escenarios para cada categoría del método- Parte B

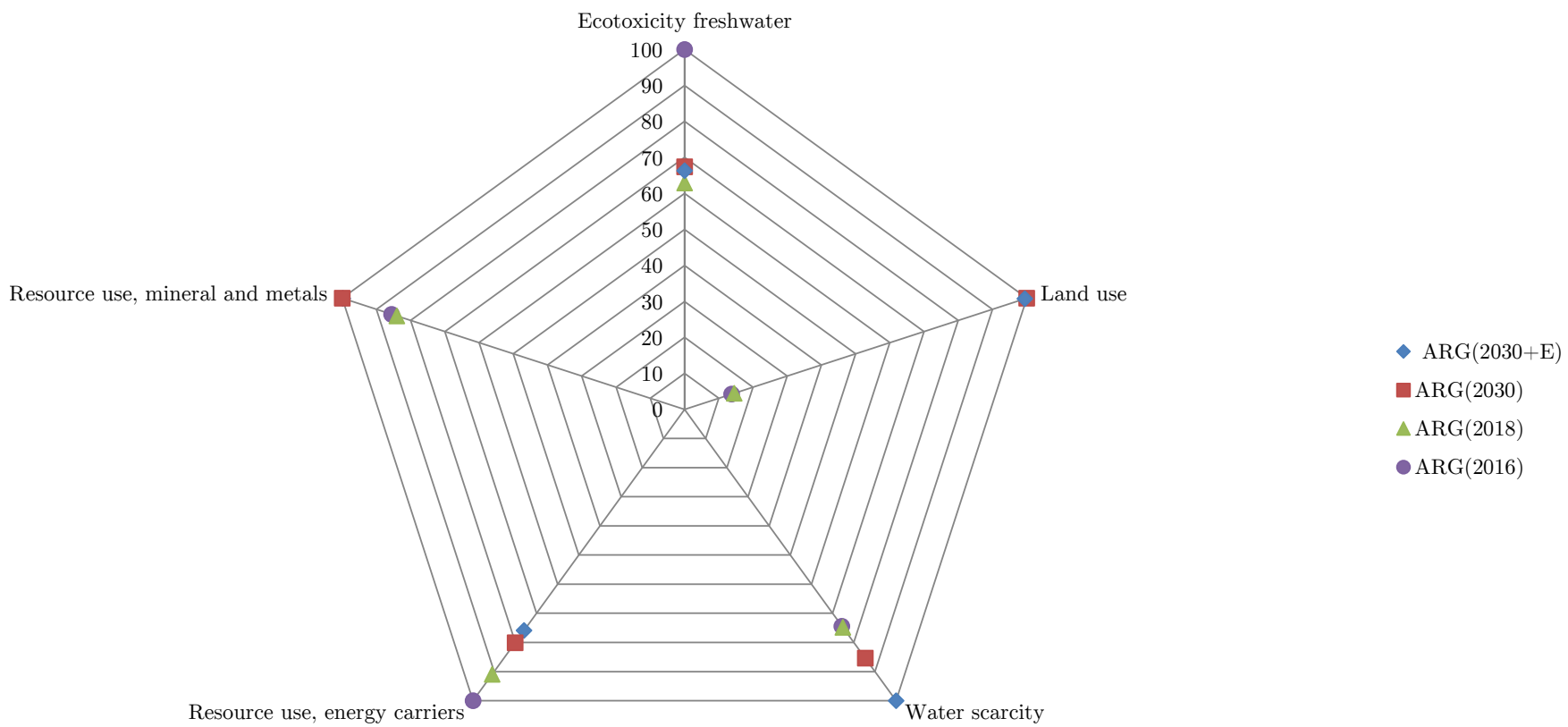


Figura 13: Comparación del impacto de los distintos escenarios para cada categoría del método- Parte C

4.1. Mejoras proyectadas respecto a 2016

Una vez analizados los resultados y el impacto de cada escenario, se procede a realizar una separación de acuerdo a las categorías que mayor relevancia tienen respecto al resto de los escenarios analizados. Esta tarea se plantea con el objetivo de estudiar cuáles son las tecnologías de generación en las que se deberían proponer mejoras para mitigar su efecto en el medio ambiente. Por otra parte se busca demostrar el compromiso con la sostenibilidad por parte del Ministerio de Energía de la Nación Argentina.

Al observar las figuras anteriores (11; 12 y 13) se pueden apreciar nueve categorías en las cuales el impacto del escenario 2016 es mayor al resto, es por dicha razón que se decide simular este escenario en forma individual para conocer con mayor detalle la procedencia de estos impactos. Dichos resultados se muestran mediante gráficas de barras porcentuales en la figura 14.

En ella se pueden ver las tecnologías de generación que tienen protagonismo en cada categoría de impacto. Por lo que rápidamente se puede llegar a la idea del impacto que se da gracias a los combustibles fósiles (Carbón, Fuel Oil, Diésel y Gas Natural) en el mix eléctrico de la Nación. Ya que en todos los casos el aporte de las mismas, si bien varía por tecnología, ronda el noventa por ciento del impacto total.

En segundo lugar, con una participación considerablemente menor se encuentran la electricidad proveniente de las centrales hidráulicas de represa y las centrales nucleares con reactores de agua a presión.

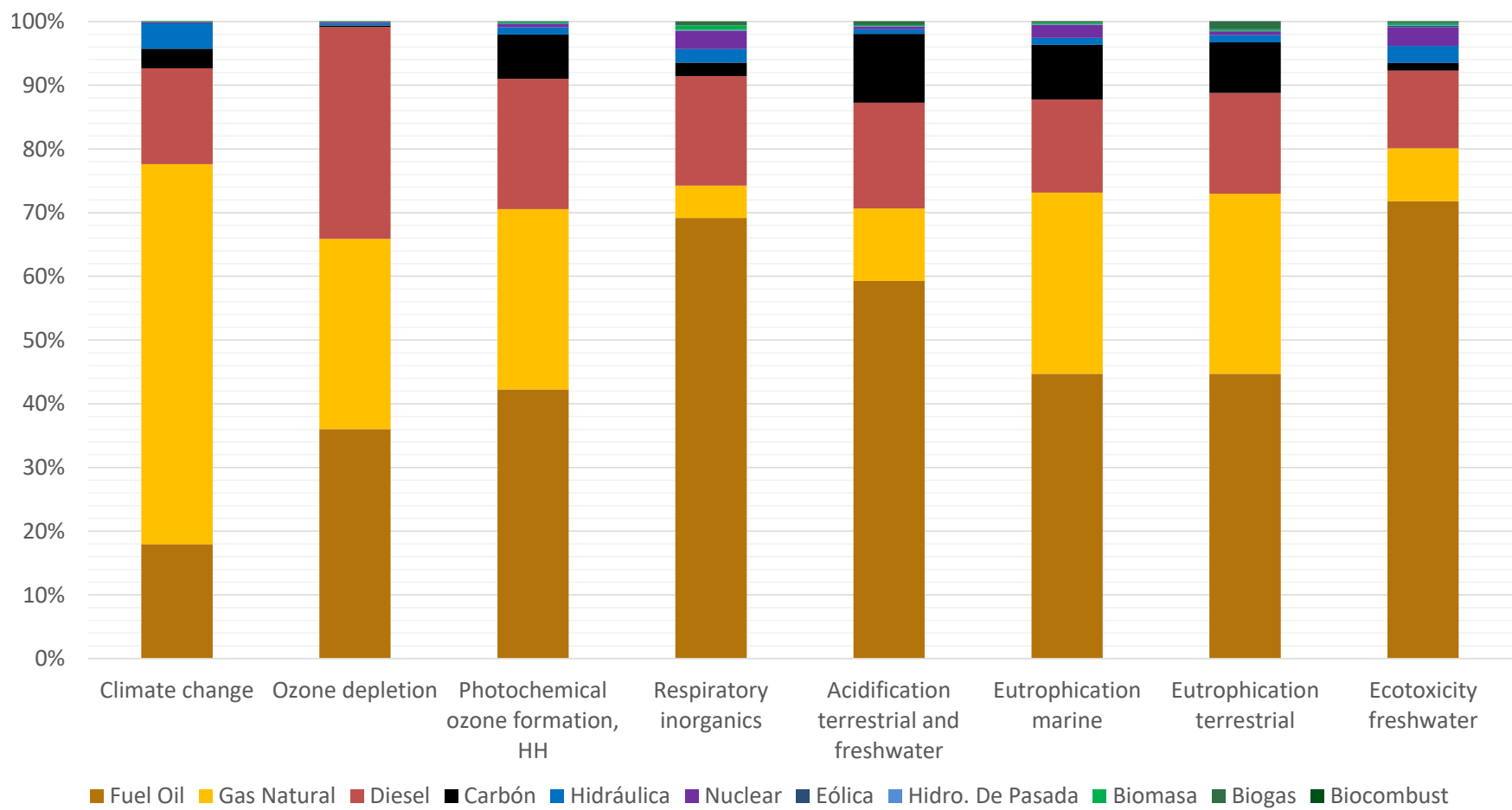


Figura 14: Categorías con mayor impacto en el año 2016 respecto al resto de los escenarios

4.2. Limitaciones de los escenarios

Se ha demostrado que los escenarios 2030 y 2030+e muestran mayor conveniencia desde el punto de vista medioambiental en las categorías mas populares, estos tienen también su impacto negativo ya que no existe aún una tecnología de generación que tenga un impacto nulo en el medio ambiente.

Si se analiza el escenario 2030 (figura 15) se puede apreciar que el incremento en la participación de las energías que utilizan combustibles limpios se traduce en mayores impactos en las categorías que están relacionadas con la salud humana, la eutrofización del agua dulce, el uso de suelo y de recursos. Al mismo tiempo se puede observar como la penetración de la energía eólica tiene su impacto en el estudio.

Por otra parte, la disminución en la utilización de combustibles fósiles líquidos da lugar a que la investigación se centre en las energías renovables, ya que será de interés en un futuro el seguir trabajando con el objetivo de tener el menor impacto global posible, no solo en el mix eléctrico sino también en todo el sistema energético Argentino.

Existe una alternativa y es la que se plantea según el escenario 2030 con políticas de eficiencia energética (2030+e), en este al igual que en el de 2030 sus impactos en lo que refiere a escasez de agua y radiación ionizante son mayores que en la actualidad y que en la fecha de elaboración del plan energético. La razón principal de este aumento se debe a la mayor penetración de la energía hidráulica y nuclear respectivamente(16). Es por dicha razón que entra en juego el balance de las medidas a tomar al realizar un plan energético y el impacto que tienen las distintas decisiones adoptadas.

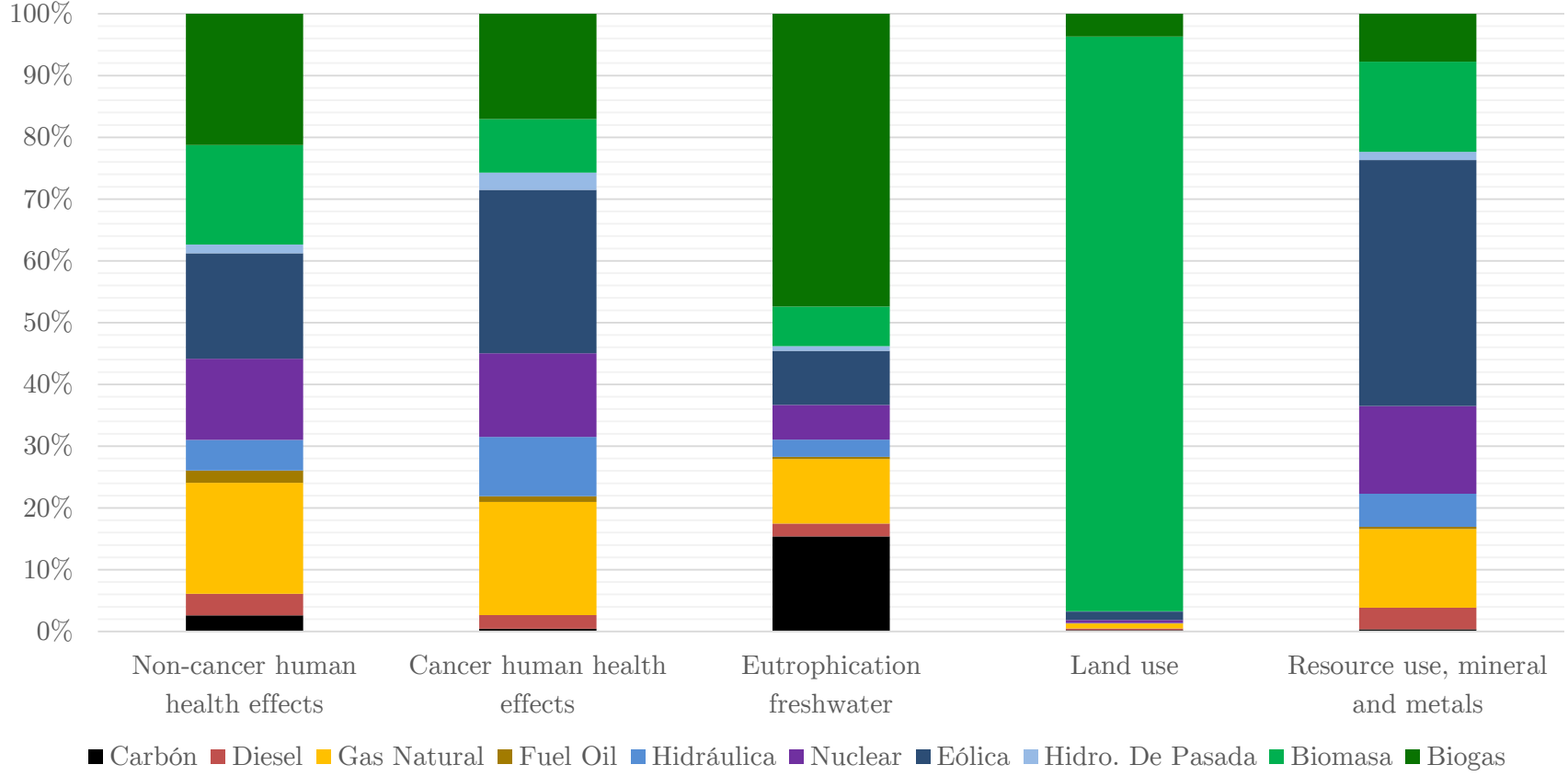


Figura 15: Categorías con mayor impacto respecto a 2016 en 2030

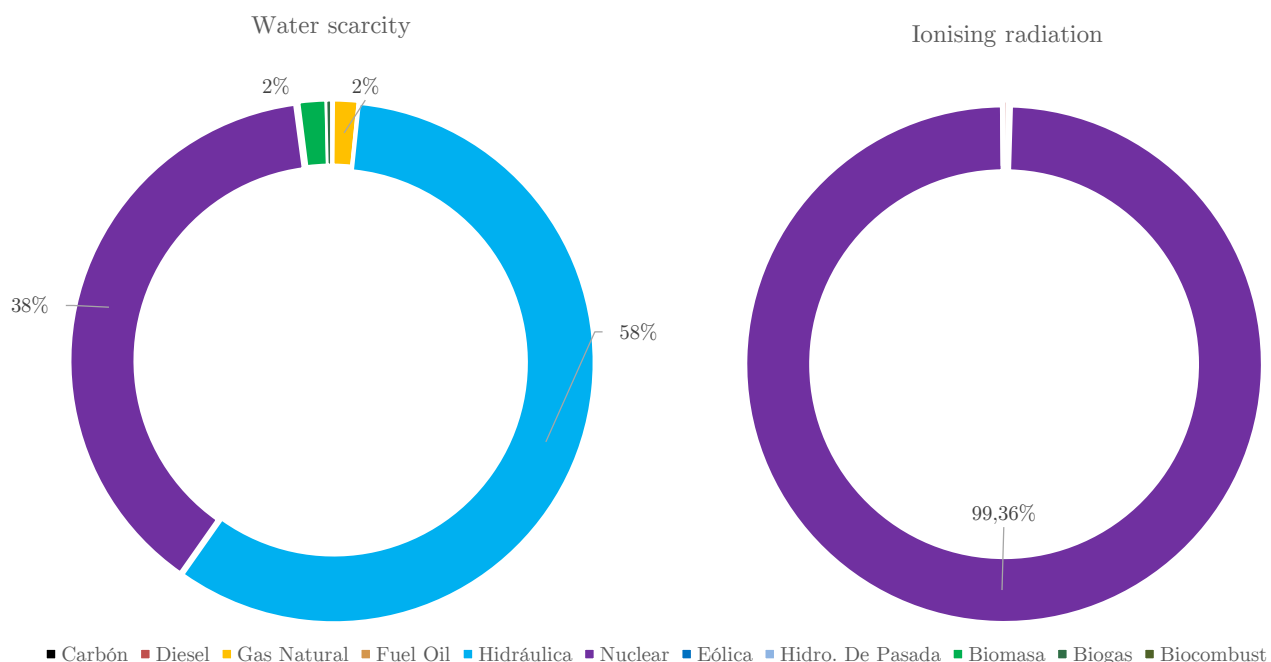


Figura 16: Categorías con mayor impacto respecto a 2016 en 2030 con políticas de eficiencia energética

4.3. Cambio Climático

En la actualidad una de las categorías en las cuales se centran muchos estudios de sostenibilidad de un mix eléctrico es la de Cambio Climático. Es de interés el demostrar como progresará dicha categoría si las estrategias del plan se llevan a cabo como se describen en él. En la figura 17 se puede ver que en el año 2030 las emisiones de dióxido de carbono equivalente serán aproximadamente la mitad de las que se emitían a la fecha de confección del plan energético.

Por otra parte se ha identificado la contribución de cada sub-categoría planteada por el método y se ha graficado en la figura 18. En la misma se puede apreciar como a medida que se prescindir de los combustibles fósiles, disminuye su participación en la categoría cambio climático.

En una última instancia se ha construido la figura 19 que muestra las emisiones totales de todo el sector eléctrico en base a los consumos energéticos planteado en la figura 5. Mediante este gráfico se trata de representar lo que sucede realmente con las emisiones, ya que en ocasiones si bien se reduce significativamente el nivel de emisiones por unidad de energía sucede que crece el consumo en mayor medida, por lo que las emisiones totales aumentan. El área sombreada representa el umbral en el cual se puede encontrar el mix eléctrico en el caso de que se opte por un escenario que se ubique entre los dos planteados en este estudio. La línea inferior es la combinación de los consumos eficientes y la migración hacia tecnologías más limpias, mientras que el límite superior solo contempla la descarbonización como se ha mencionado anteriormente.

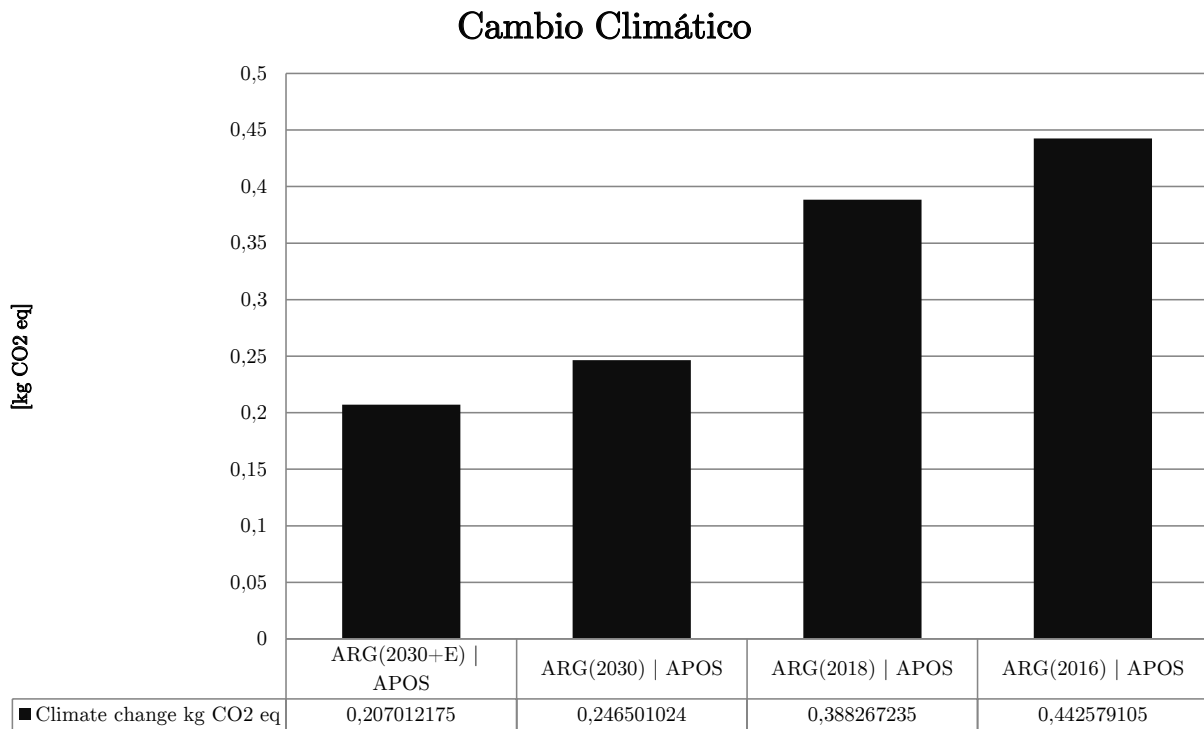


Figura 17: Emisiones por escenario

Si bien los resultados muestran que el escenario hacia 2030 es el que menos impacto tiene en cuanto a emisiones de GEI, esto es un avance pero no es suficiente para hablar de la sostenibilidad ya que se ha comprobado que deben considerarse también emisiones del tipo NO_x y SO_2 para tener un resultado más robusto y confiable[19]. Por dicha razón es que el modelo contempla ciertas fugas de gases en el proceso de transporte y distribución, al igual que en las etapas de construcción, operación y mantenimiento de las plantas.

Asignación de emisiones según sub-categoría

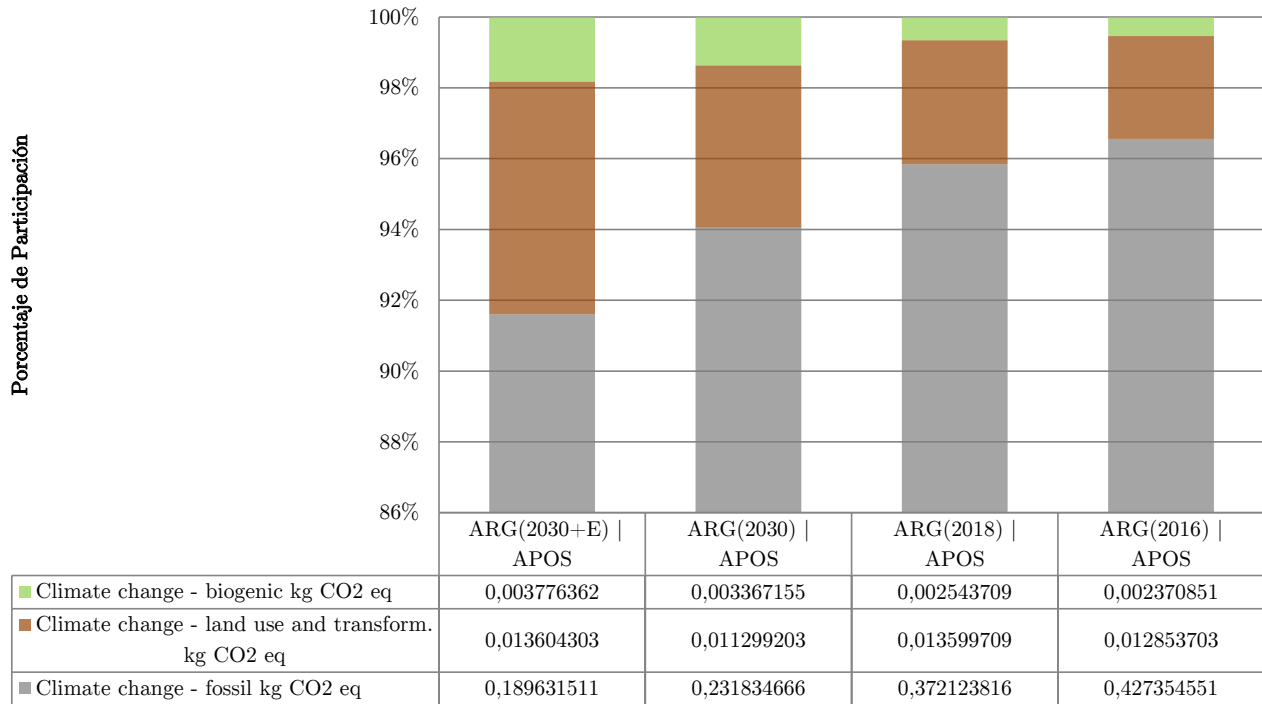


Figura 18: Asignación según sub-categorías Environmental Footprint.

Proyección emisiones totales sector eléctrico

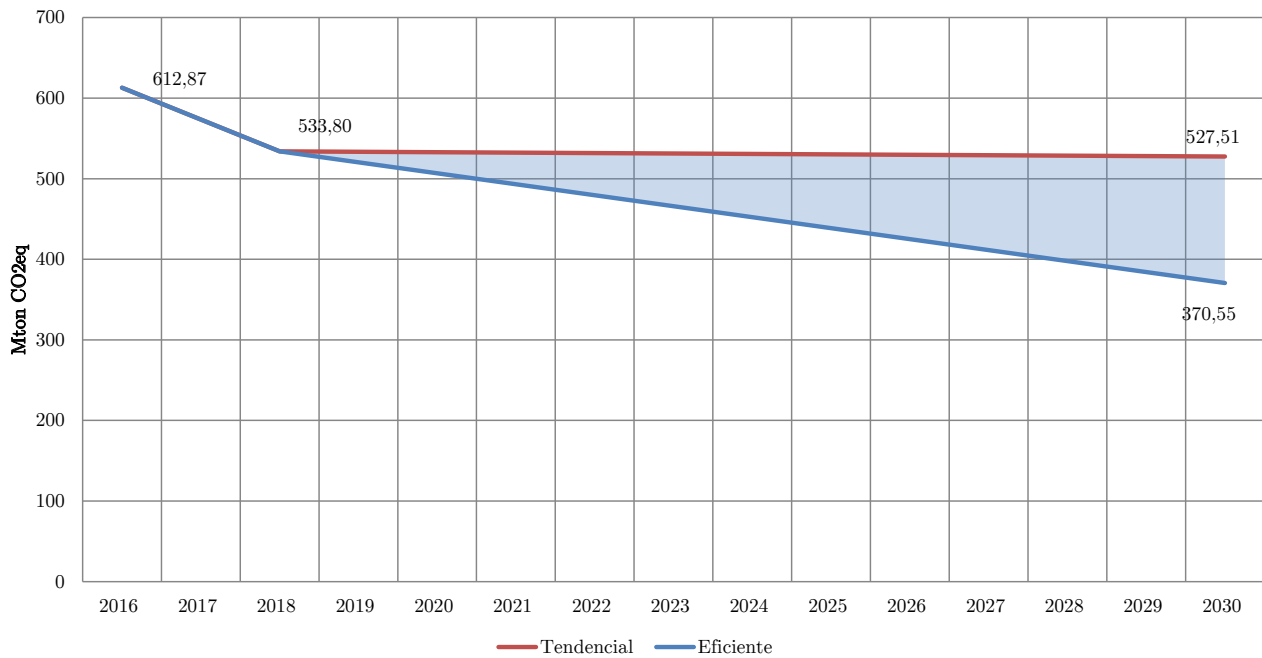


Figura 19: Emisiones totales del sector eléctrico en distintos escenarios.

4.4. Visión Socio-Económica

4.4.1. Estrategias y Aspectos a Analizar

Junto con el COP 21 mencionado en el primer capítulo surge la idea de las Contribuciones Previstas y Determinadas a nivel Nacional (NDCs por su siglas en ingles), las cuales realizan un seguimiento del trabajo realizado y las estrategias utilizadas por cada Nación para lograr los objetivos planteados desde el punto de vista medio ambiental. Al mismo tiempo surge la necesidad de hacer un análisis de los impactos económicos de este tipo de estrategias. Entre las políticas mas utilizadas se encuentra el incrementar la penetración de las renovables y por otro lado adoptar medidas de eficiencia energética.

Es de común conocimiento que el cambio climático es una condición que afecta a todo el planeta tierra, por dicha razón es de suma importancia que las barreras técnicas y económicas a las cuales se enfrentan los países en etapa de desarrollo sean enfrentadas en conjunto con los que ya transitaron ese tipo de desafíos. Por lo la transición energética es un proceso que se debe dar a nivel mundial en el cual se debe pensar también en el crecimiento económico, la creación de puestos de trabajo, la disponibilidad de energía y recursos al mismo tiempo que se erradica la pobreza.

Es de suma importancia la utilización de modelos energéticos a la hora de hacer un seguimiento socio-económico de la situación energética, tanto nacionales como globales, ya que al modelizar este componente de la sostenibilidad, los objetivos de la transición hacia un mix bajo en carbono se tornaran mas accesibles. En el caso de Argentina, un factor que amenaza constantemente los planes energéticos es la posibilidad de los precios bajos en los combustibles fósiles, ya que un precio bajo de los mismos limitaría la penetración de las energías limpias siempre y cuando las políticas planteadas no sean lo suficientemente fuertes. Argentina al igual que Estados Unidos es una nación en la cual los NDCs se contempla la utilización de gas en conjunto con la energía nuclear como tecnología de transición energéticas hasta que las energías limpias vayan tomando protagonismo en el sistema eléctrico[20].

La transformación del sistema implica una inversión económica muy grande en lo que refiere a energías con bajas emisiones, entre algunas técnicas se encuentra la de incentivar a los pequeños usuarios a invertir en energías limpias, como es el caso de los auto-consumidores; de esta forma el sistema se ve beneficiado ya que el mix eléctrico gana potencia a partir de energías limpias. Por otro lado es importante destacar que a nivel mundial, el hecho de implementar los NDCs hace que el empleo disminuya un 0.1% del empleo que hubiese en el caso base hacia el año 2030. Las principales fuentes de trabajo surgen ante la necesidad de aplicar las medidas de eficiencia energética en las edificaciones, en lo que respecta a la O&M de los parques renovables y en la producción de de biocombustibles y biomasa[21]. Esto significa que se podría llegar a preparar a la sociedad para migrar hacia otros puestos laborales que ofrecería la industria.

Desde el punto de vista el PIB se estima que a nivel mundial, los países que adopten políticas bajo NDCs tendrán un crecimiento ligeramente inferior (0.2% menor a lo esperado). La razón de este fenómeno se basará en la caída de las ventas de los productos de origen

fósil.

Un factor que es difícil de tener en cuenta al hacer un análisis de sostenibilidad ya que no hay suficiente investigación realizada para modelizar dichos acontecimientos son las catástrofes en los distintos proyectos existentes. Como es el caso de el derrumbe de represas o el descontrol en una central nuclear[22], los mismos pueden mitigarse al implementar mayores controles y tecnología en los procesos.

El proceso de des-carbonización del sistema energético argentino es complejo e implicará un alto nivel de inversiones no solo en proyectos sino también en I+D. Por otro lado será necesario que la mentalidad del consumidor cambie hacia la disminución en sus requerimientos energéticos. Es necesario aclarar que si bien la penetración de los vehículos eléctricos estará presente en el sistema, estos aun son muy avanzados para el estado de la matriz energética argentina.

4.4.2. Efectividad de las Políticas Adoptadas

Con el objetivo de disminuir los GEI existen numerosas estrategias como la mencionada en la sección anterior. Ahora bien, es poca la información disponible en cuanto a la efectividad de las mismas, sobre todo en Argentina. Un país en el que los cambios de ideología política atentan contra los proyectos a largo plazo y de esta forma con el progreso económico y social de la Nación. En este caso se buscará evaluar los productos de dichas políticas, los cuales son función de la densidad y la intensidad con la cual estas se promueven.

La densidad se cuantifica en base a la cantidad de medidas que el estado ofrece para cumplir con un objetivo determinado, mientras que la intensidad refiere a la presencia que tienen los órganos que realizan el control para que las políticas planteadas se lleven a cabo. Una vez definidos los conceptos, surge la necesidad de medirlos; para ello se utiliza un método que mide un índice de actividad en las políticas(IPA²) y se compara con otros países de América para dar una magnitud de la situación de cada nación[23].

El método para realizar la medición surge del supuesto del que las políticas nacionales son producto de restricciones en ciertos parámetros y acciones para lograr objetivos a largo plazo. Dichas restricciones son las que irán ofreciendo numerosos desafíos a los que guíen el plan energético de la Nación.

A la hora de evaluar a un país no es suficiente el observar sus políticas energéticas, como son la Ley 27.191 o los fideicomisos que incentivan a las energías renovables en la República Argentina. Sino que también es necesario medir con que rigurosidad estas propuestas son llevadas a cabo. Para lograr una medida se acude a seis indicadores que definirán que tan firmes son las políticas creadas, los mismos puntúan de 0 a 1. Donde 0 acusa inactividad y 1 significa que este indicador está presente. Los indicadores son:

1. **Objetivos:** Mide cuanto se adapta la performance que esa política esta teniendo respecto a los fines para los que fue creada.
2. **Alcance:** Estudia que sectores del sistema energético esta dirigida.

²Index of Policy Activity

3. **Integración:** Analiza si la política es parte de un paquete de medidas que promueve acciones contra el cambio climático.
4. **Presupuesto:** Se debe observar si la política tiene algún sustento económico que le de seriedad al asunto.
5. **Implementación:** Representa los procedimientos existentes y las sanciones ante una eventual omisión por parte de quienes deben llevar a cabo la política.
6. **Control:** Se encarga de localizar alguna organización que controle que la política se aplique tal y como se ha diseñado.

En el caso de Argentina se ha encontrado que sus políticas muestran un compromiso importante con la penetración de energías renovables y la reducción de GEI analizando los indicadores que contemplan Objetivos e Integración. Mientras que al hacer un análisis global de las políticas se encuentra en tercer lugar después de Brasil y Canadá. Las puntuaciones se pueden observar en la tabla 2.

	1	2	3	4	5	6	Puntuación media
Argentina	0.37	0.22	0.23	0.42	0.46	0.12	0.3
Brasil	0.23	0.22	0.16	0.28	0.55	0.56	0.33
Canadá	0.33	0.23	0.13	0.83	0.21	0.15	0.31
Mexico	0.18	0.11	0.2	0.30	0.39	0.18	0.23
USA	0.17	0.28	0.23	0.31	0.52	0.3	0.3

Cuadro 2: IPA's de Argentina y de distintas naciones de América.

Si se analizan las políticas energéticas en Argentina en los años 1998-2015 se pueden apreciar las distintas políticas de estado implementadas. A fines de los años noventa se quiso instaurar la idea de los "feed-in tariff" para la energía eólica y solar, medida que ofrecía una prima para las tecnologías que entraban en la subasta eléctrica para fomentar la inversión en renovables.

Lamentablemente este proyecto se vio perjudicado ante el congelamiento de precios producto de la crisis Nacional del año 2001. Posteriormente en el año 2006 surge la ley 26.190(derogada por la actual 27.191) que obliga a los grandes consumidores a tener cierto porcentaje de energía renovable en su consumo para los años 2020 y 2025. Al mismo tiempo se fomenta la utilización de bioetanol y biodiesel en el corte de los combustibles de venta Nacional.

4.4.3. Fomento a las Renovables en Argentina

Argentina por su parte cuenta con la ley 27.191 la cual fue sancionada en el año 2015, en ella se pueden encontrar todas las clausulas nacionales que buscan fomentar el uso de fuentes renovables de energía en la producción de energía eléctrica. Si bien abarca varios artículos, se resume a:

- Propone un porcentaje de participación de renovables para el año 2025 del veinte por ciento, con ciertos objetivos intermedios.
- Lista distintos beneficios para personas jurídicas que emprendan proyectos renovables. La mayoría de ellos relacionados con la exención de ciertos impuestos que hoy estan presentes en el país.
- Menciona por primera vez el proyecto de fondos fiduciarios para la financiación de los proyectos. Posteriormente se hablara en profundidad cuando se explique como el estado licita potencia de energías renovables.
- Dedicar un capitulo a los grandes usuarios con instalaciones por encima de 300kW de potencia consumida, para ellos exige ciertos consumos a partir de renovables, al mismo tiempo establece la penalización económica por no cumplir con lo estipulado en la ley.

En paralelo con la ley mencionada anteriormente el estado propone la idea del programa RenovAr(Renovables Argentina), proyecto por el cual busca abastecer de energía eléctrica a partir de fuentes renovables al país y sus vecinos. Al mismo tiempo crea ciertos fideicomisos(FODER) por los cuales financia los proyectos de energías renovables con garantías del Banco Mundial. El proceso es sencillo, ya que el estado bajo sus modelos energéticos analiza la nueva potencia necesaria por tecnología, llama a licitación y adjudica a los mejores postores.

4.4.4. Otras técnicas existentes

Toda nación tiene estrategias sobre los mercados eléctricos con el objetivos de reducir el nivel de emisiones, sin embargo hay ciertos factores que deben ser tenidos en cuenta antes de llevar técnicas a la práctica:

- Si bien a nivel mundial se han implementado sistemas del tipo Emissions Trading System (ETS) en los cuales los procesos que emiten GEI tienen un limite de emisiones anuales, y en el cual también existe un mercado de derechos de emisión. Ha sido probado por [2] que la señal de precio no es adecuada, por lo que este sistema aun tiene falencias que se deben corregir como:
 1. Sensibilidad en cuento a la economía: Ante una posible crisis económica las señales de precio disminuyen lo que hace que en muchos casos las emisiones aumenten debido al bajo costo de la tCO_2
 2. El coste de la externalidad de los GEI: Esta comprobado en la ciencia que el costo real de las emisiones es muy difícil de fijar, ya que las consecuencias futuras de un mal accionar de la población actual puede comprometer la humanidad desembocando en sequía, inundaciones y hambruna a nivel mundial[24].

3. El alcance del modelo es limitado: Se le critica la falta de control sobre sectores que son responsables de un gran porcentaje de las emisiones(Figura 1) como son el sector transporte y residencial.
- Es clave que la transición sea flexible, y que las políticas y medidas adoptadas sean firmes en el sentido de evitar arrepentimientos futuros, ya que hay inversiones de por medio en cada decisión.

5. Conclusiones

Es importante destacar la importancia de trabajar en paralelo con distintas disciplinas para poder hablar de sostenibilidad en un mix energético. Ha quedado clara la necesidad de profundizar en el análisis social y económico de la situación para dar una opinión con mayores fundamentos. Ya que el considerar un plan energético con el mínimo impacto ambiental posible puede dar lugar a que ciertos parámetros libres que afecten a la sociedad o a la economía del país.

Aunque existen distintas tecnologías se ha demostrado que todas tienen cierto impacto en el medio ambiente, por lo que el trabajo se debe focalizar no solo en avanzar tecnológicamente sino que la clave está en desarrollar las técnicas que buscan la eficiencia energética. Si bien se puede observar que los escenarios energéticos hacia el año 2030 tienen bajas emisiones de GEI al igual que mejoran otras categorías del método de evaluación. Hay cierto riesgo desde el punto de vista de los accidentes en los reactores; la preocupación de otras naciones por la posible fabricación de armas nucleares o la disposición final de los residuos radioactivos, incluso los altos costos iniciales. Otro aspecto a considerar es la escasez de agua que generarán las nuevas represas al aumentar la participación de las hidroeléctricas en el mix.

Un aspecto a tener en cuenta a la hora de proyectar el alto nivel de biocombustibles y biomasa en el mix es el uso del suelo que estos requieren para su producción, al igual que las renovables, respecto al necesario para las centrales térmicas. Sin embargo se debe considerar que en la actualidad la materia prima utilizada para la generación eléctrica a partir de biomasa contempla la utilización de restos pertenecientes a otras actividades agropecuarias, introduciendo el concepto de economía circular al ahorrar un residuo y darle un valor agregado al mismo.

Entre las conclusiones de la generación de trabajo es importante destacar que la penetración de energías limpias en un mix no deshacen los puestos laborales que la sociedad cree, ya que se generan puestos de trabajo verdes. Por otro lado el implementar políticas de eficiencia hará que a futuro el consumo energético disminuya, repercutiendo en el PBI de la Nación pero esta última acción será equiparada con la competitividad en la industria nacional de las posibles partes fabricadas en el país. Los NDCs no son suficientes para evitar que la temperatura aumente 2 grados, hará falta que a nivel mundial se trabaje en las distintas tecnologías y su performance al igual que en el desarrollo de los mercados eléctricos.

Se cree que la decisión de aumentar la participación del gas en el mix eléctrico para liberar los combustibles líquidos hacia procesos en los cuales tienen mayor eficiencia, dando lugar a niveles de emisiones más bajos es acertada. Siempre y cuando las emisiones a partir de la producción del gas se mantengan dentro de los parámetros estipulados, ya que se ha demostrado que en muchas ocasiones las fugas de gas a partir de las formaciones de shale pueden tener impactos mayores en el medio ambiente que los producidos en la combustión de distintos derivados del petróleo[25].

La penetración de las renovables en el sistema, si bien se requieren mayores inversio-

nes que para las tecnologías que usan combustibles en la generación, dotaran al sistema de robustez. Ya que la distribución de los parques renovables a lo largo del país hará que se descentralice la generación. De esta forma al tener la potencia mas distribuida se está preparado ante posibles fallas en la linea de transporte, evitando también la dependencia de centrales de base y consecuente a esto eludiendo posibles black outs como el acontecido en el corriente año.

La visión actual de la viabilidad del plan energético es optimista. Sin embargo, las políticas actuales no apoyan al 100 % el plan nuclear establecido, por lo que se cree que es difícil llegar a la participación declarada en el estudio. Por parte de las represas hidroeléctricas el camino es ma esperanzador, ya que si bien han cambiado los inversionistas los proyectos siguen en pie.

6. Lineas Futuras

En el proceso de realización del trabajo surgieron distintas ideas que se presentan a continuación y que pueden dotar a la investigación en un futuro de mayores contenidos y calidad.

- Desde el punto de vista de la modelización energética, se contempla la idea de trabajar con modelos propios. Para tener mayor libertad y control sobre las distintas variables que entran en juego en la simulación y que ofrecen ciertos resultados en función de las condiciones de borde establecidas.
- Al modelo planteado para el ACV, se le podrían realizar mejoras. Como el hecho de agregar la importación y exportación de energía a países vecinos. Al mismo tiempo sería pertinente trabajar con las consideraciones realizadas y acudir a estadísticas nacionales para construir un inventario con datos propios de la matriz eléctrica Argentina. Como se ha mencionado, en ocasiones se han estimado valores en base a la bibliografía y trabajos existentes.
- A la hora de estudiar la parte socio-económica del país sería propio trabajar con un análisis del tipo Input-Output con el objetivo de dar resultados tangibles y poder plantear ideas con mayores fundamentos. Para poder llevar a cabo esta tarea es necesario estudiar en detalle ciertos valores e indicadores de la economía, luego se deben volcar en modelos que utilizan arreglos matriciales para dar los resultados objetivo.
- Se plantea la interesante tarea de analizar los costos de inversión para la Nación con el objetivo de lograr que su plan energético llegue a buen puerto. Este trabajo sería un largo proceso ya que se deberían tener en cuenta todos los proyectos del país, por tecnología y potencias.
- Por último en un futuro se analizarían el resto de los sectores como el del transporte o la industria para que el estudio englobe todo el plan energético.

Referencias

- [1] Brundtland, G. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. United Nations General Assembly document A/42/427.
- [2] A. Amores et al., *Un modelo energético sostenible para España en 2050-Recomendaciones de política energética para la transición*. Monitor Deloitte.
- [3] O. Edenhofer et al., *Climate Change 2014-Mitigation of Climate Change*. Intergovernmental Panel on climate Change.
- [4] N. Maïzi, *Prospective: philosophy, history and models*. 1st International Summer School on prospective modeling and energy transition-Sophia-Antipolis.
- [5] A. Maxim, *Sustainability assessment of electricity generation technologies using weighted multi-criteria decision analysis*. Doctoral School of Economics and Business Administration, Alexandru Ioan Cuza University of Iași, Iasi 700080, Romania.
- [6] M. Z. Akber et al., *Life cycle sustainability assessment of electricity generation in Pakistan: Policy regime for a sustainable energy mix*. Dept. of Construction Engineering & Management (CE & M), NIT-SCEE, National University of Sciences & Technology (NUST), Islamabad, Pakistan.
- [7] I. Herrera Orozco, *Análisis de ciclo de vida como herramienta metodológica para el análisis de la sostenibilidad*. Unidad de Análisis de Sistemas Energéticos - CIEMAT Madrid, España.
- [8] Ministerio de Energía y Minería. *Escenarios Energéticos 2030*. Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico Buenos Aires - Argentina.
- [9] CAMMESA. *Informe Anual 2016*. Compañía Administradora del Mercado Eléctrico Mayorista - Argentina.
- [10] CAMMESA. *Informe Anual 2018*. Compañía Administradora del Mercado Eléctrico Mayorista - Argentina.
- [11] P. Fortes, *ENERGY MODELS: BOTTOM-UP VS. TOP-DOWN*. 1st International Summer School on prospective modeling and energy transition-Sophia-Antipolis.
- [12] R. Frischknecht, *Life Cycle Inventories of Electricity Mixes and Grid*. Paul Scherrer Institut (PSI).
- [13] *Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia*. UNE-EN ISO 14040:2006.
- [14] *Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices*. UNE-EN ISO 14044:2006.
- [15] Understanding electricity in SimaPro.
<https://simapro.com/2019/understanding-electricity-in-simapro/>

- [16] J. B. Guinée, *Handbook on Life Cycle Assessment*. Holanda: Leiden University, 2001.
- [17] European Platforma on Life Cycle Assessment.
<https://eplca.jrc.ec.europa.eu>
- [18] L. Zampori, R. Pant, *Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method*. Joint Research Centre, European Commission's science and knowledge service.
- [19] R. turconi et al., *Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations*. Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Denmark.
- [20] P. Fragkos et al., *Coupling national and global models to explore policy impacts of NDCs*. National Technical University of Athens, Department of Electrical and Computer Engineering, Athenas.
- [21] P. Karkatsoulis et al., *First-mover advantages of the European Union's climate change mitigation strategy*. National Technical University of Athens, Department of Electrical and Computer Engineering, Athenas.
- [22] H. L. van Soest et al., *Low-emission pathways in 11 major economies: comparison of cost-optimal pathways and Paris climate proposals*. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency The HagueThe Netherlands.
- [23] E. C. Pischke et al., *From Kyoto to Paris: Measuring renewable energy policy regimes in Argentina, Brazil, Canada, Mexico and the United States*. Michigan Technological University, Houghton, MI, USA.
- [24] D. Roberts, *Discount rates: A boring thing you should know about*. Grist [En línea]. Disponible en:
<https://grist.org/article/discount-rates-a-boring-thing-you-should-know/> .
- [25] D. R. Caulton et al., *Toward a better understanding and quantification of methane emissions from shale gas development*. University of California, Irvine, CA, USA.

7. Planificación temporal y Presupuesto

7.1. Planificación Temporal

A la hora de confeccionar un diagrama que represente la línea cronológica de las actividades realizadas se opta por utilizar la herramienta Project de Microsoft Office. Las condiciones y horarios de trabajo se fijan según los siguientes items:

- Los días de trabajo son de Lunes a Viernes en el horario de 9:00 a 17:00
- Entre la fecha de comienzo y fin del estudio existen tiempos muertos atribuidos a capacitaciones en el exterior, exámenes y vacaciones.
- El lugar de trabajo es en las instalaciones del CIEMAT.

En la figura 20 se presenta una línea temporal del inicio y fin del trabajo de investigación. Mientras que en la figura 21 se muestra detalladamente el conjunto de tareas realizadas y la dependencia que hay entre ellas, al mismo tiempo se pueden observar los distintos encuentros con el tutor externo y académico.



Figura 20: Línea Cronológica del estudio

7.2. Presupuesto

El costo a considerar para poder realizar el presente trabajo de investigación tiene distintas contribuciones. Sin embargo uno de las mayores inversiones es la llave del software utilizado para realizar el ACV, en el caso de que el investigador trabaje adhonorem como es el caso. Si el trabajo fuese solicitado para alguna organización, a la hora de realizar un presupuesto se deberían contemplar los siguientes costos:

1. La llave del software SimaPro la cual tiene un coste anual aproximado de 2800 euros anuales.
2. Un sueldo para el investigador de 24.000 euros anuales. Contemplando que este trabajo se puede realizar en 4 meses de labor continuo según la planificación temporal.
3. El costo del seguimiento del trabajo por parte de los tutores académico y externo.
4. Se deben tener en cuenta también alrededor 3000 euros para los distintos insumos y consumibles.

Al concatenar los componentes económicos del estudio, se debería considerar un monto total de entre 18000 y 20000 euros.

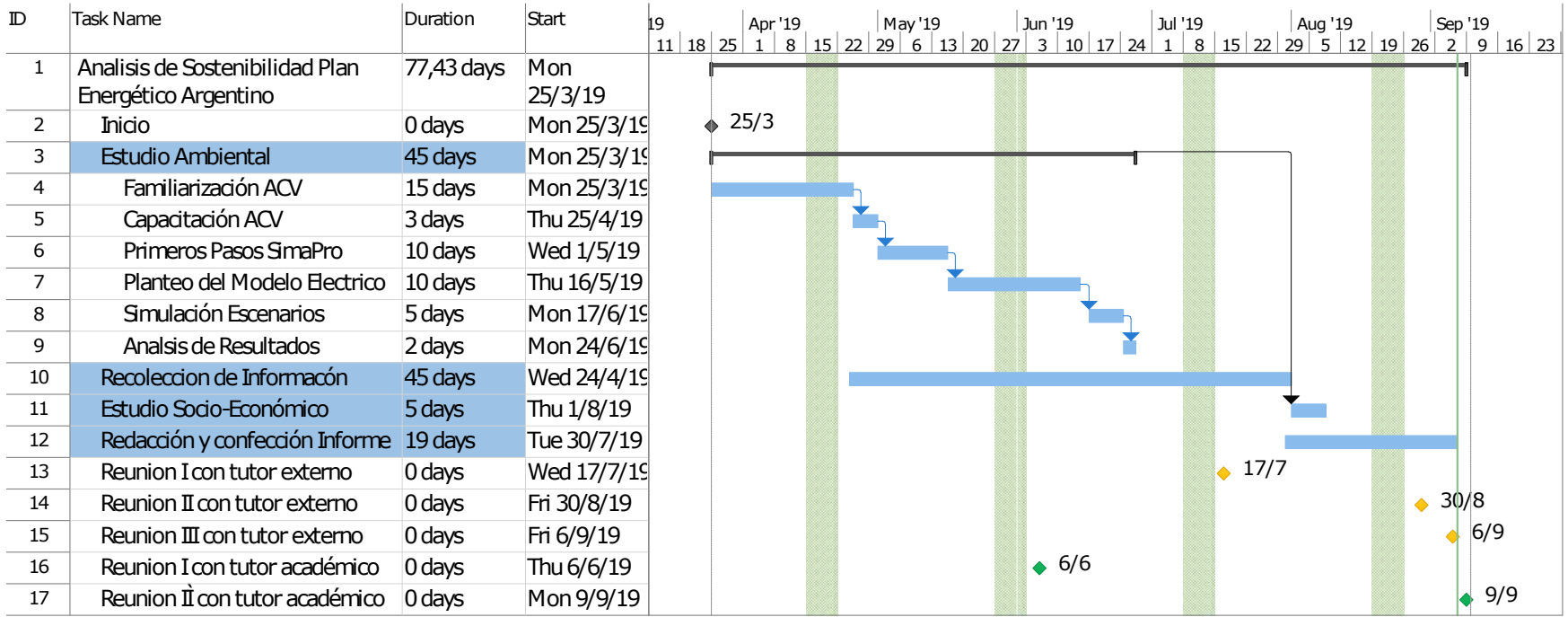


Figura 21: Diagrama de Gantt del proyecto

Índice de figuras

1.	Emisiones globales por sector económico	2
2.	Diagrama en bloques de un Modelo Energético	4
3.	Sankey energético 2016	8
4.	Sankey energético 2018	9
5.	Escenarios 2030	10
6.	Contribución energética proyectada por sector en escenarios 2030	11
7.	Sankey energético previsión escenario 2030 tendencial	11
8.	Sankey energético previsión escenario 2030 eficiente	12
9.	Etapas de un ACV	13
10.	Diagrama en Bloques del modelo planteado	16
11.	Comparación Impactos A	18
12.	Comparación Impactos B	19
13.	Comparación Impactos C	20
14.	Categorías con mayor impacto en 2016	22
15.	Categorías con mayor impacto en 2030	24
16.	Categorías con mayor impacto en 2030+E	25
17.	Emisiones por escenario	26
18.	Procedencia de las emisiones	27
19.	Emisiones totales en Mt CO_2	27
20.	Línea Cronológica del estudio	38
21.	Diagrama de Gantt del proyecto	39

8. Abreviaturas

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
COP	Conferencia de las Partes
DS	Desarrollo Sostenible
GEI	Gases de Efecto Invernadero
NDCs	National Determined Contributions
PIB	Producto Interno Bruto

Anexos

A. Categorías de Impacto

A.1. Cambio Climático

Se basa en el potencial de calentamiento global (GWP) o mas conocido como huella de carbono calcula la fuerza radiativa de los gases con un horizonte de 100 años. Tiene en cuenta el impacto de distintos gases emitidos al medio ambiente, el cambio climático es un problema que afecta la infraestructura del planeta en el que vivimos. Sus consecuencias pueden ser:

- Aumento o Disminución de la temperatura normal dependiendo de la zona.
- Modifica los regímenes de lluvias y nieve.
- Modifica las ráfagas de viento, ya que cambiando la temperatura se altera la presión y sus diferencias.
- Altera el estado de los glaciares y consume lentamente el permafrost.
- Desemboca en la acidificación de los océanos por las altas concentraciones de ácido carbónico en el agua.
- Altera notablemente las estaciones del año y sus características.

En la actualidad no existe un mecanismo para limpiar la tierra y los daños que van resultando de las emisiones, la permanencia de las sustancias en la atmósfera determinará su potencial de cambio climático, el potencial de cambio climático de los gases de efecto invernadero será comparado con la emisiones de un kilogramos de CO_2 , por lo que el resultado será en kilogramos de $CO_2 - eq$.

Los gases con el mayor impacto en el calentamiento global son el CO_2 , CH_4 y N_2O . Por otro lado están también los hidrocarburos clorados y fluorados, los cuales tienen efectos radiactivos directos, si bien su potencial es mucho mayor que el de los gases convencionales, el impacto es bajo debido a su baja concentración.

Los horizontes con los cuales se miden los impactos en el calentamiento global pueden ser desde los 20 a los 500 años. Donde se es mas conservador cuanto mas amplio es el periodo de análisis ya que muchos gases subsisten por mas de veinte años, al mismo tiempo un periodo muy pequeño no alcance a mostrar el impacto en los distintos ecosistemas. Para el método se utiliza un horizonte de tiempo de 100 años luego de haber sido acordada en el protocolo de Kyoto.

A.2. Agotamiento del ozono estratosférico

Consiste en la disminución gradual en el espesor de la capa de ozono, y es causada por la liberación de compuestos químicos que contienen Cloro y Bromo en su composición de origen industrial y en otros casos emisiones de ciertas actividades humanas. El horizonte de medida es de 100 años.

El agotamiento de la capa de ozona se da mayormente en las regiones polares del planeta tierra, especialmente en la Antártida. Esto desemboca en una mayor cantidad de rayos ultravioletas que inciden en la superficie terrestre aumentando los riesgos de cáncer de piel, cataratas en los ojos y problemas en el sistema inmunológico; poniendo en riesgo generaciones futuras del afectado. Se estima que tomando ciertas acciones la capa de ozono se irá regenerando con el paso del tiempo.

A.3. Radiación

Cuantifica el impacto de la radiación ionizante en la población en comparación con el Uranio 235. Se trata de un flujo de energía en forma de partículas sub-atómicas. En organismos vivientes esta proyección de partículas causa daños a nivel celular y en su material genético. Es importante medirla ya que al dañar cadenas genéticas se puede dar origen a malformaciones o en algunos casos la formación de metástasis.

Su medida da información es proporcional a las probabilidades de originar cáncer, es por dicha razón que la exposición a estas desintegraciones debe ser atendida con cautela. Su unidad de medida es el kBq, y mide la actividad radiactiva en número de desintegraciones por segundo.

A.4. Toxicidad Humana, efectos no-carcinógenos

El indicador utilizado es la unidad comparativa de toxicidad para humanos(CTUh) y expresa el incremento estimados de la mortalidad en la población por unidad de masa emitida de una sustancia química.

En este caso se habla de dosis máxima que no repercute en cambios en la salud, o la dosis mínima a partir de la cual se empiezan a notar fallas en algún sistema del cuerpo humano.

A.5. Toxicidad Humana, efectos carcinógenos

El indicador utilizado es la unidad comparativa de toxicidad para humanos(CTUh) y expresa el incremento estimados de la mortalidad en la población por unidad de masa emitida de una sustancia química.

A diferencia del indicador anterior, este no tiene una dosis máxima sino que se habla de riesgo y probabilidad ya que ante la mínima exposición ya existen probabilidades de contraer cáncer.

A.6. Partículas en suspensión

El modelo de utilizado se basa en zonas urbanas, rurales al igual que espacios bajo techo. La intención de esta categoría es la de cuantificar las partículas materiales con diámetros menores a 2.5 micro metros (PM2.5), ya que a diferencia de las PM10 estas se depositan en los alvéolos llegando al sistema sanguíneo.

A.7. Formación fotoquímica de Ozono

El ozono y otros compuestos reactivos del oxígeno son considerados contaminantes en la troposfera. El ozono es formado por la oxidación de contaminantes primarios con los compuestos orgánicos volátiles (COVs) o el monóxido de carbono en presencia de óxidos de nitrógeno bajo la influencia de haces de luz.

Mide la contribución del proceso a la formación de ozono fotoquímico.

A.8. Acidificación

Es la alteración de la composición química y pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua. Su razón es la lluvia ácida, la cual se da cuando precipitan los ácidos emitidos en forma de gases de distintos procesos creados por el humano en la superficie terrestre. Si bien hay fenómenos naturales que emiten gases que pueden provocar lluvias ácidas estos porcentajes son mínimos.

La industria, los automóviles o las calderas de calefacción emiten a la atmósfera gases contaminantes (óxido de nitrógeno y dióxido de azufre), los cuales en combinación con el oxígeno del aire y el vapor de agua se transforman en ácidos para depositarse en la superficie terrestre a través de las precipitaciones.

A.9. Eutrofización terrestre

Esta ocurre cuando los niveles de Nitrogeno exceden los óptimos para las especies naturales o los cultivos en un determinado ecosistema, lo que determina una disminución en los rendimientos de producción.

Hay distintas situaciones, una en la cual se pierde biodiversidad, otra en la cual se degenera el funcionamiento del ecosistema y por ultimo una en la cual se afecta la calidad de vida de los humanos. Se la considera como un impacto que desemboca una cascada de alteraciones en el medio ambiente.

A.10. Eutrofización acuática

Este proceso puede ser natural o antropogénico y consiste, análogamente a la eutrofización terrestre, en el enriquecimiento de las aguas con nutriente a un ritmo tal que no puede ser compensado por el proceso de mineralización. De esta forma existe un exceso de materia orgánica que produce la disminución del oxígeno existente en las profundidades. Sus efectos pueden interferir en los usos que el hombre quiera realizar de los recursos acuáticos. Al mismo tiempo este exceso de nutrientes desencadena un crecimiento anormal de la flora acuática.

A.10.1. Eutrofización de agua dulce

Se mide el grado con el cual los nutrientes emitidos llegan al agua dulce, su unidad de medida es el kilogramo de Fósforo equivalente.

A.10.2. Eutrofización de agua marina

Se mide el grado con el cual los nutrientes emitidos llegan al agua dulce, su unidad de medida es el kilogramo de Nitrógeno equivalente.

A.11. Ecotoxicidad

Se trata de efectos adversos en especies vivientes, los mismos se producen por una ecotoxina liberada en los ecosistemas estudiados la cual actúa en un periodo de tiempo.

La perturbación extendida en el tiempo producida por una ecotoxina puede afectar determinadas especies al disminuir su potencial vital, de esta forma van perdiendo presencia en el medio que habitan e incluso pueden llegar a extinguirse.

A.12. Uso del suelo

Refiere una dimensión funcional en la cual se trata de cuantificar la utilización humana del área que comprende la superficie terrestre para distintas actividades. En este caso para la generación de energía, ya sea por las instalaciones o por las materias primas para producir energía eléctrica.

En muchos casos la degradación de las tierras puede resultar en la desertificación del suelo raíz de la actividad humana. La categoría de impacto bajo el diseño tiene en cuenta la ocupación del suelo en cuanto a área ocupada y también considera la transformación del suelo al estudiar las modificaciones que se hacen en sus propiedades naturales. Escasez de Agua Representa la disponibilidad relativa de agua luego de que la demanda humana y de los ecosistemas es alcanzada. Evalúa el potencial con el cual se priva a los ecosistemas del agua que en ausencia de la actividad humana estaría disponible.

Se busca fijar el concepto por el cual cuanto mas agua se utiliza, menos disponibilidad habrá para otros usuarios. Su cálculo es el resultado de una serie de pasos por los cuales se obtiene una magnitud adimensional que mensura en veces la escasez de agua respecto a una media mundial.

A.13. Agotamiento de recursos (minerales y metales)

Esta categoría de impacto mide el uso de los recursos abióticos disponibles en la tierra.

A.14. Agotamiento de recursos no renovables

Esta categoría de impacto mide el uso de los recursos fósiles MJ como unidad de energía representativa.

B. Tablas de Resultados

B.1. Resultados por categoría en sus respectivas unidades

Categoría de impacto	Unidad	Escenario			
		2030+e	2030(BAU)	2018	2016
Climate change	kg CO2 eq	0,20701218	0,24650102	0,38826724	0,44257911
Ozone depletion	kg CFC11 eq	1,2521E-08	1,5598E-08	2,5691E-08	4,4839E-08
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	0,25196112	0,21918546	0,08304473	0,10356248
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	0,00026303	0,00031824	0,00046725	0,00077081
Respiratory inorganics	disease inc.	5,2362E-09	5,4072E-09	3,676E-09	8,6818E-09
Non-cancer human health effects	CTUh	1,246E-08	1,2722E-08	1,0482E-08	1,2193E-08
Cancer human health effects	CTUh	4,2075E-09	4,2161E-09	3,7021E-09	3,8436E-09
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	0,00061903	0,0006993	0,00068601	0,00137087
Eutrophication freshwater	kg P eq	3,4735E-05	3,7679E-05	3,3549E-05	3,5331E-05
Eutrophication marine	kg N eq	0,00010316	0,0001186	0,00014631	0,00023389
Eutrophication terrestrial	mol N eq	0,00203339	0,00221294	0,00160819	0,00254349
Ecotoxicity freshwater	CTUe	0,08641873	0,08779291	0,0819801	0,1302857
Land use	Pt	3,85652311	3,87199284	0,56344812	0,53243412
Water scarcity	m3 depriv.	0,74550291	0,63683535	0,55754871	0,55469562
Resource use, energy carriers	MJ	5,83906985	6,1640202	6,99954267	7,6956195
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	6,5484E-07	6,5585E-07	5,512E-07	5,6121E-07
Climate change - fossil	kg CO2 eq	0,18963151	0,23183467	0,37212382	0,42735455
Climate change - biogenic	kg CO2 eq	0,00377636	0,00336716	0,00254371	0,00237085
Climate change - land use and transform.	kg CO2 eq	0,0136043	0,0112992	0,01359971	0,0136043

B.2. Resultados por categoría normalizados

Categoría de impacto	Escenario			
	2030+e	2030(BAU)	2018	2016
Climate change	2,668E-05	3,177E-05	5,005E-05	5,705E-05
Ozone depletion	5,362E-07	6,679E-07	1,100E-06	1,920E-06
Ionising radiation, HH	5,971E-05	5,195E-05	1,968E-05	2,454E-05
Photochemical ozone formation, HH	6,478E-06	7,838E-06	1,151E-05	1,898E-05
Respiratory inorganics	8,226E-06	8,495E-06	5,775E-06	1,364E-05
Non-cancer human health effects	2,624E-05	2,679E-05	2,207E-05	2,568E-05
Cancer human health effects	1,093E-04	1,095E-04	9,614E-05	9,981E-05
Acidification terrestrial and freshwater	1,114E-05	1,259E-05	1,235E-05	2,468E-05
Eutrophication freshwater	1,361E-05	1,476E-05	1,314E-05	1,384E-05
Eutrophication marine	3,648E-06	4,194E-06	5,173E-06	8,270E-06
Eutrophication terrestrial	1,149E-05	1,251E-05	9,089E-06	1,438E-05
Ecotoxicity freshwater	7,314E-06	7,431E-06	6,939E-06	1,103E-05
Land use	2,890E-06	2,902E-06	4,222E-07	3,990E-07
Water scarcity	6,500E-05	5,553E-05	4,861E-05	4,836E-05
Resource use, energy carriers	8,945E-05	9,443E-05	1,072E-04	1,179E-04
Resource use, mineral and metals	1,132E-05	1,133E-05	9,525E-06	9,698E-06

C. Contribución por Tecnología/kWh

C.1. LCI para el escenario 2016

	Materials/fuels		
Electricity production, hard coal — APOS, U	0,01048557	kWh	
Electricity production, heat and power co-generation, diesel, 200kW electrical — APOS, U	0,07503105	kWh	
Electricity production, natural gas, combined cycle power plant — APOS, U	0,49520495	kWh	
Electricity production, oil — APOS, U	0,07032266	kWh	
Electricity production, hydro, reservoir, non-alpine region — APOS, U	0,27450244	kWh	
Electricity production, nuclear, pressure water reactor, heavy water moderated — APOS, U	0,05543921	kWh	
Electricity production, electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore — APOS, U	0,00395014	kWh	
Electricity production, electricity production, hydro, run-of-river — APOS, U	0,01314307	kWh	
Electricity production, sulfate pulp production, from softwood, bleached — APOS, U	0,00139374	kWh	
Electricity production, heat and power co-generation, biogas, gas engine — APOS, U	0,00041885	kWh	
Electricity production, ethanol production from sweet sorghum — APOS, U	7,2215E-06	kWh	
Electricity production, PV production — APOS, U	0,0001011	kWh	

C.2. LCI para el escenario 2018

	Materials/fuels		
Electricity production, hard coal — APOS, U	0,009637625	kWh	
Electricity production, heat and power co-generation, diesel, 200kW electrical — APOS, U	0,02775636	kWh	
Electricity production, natural gas, combined cycle power plant — APOS, U	0,5848111	kWh	
Electricity production, oil — APOS, U	0,01589299	kWh	
Electricity production, hydro, reservoir, non-alpine region — APOS, U	0,29059804	kWh	
Electricity production, nuclear, pressure water reactor, heavy water moderated — APOS, U	0,04693705	kWh	
Electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore — APOS, U	0,01027771	kWh	
Electricity production, hydro, run-of-river — APOS, U	0,01041591	kWh	
Electricity production, sulfate pulp production, from softwood, bleached — APOS, U	0,00183297	kWh	
Electricity production, heat and power co-generation, biogas, gas engine — APOS, U	0,00105468	kWh	
Electricity production, ethanol production from sweet sorghum — APOS, U	0	kWh	
Electricity production, PV production — APOS, U	0,00078556	kWh	

C.3. LCI para el escenario 2030 BAU

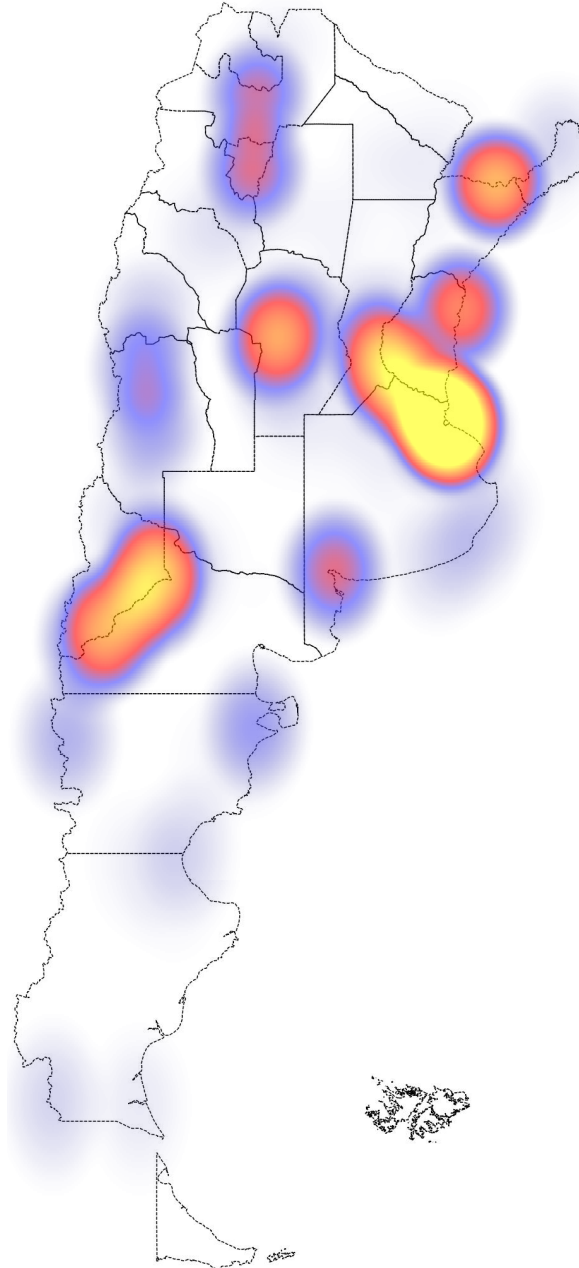
Materials/fuels			
Electricity production, hard coal — APOS, U	0,00304	kWh	
Electricity production, heat and power co-generation, diesel, 200kW electrical — APOS, U	0,0114	kWh	
Electricity production, natural gas, combined cycle power plant — APOS, U	0,361	kWh	
Electricity production, oil — APOS, U	0,00456	kWh	
Electricity production, hydro, reservoir, non-alpine region — APOS, U	0,24	kWh	
Electricity production, nuclear, pressure water reactor, heavy water moderated — APOS, U	0,13	kWh	
Electricity production, electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore — APOS, U	0,125	kWh	
Electricity production, electricity production, hydro, run-of-river — APOS, U	0,075	kWh	
Electricity production, sulfate pulp production, from softwood, bleached — APOS, U	0,02	kWh	
Electricity production, heat and power co-generation, biogas, gas engine — APOS, U	0,0175	kWh	
Electricity production, ethanol production from sweet sorghum — APOS, U	0	kWh	
Electricity production, PV production — APOS, U	0,0125	kWh	

C.4. LCI para el escenario 2030+e

Materials/fuels			
Electricity production, hard coal — APOS, U	0	kWh	
Electricity production, heat and power co-generation, diesel, 200kW electrical — APOS, U	0,0868	kWh	
Electricity production, natural gas, combined cycle power plant — APOS, U	0,2976	kWh	
Electricity production, oil — APOS, U	0,00372	kWh	
Electricity production, hydro, reservoir, non-alpine region — APOS, U	0,29	kWh	
Electricity production, nuclear, pressure water reactor, heavy water moderated — APOS, U	0,15	kWh	
Electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore — APOS, U	0,0125	kWh	
Electricity production, hydro, run-of-river — APOS, U	0,0075	kWh	
Electricity production, sulfate pulp production, from softwood, bleached — APOS, U	0,02	kWh	
Electricity production, heat and power co-generation, biogas, gas engine — APOS, U	0,0175	kWh	
Electricity production, ethanol production from sweet sorghum — APOS, U	0	kWh	
Electricity production, PV production — APOS, U	0,0125	kWh	

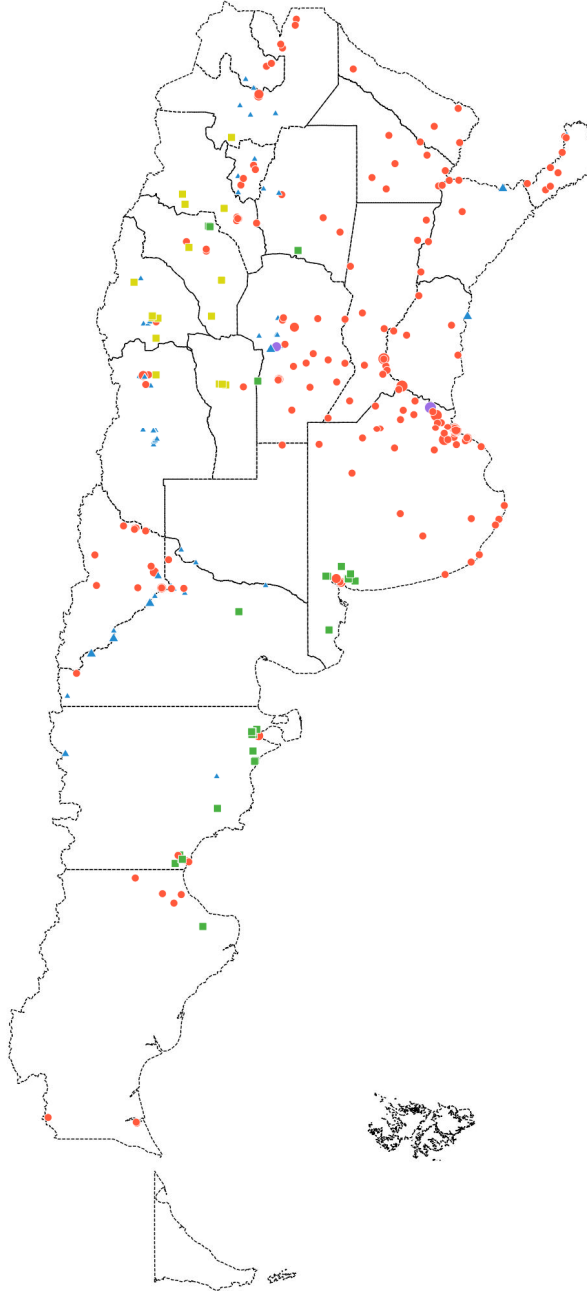
D. Mapas eléctricos

D.1. Distribución de Potencia



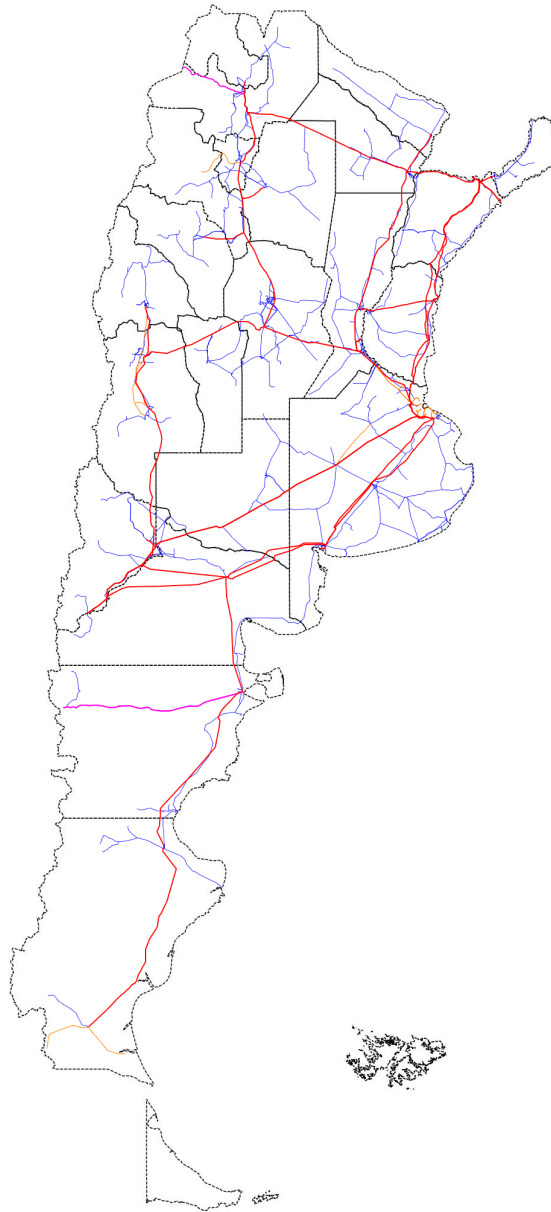
D.2. Centrales de generación eléctrica

Las centrales de generación se dividen en Térmicas(Rojo); Nuclear(Púrpura);Hidráulica(Azul); Solar(Amarillo) y Eólica(Verde).



D.3. Líneas de transporte

Las líneas de transporte se dividen en 500kV(Rojo); 345-330kV(Magenta));220kV(Anaranjado); 132kV(Azul) y 66-33kV(Negro).





POLITÉCNICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid
Tel.: 91 336 3060
info.industriales@upm.es

www.industriales.upm.es