



Ministerio
**de Industria,
Energía y Minería**



ACTIVIDADES PREPARATORIAS PARA LA ELABORACIÓN DEL PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO, SECTOR ENERGÍA - URUGUAY (NAP-E)

**INFORME N°1: SISTEMATIZACIÓN DE ANTECEDENTES SOBRE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO –
VULNERABILIDADES, MEDIDAS DE ADAPTACIÓN Y NECESIDADES DE INFORMACIÓN**

MAYO DE 2020

Actividades preparatorias para la elaboración del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, Sector Energía - Uruguay (NAP-E)

Informe N°1: Sistematización de Antecedentes sobre Adaptación al Cambio Climático – Vulnerabilidades, Medidas de Adaptación y Necesidades de Información

Mayo de 2020

Autor:

Pablo Ignacio Ferragut Varela, consultor nacional PNUD.

Revisores:

Beatriz Olivet, Alicia Torres, Federico Rehermann y Rafael Lavagna - Dirección Nacional de Energía - Ministerio de Industria, Energía y Minería.

Exoneración de Responsabilidad:

El análisis y las recomendaciones de políticas contenidos en este informe no reflejan necesariamente las opiniones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de su Junta Ejecutiva o de sus Estados miembros. Se agradece la difusión y reproducción en cualquier medio, con indicación de la fuente.

Tabla de contenido

Resumen Ejecutivo	1
1. Introducción.....	3
2. Objetivos	4
3. Metodología y antecedentes revisados	6
3.1. Limitaciones	6
3.2. Bibliografía revisada.....	6
4. Marco Conceptual	9
4.1. Definiciones básicas	9
4.2. Hacia el análisis de la vulnerabilidad climática del sistema energético nacional	12
4.2.1. La cadena de valor energética.....	12
4.2.2. Variables climáticas e hidrológicas.....	13
5. Breve resumen de los antecedentes.....	15
5.1. Documentos Académicos.....	15
5.1.1. Climate change impacts on the energy system: a review of trends and gaps (Cronin et al, 2018).....	15
5.1.2. Climate Impacts on Energy Systems - Key issues for energy sector adaptation (Ebinger y Vergara – Banco Mundial, 2011).....	17
5.1.3. Energy sector vulnerability to Climate Change: A review (Schaeffer et al, 2011)	18
5.2. Folletos o materiales de difusión de organismos internacionales.....	19
5.2.1. Climate Risk and Adaptation in the Electric Power Sector (ADB, 2012)	19
5.2.2. Adapting infrastructure to climate change (European Commission, 2013).....	20
5.2.3. Making the energy sector more resilient to climate change (IEA, 2015).....	21
5.2.4. Cambia la Energía, Cambia el Clima - Cambio climático y su impacto en el sector energético (OLADE, 2016)	23
5.2.5. Brechas de conocimiento en adaptación al cambio climático. Informe de Diagnóstico Uruguay (Proyecto Latinoadapta, 2018)	24
5.2.6. Cambio Climático: Implicaciones para el Sector Energético (WEC, 2014)	26
5.3. Proyectos, planes nacionales de adaptación o estudios concretos de países	27
5.3.1. US Energy Sector Vulnerabilities to Climate Change and Extreme Weather (DOE, 2013)	27
5.3.2. Informe de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energético Español - Análisis de la influencia del cambio climático en la oferta y la demanda de energía (Girardi et al., 2015).....	28
5.3.3. Anteproyecto de Plan de Adaptación al Cambio Climático en el Sector Energía de Chile (Ministerio de Energía de Chile, 2017)	31

5.3.4.	Estudio para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector energético colombiano frente al cambio climático (UPME, 2013)	33
6.	Primera aproximación a las vulnerabilidades del sector energético uruguayo ante el cambio climático	35
6.1.	Matriz Energética uruguaya	35
6.2.	Combustibles (biomasa, petróleo y derivados y gas natural)	36
6.2.1.	Biomasa	36
6.2.2.	Petróleo y derivados	37
6.2.3.	Gas Natural	38
6.3.	Sector Eléctrico.....	40
6.3.1.	Generación	40
6.3.2.	Trasmisión y Distribución	42
6.3.3.	Consumo.....	43
6.4.	Energía, comercio exterior y balanza comercial	45
6.5.	Una mirada hacia adelante del sistema energético uruguayo.....	46
6.6.	Vulnerabilidades del sector energético.....	48
6.6.1.	Impactos de sobre los recursos energéticos.....	48
6.6.2.	Impacto sobre la tecnología, los procesos o la infraestructura	50
6.6.3.	Transporte y distribución de energía	51
6.6.4.	Demanda de energía	52
6.6.5.	Otras Energías	52
6.6.6.	Eventos extremos.....	53
6.6.7.	Severidad de los impactos.....	54
6.6.8.	Cuadro resumen de vulnerabilidades e impactos de las variables hídricas y climáticas sobre el sector energético.....	55
6.6.9.	Cuadro resumen de los impactos de eventos extremos sobre el sector energético	56
7.	Análisis de las medidas de adaptación del sector energético	57
7.1.	El marco general de las medidas de adaptación.....	58
7.1.1.	Assessment Report nº 5 (IPCC, 2014)	58
7.1.2.	Ebinger y Vergara (Banco Mundial, 2011).....	59
7.1.3.	Adapting infrastructure to climate change (European Commission, 2013).....	61
7.1.4.	Energy and Climate Change Adaptation in Developing Countries (EUEI PDF / GIZ. 2017). 61	
7.1.5.	Tipos de medida: Opciones No-regret, low-regret, win-win y la dificultad para la priorización de las medidas.....	62
7.2.	Abordaje de las medidas de adaptación en los planes o proyectos de planes de adaptación de EEUU, Colombia, España y Chile	63

7.2.1.	EEUU.....	63
7.2.2.	Colombia	63
7.2.3.	España	64
7.2.4.	Chile.....	64
7.3.	Rasgos comunes de los planes de adaptación	66
8.	Hacia una hoja de ruta para la elaboración del NAP-E.....	67
	Bibliografía y fuentes consultadas.....	69
	Anexo I: Glosario de Siglas y Acrónimos	73
	Anexo 2: Tablas de Vulnerabilidad	74
	Anexo 3: Tablas de Medidas de Adaptación.....	83

Resumen Ejecutivo

El presente documento se desarrolla en el marco de las actividades preparatorias para la elaboración del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del sector energía en Uruguay (NAP-E) y representa el primer producto de la consultoría temprana contratada a través de la oficina Uruguay del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Tiene como principal cometido sistematizar los antecedentes existentes en la bibliografía internacional sobre el tema con el fin de alcanzar el estado del arte en términos de vulnerabilidades del sector energético ante el cambio climático, medidas de adaptación propuestas en otros países y la información utilizada, procurando así identificar las brechas existentes y delinear una hoja de ruta para la elaboración del NAP-E Uruguay.

Para alcanzar dicho cometido, se hace una revisión bibliográfica, incluyendo artículos académicos, publicaciones y folletos de organismos internacionales, estudios de vulnerabilidad específicos y proyectos o planes de adaptación de países seleccionados, así como también los antecedentes nacionales sobre el tema.

Entre los principales resultados, se encuentra una primera aproximación a las vulnerabilidades del sector energético uruguayo ante el Cambio Climático, un compendio de las estrategias de adaptación de algunos países seleccionados, un análisis de la información requerida para la elaboración de un plan de adaptación y, por último, una enumeración de algunos aspectos necesarios a considerar en la elaboración de la hoja de ruta del NAP-E.

1. Introducción

El sector energético puede ser afectado de muchas maneras por las condiciones cambiantes del clima, favorablemente o en su perjuicio. Aunque los impactos en el suministro energético y la demanda son los más inmediatos, el Cambio Climático puede también afectar varios otros aspectos del sector energético, tales como el transporte de energía y la infraestructura, o tener efectos indirectos a través de otros sectores económicos (Schaeffer et al, 2011).

El Cambio Climático se debe principalmente a la alteración de la atmósfera terrestre debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), generadas principalmente de forma directa o indirecta por la actividad humana. La producción, el uso y la quema de combustibles fósiles con fines energéticos son algunos de los principales contribuyentes a dicha alteración, en particular por la emisión de CO₂ y CH₄.

El Acuerdo de París, establecido durante la vigesimoprimer Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) en 2015 y firmado por más de 190 países, establece en su artículo segundo que se debe “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”. Lograr este objetivo implica transformaciones profundas, particularmente en el sector energético.

El Acuerdo de París fue ratificado en Uruguay por la Ley Número 19.439 del 11 de octubre de 2016¹. En el marco de los compromisos asumidos a raíz de dicho Acuerdo, se estableció en la Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés), presentada ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en 2017 y aprobada por el decreto del Poder Ejecutivo 310/017, el compromiso de implementar al 2025 el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático para el sector energía (NAP-E). Este trabajo se enmarca dentro de la Política Nacional de Cambio Climático y va en línea con otros esfuerzos que ya se vienen realizando en nuestro país tales como el Plan Nacional de Adaptación Agropecuario, el Plan Nacional de Adaptación en Ciudades e Infraestructuras, el Plan Nacional de Adaptación Costera, y el Plan Nacional de Adaptación de Salud.

Si bien la contribución de Uruguay al Cambio Climático, en términos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), es mínima en relación a las emisiones mundiales, el país ha aportado en la reducción de las mismas, así como profundizado en la adaptación y resiliencia. En los últimos años se lograron avances en mitigación, impulsados entre otros factores, por la transformación hacia una matriz energética con mayor componente de recursos energéticos renovables. Sin embargo, los impactos del Cambio Climático y las vulnerabilidades de los sectores energéticos son independientes de la contribución anual o histórica de emisiones GEI de un país. En otras palabras, un país podría generar un alto nivel de emisiones y no verse afectado de forma proporcional, así como también un país con un bajo nivel de emisiones puede verse muy afectado. Los países insulares son un ejemplo arquetípico de esta realidad, viéndose afectados principal y dramáticamente por la subida del nivel del mar.

¹ Política Nacional de Cambio Climático (p.6) <https://www.gub.uy/ministerio-vivienda-ordenamiento-territorial-medio-ambiente/politicas-y-gestion/politica-nacional-cambio-climatico>

Simplemente con el afán de ilustrar los impactos que ya se están experimentando en Uruguay, es relevante citar el estudio realizado por Barreiro, Arizmendi y Trinchín (2019)² que muestra que las temperaturas medias en Uruguay aumentaron aproximadamente 0,8 °C si se comparan las medias observadas entre 1961-1980 y 1995-2015. Por lo tanto, más allá de los esfuerzos que se realizan en mitigación, resulta imprescindible comprender los impactos del cambio climático sobre el sector energético, de forma de anticiparse a los mismos tomando diferentes acciones de adaptación a los cambios esperados, en procura de lograr un sistema energético más resiliente y sostenible que garantice el suministro de calidad a todos los usuarios.

El presente documento se desarrolla en el marco de las actividades preparatorias para la elaboración del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del sector energía en Uruguay (NAP-E) y representa el primer producto de la consultoría temprana contratada a través de la oficina Uruguay del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Tiene como principal cometido sistematizar los antecedentes existentes en la bibliografía internacional sobre el tema con el fin de alcanzar el estado del arte en términos de vulnerabilidades del sector energético ante el cambio climático, medidas de adaptación propuestas en otros países y la información utilizada, procurando así identificar las brechas existentes y delinear una hoja de ruta para la elaboración del NAP-E Uruguay.

Para alcanzar dicho cometido, se hace una revisión bibliográfica, incluyendo artículos académicos, publicaciones y folletos de organismos internacionales, estudios de vulnerabilidad específicos y proyectos o planes de adaptación de países seleccionados, así como también los antecedentes nacionales sobre el tema. En la lectura de dichos documentos se pone especial énfasis en la identificación de las vulnerabilidades, en la propuesta de las medidas de adaptación y en la información utilizada.

El documento se organiza de la siguiente forma: en la sección 3 se presentan los Objetivos, en la sección 4 la Metodología y los antecedentes revisados, en la sección 5 se desarrolla el Marco Conceptual, en la sección 6 se analiza con mayor nivel de detalle cada uno de los antecedentes, en la sección 7 se elabora una Matriz preliminar de vulnerabilidades del sector energético uruguayo ante el cambio climático, en la sección 8 se presenta el Marco para la elaboración e implementación de medidas de adaptación y en la sección 9 se presentan las necesidades de información y una Síntesis de pasos para la elaboración del Plan de Adaptación, luego al final se encuentra la Bibliografía utilizada y los Anexos con información adicional.

2. Objetivos

El propósito principal es realizar una sistematización de la bibliografía nacional e internacional de evaluación de la vulnerabilidad del sector energético al cambio climático y procesos de planificación para la adaptación, con el fin de alcanzar el estado del arte en estas temáticas y servir como insumo para la elaboración del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, sector Energía.

² Barreiro M, Arizmendi F, Trinchín R 2019 (a). Variabilidad y cambio climático en Uruguay. Material de capacitación dirigido a Técnicos de Instituciones Nacionales. Producto realizado en el marco del Plan Nacional de Adaptación Costera y el Plan Nacional de Adaptación en Ciudades, Convenio MVOTMA – Facultad de Ciencias, 71 pp. Financiado por los proyectos PNUD-URU/16/G 34 y AECID-ARAUCLIMA 2016.

El resultado de dicho análisis permite además cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- Proponer una matriz cualitativa de las vulnerabilidades del sector energético uruguayo ante el cambio climático.
- Establecer un marco de análisis y recopilar las medidas de adaptación planeadas o en implementación en otros países.
- Determinar, a grandes rasgos, qué información climática y del sector energético es necesaria para la elaboración del Plan.
- Realizar una primera aproximación para el proceso de estructuración del NAP-E, identificando pasos y actividades clave para su elaboración.
- Servir como insumo para futuras etapas del proyecto, en particular delineando las bases de las entrevistas que se mantendrán con los principales actores del sector energético uruguayo para profundizar sobre los hallazgos de este estudio.

3. Metodología y antecedentes revisados

El trabajo realizado consiste en la revisión sistemática de antecedentes bibliográficos mediante investigación de escritorio.

La mayoría de estos antecedentes fueron provistos al consultor por el equipo de la Dirección Nacional de Energía (DNE), aunque otros fueron incorporados por el consultor en el propio proceso de investigación, dada su pertinencia para los objetivos del estudio.

En todos los casos se trata de documentos publicados en revistas arbitradas, documentos oficiales de gobiernos o documentos publicados por organismos internacionales. Más adelante se da cuenta de los documentos analizados.

En cada documento se buscó extraer información respecto a los siguientes cuatro ejes:

- Contexto, motivación y objetivos del documento
- Vulnerabilidades identificadas
- Medidas de adaptación propuestas
- Información necesaria para elaborar los planes de adaptación

Dado que son documentos muy diversos, con diferentes objetivos, no siempre es sencillo estandarizar u obtener información para estos ejes seleccionados. De todas formas se presenta en el capítulo 6 un análisis resumido y semiestructurado de cada documento analizado, dejando información con más nivel de detalle en los anexos. En todos los casos se busca extraer los análisis realizados para fuentes o tecnologías relevantes para el sistema energético uruguayo actual y esperado.

El análisis de vulnerabilidades se hace en base a bibliografía internacional y el análisis del sistema energético uruguayo en función del Balance Energético Nacional 2018 (último disponible a la fecha de realización del documento), la información provista por la Administración del Mercado Eléctrico del Uruguay (ADME) y los mapas de infraestructura elaborados por UTE y MIEM.

Para analizar el marco de elaboración de medidas de adaptación, se pone foco en los proyectos de planes de adaptación realizados por otros países (EEUU, España, Colombia y Chile).

3.1. Limitaciones

La principal limitación radica precisamente en que se trata de una investigación de escritorio, sin validación en campo, por lo que constituye una primera aproximación. La validación en campo se realizará mediante entrevistas y talleres con los principales actores de la temática y sus conclusiones se reflejarán en informes ulteriores.

Por otra parte, el abordaje de la adaptación es relativamente reciente, por lo que la bibliografía a consultar y el conocimiento desarrollado a nivel nacional e internacional sobre esta temática no es tan amplio. Dentro del sector energético, es un tema mucho menos desarrollado que la mitigación y, por su naturaleza, de mayor incertidumbre.

3.2. Bibliografía revisada

En esta sección se hace un resumen detallado de los documentos considerados. Los mismos se organizan de la siguiente forma: académicos, folletos o materiales de difusión de organismos internacionales y planes nacionales de adaptación o análisis específicos de países.

La clasificación realizada es arbitraria y responde a que, de forma genérica, cada tipo de documento busca objetivos asimilables. Los documentos académicos buscan compilar el conocimiento sobre el tema, los materiales de difusión de organismos internacionales tienen en su lógica diseminar y concientizar sobre los riesgos del cambio climático para el sector energético o, servir de base para la generación de capacidades y la toma de decisiones, mientras que los planes y proyectos de adaptación conllevan ya un análisis concreto de las vulnerabilidades y opciones de adaptación de los países en cuestión.

Los documentos que se mencionan a continuación son aquellos sobre los cuales se hace un análisis al detalle en el capítulo 6, ya que se entendió que eran los más representativos para los objetivos de este informe. Sin perjuicio de lo anterior, a lo largo del informe se utiliza puntualmente una bibliografía más extensa y fuentes de información adicionales, la cual se detalla en la sección de Bibliografía y Fuentes.

Documentos Académicos

- Cronin J., Anandarajah G., Dessens O. 2018. Climate change impacts on the energy system: a review of trends and gaps. https://www.researchgate.net/publication/326858638_Climate_change_impacts_on_the_energy_system_a_review_of_trends_and_gaps
- Ebinger J., Vergara W. 2011. *Climate Impact in Energy Systems – Key issues for energy sector adaptation*. World Bank. ISBN: 978-0-8213-8697-2 / e ISBN: 978-0-8213-8698-9 / DOI: 10.1596/978-0-8213-8697-2. https://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/E-Book_Climate%20Impacts%20on%20Energy%20Systems_BOOK_resized.pdf
- Schaeffer et al. (2011). *Energy sector vulnerability to Climate Change: A review*. https://www.researchgate.net/publication/257176174_Energy_sector_vulnerability_to_climate_change_A_review

Folletos o materiales de difusión de organismos internacionales

- Asian Development Bank (ADB). 2012. *Climate risk and adaptation in the electric power sector*. ISBN 978-92-9092-730-3 (Print), 978-92-9092-731-0 (PDF). <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/29889/climate-risks-adaptation-power-sector.pdf>
- EUEI PDF / GIZ. 2017. *Energy and Climate Change Adaptation in Developing Countries*. http://www.euei-pdf.org/sites/default/files/field_publication_file/euei_pdf_2017_energy_and_climate_change_adaptation_in_developing_countries.pdf
- International Energy Agency (IEA). 2015. *Making the energy sector more resilient to climate change*. <https://webstore.iea.org/making-the-energy-sector-more-resilient-to-climate-change>
- OLADE. 2016. *Cambio climático y su impacto en el sector energético*. <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0357.pdf>
- Rosas, F., Trimble, M., Mazzeo, N., Ciganda, A.L., Zurbriggen, C., Santos, P. (2018). *Brechas de conocimiento en adaptación al cambio climático. Informe de Diagnóstico Uruguay*. Red Regional de Cambio Climático y Toma de Decisiones. Programa UNITWIN de UNESCO, Proyecto LatinoAdapta. <http://saras-institute.org/wp-content/uploads/2019/06/Informe-Uruguay.pdf>
- University of Cambridge / World Energy Council (WEC). 2014. *Cambio Climático: Implicaciones para el sector energético - Hallazgos Claves del Quinto Informe de*

Evaluación (AR5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
<https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2014/06/Publicacion-Cambio-Climatico-implicaciones-para-el-sector-energetico-IPCCC-AR5.pdf>

Proyectos, planes nacionales de adaptación o estudios concretos de países

- Department of Energy (DOE). 2013. *US Energy Sector Vulnerability to Climate Change and Extreme Weather.*
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/07/f2/20130710-Energy-Sector-Vulnerabilities-Report.pdf>
- Girardi G., Romero J. y Linares P. 2015. *Informe de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energético Español - Análisis de la influencia del cambio climático en la oferta y la demanda de energía.* Instituto de Investigación Tecnológica de la Universidad de Comillas para la Oficina Española de Cambio Climático/Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
https://www.adaptecca.es/sites/default/files/editor_documentos/informe_adaptacion_sector_energ.pdf
- Ministerio de Energía de Chile, 2017. *Anteproyecto de Plan de Adaptación al Cambio Climático en el Sector Energía de Chile.* <http://leycambioclimatico.cl/wp-content/uploads/2019/03/Anteproyecto-de-plan-de-adaptaci%C3%B3n-al-CC-energ%C3%ADa.pdf>
- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). 2013. *Estudio para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector energético colombiano frente al cambio climático.*

4. Marco Conceptual

Se explicitan a continuación los conceptos básicos que articulan el análisis realizado en el presente trabajo. Las definiciones, salvo que se indique otra cosa, se toman textuales del glosario del Informe de Evaluación n°5 (AR5) del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) y se complementa con los demás documentos analizados en esta sistematización.

4.1. Definiciones básicas

Las primeras definiciones que debemos establecer son la de cambio climático, variabilidad climática y vulnerabilidad, que son las que orientan todo el análisis y, en función de estas, la evaluación de opciones de adaptación.

Cambio climático: Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, en su artículo 1, define el cambio climático como: “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

Variabilidad Climática: Denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa).

Vulnerabilidad: Es la propensión o predisposición de un sistema a verse afectado negativamente. La vulnerabilidad abarca una variedad de conceptos y elementos incluyendo sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación.

La vulnerabilidad es entonces una función de los impactos potenciales y la capacidad de adaptación. A su vez, los impactos potenciales son una función de la exposición y sensibilidad del sistema ante una amenaza/peligro específico. Veamos a continuación entonces estas definiciones.

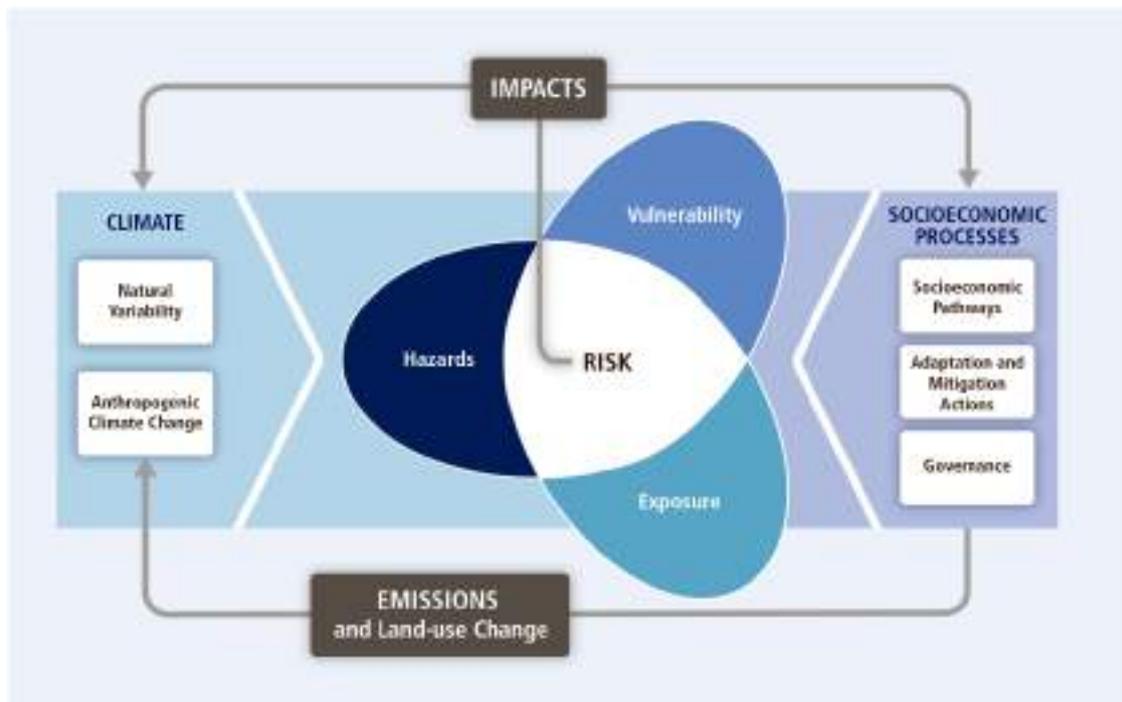
Peligro o Amenaza: Acaecimiento potencial de un suceso o tendencia físico de origen natural o humano, o un impacto físico, que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales. En el presente informe, el término peligro se refiere generalmente a sucesos o tendencias físicos relacionados con el clima o los impactos físicos de este.

Exposición: La presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente.

Impactos: Efectos en los sistemas naturales y humanos. En el presente informe, el término impactos se emplea principalmente para describir los efectos sobre los sistemas naturales y humanos de episodios meteorológicos y climáticos extremos y del cambio climático. Los impactos generalmente se refieren a efectos en las vidas, medios de subsistencia, salud, ecosistemas, economías, sociedades, culturas, servicios e infraestructuras debido a la interacción de los cambios climáticos o fenómenos climáticos peligrosos que ocurren en un lapso de tiempo específico y a la vulnerabilidad de las sociedades o los sistemas expuestos a ellos. Los impactos también se denominan consecuencias y resultados. Los impactos del cambio climático sobre los sistemas geofísicos, incluidas las crecidas, las sequías y la elevación del nivel del mar, son un subconjunto de los impactos denominados impactos físicos.

Riesgo: Consecuencias eventuales en situaciones en que algo de valor está en peligro y el desenlace es incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo se representa como la probabilidad de acaecimiento de fenómenos o tendencias peligrosos multiplicada por los impactos en caso de que ocurran tales fenómenos o tendencias. En el presente informe, este término se suele utilizar para referirse a las posibilidades, cuando el resultado es incierto, de que ocurran consecuencias adversas para la vida; los medios de subsistencia; la salud; los ecosistemas y las especies; los bienes económicos, sociales y culturales; los servicios (incluidos los servicios ambientales) y la infraestructura.

Se reproduce a continuación el esquema gráfico propuesto por el IPCC.



En pocas palabras, **el clima cambia por motivos naturales o inducidos por el ser humano y esto genera amenazas o peligros a los sistemas** (naturales y los procesos socioeconómicos), es decir, existe la posibilidad de que ocurra un impacto negativo sobre dichos sistemas. Podemos decir que los peligros o amenazas son algo intrínseco, por lo que no es algo que se pueda mitigar, lo que sí se puede mitigar es el nivel de exposición o el riesgo, precisamente mediante medidas de adaptación.

Estos sistemas (ecosistemas, poblaciones, infraestructura) se ven expuestos a dichas amenazas por sus características. Su ubicación geográfica, la utilización de los recursos, la infraestructura

construida, las características de la producción, etc. son algunos de los factores que determinan esa exposición. En función de dichas características, tendrán una mayor o menor sensibilidad ante los potenciales impactos.

A su vez la vulnerabilidad, tiene en cuenta no solamente los peligros y el nivel de exposición, sino también la capacidad de adaptación del sistema. Todo esto determinará los riesgos del cambio climático.

El riesgo entonces siempre deberá evaluarse en dos sentidos, por un lado la probabilidad de ocurrencia, es decir de que se materialice el impacto potencial y por otro la severidad de dicho impacto. Los fenómenos poco probables pero con alto impacto, así como los muy probables pero de bajo impacto son los que deberán priorizarse para su mitigación³.

Esto nos lleva a los últimos dos conceptos clave que son los de Adaptación y Resiliencia.

Adaptación: Proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos.

Mientras que la mitigación al cambio climático busca reducir la severidad y la frecuencia de las amenazas climáticas, las acciones de adaptación buscan contrarrestar un ambiente cambiante, con el fin de reducir la vulnerabilidad y la exposición.

En el sector energético es más común ver iniciativas de mitigación de emisiones que de adaptación propiamente dichas, ya que se trata de uno de los sectores que más incidencia tiene en la generación de emisiones GEI.

Resiliencia: Capacidad de un sistema socioecológico de afrontar un suceso o perturbación peligroso respondiendo o reorganizándose de modo que mantenga su función esencial, su identidad y su estructura, y conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.

A su vez, el concepto de resiliencia encierra otros tres (IEA, 2015) que es importante destacar ya que el objetivo final de todas las medidas de adaptación debe ser aumentar la resiliencia del sistema energético, reduciendo los riesgos de los impactos negativos. En tal sentido, la resiliencia será función de la robustez, la abundancia de recursos y la capacidad de recuperación del sistema.

Robustez: La habilidad de un sistema energético de soportar los eventos climáticos extremos así como también los cambios graduales y continuar operando (IEA, 2015).

Abundancia de Recursos: La habilidad de gestionar eficazmente las operaciones durante eventos climáticos extremos (IEA, 2015).

Recuperación: La habilidad de restaurar la operación a los niveles deseados de desempeño luego de la interrupción (IEA, 2015).

³ Mitigación en términos de riesgos, no de reducción de emisiones.

4.2. Hacia el análisis de la vulnerabilidad climática del sistema energético nacional

Planteadas todas las definiciones anteriores, es necesario ahora explicitar cómo se hará operativo el análisis de la vulnerabilidad climática del sistema energético uruguayo.

Si bien son muchas las características deseables de un sistema energético, podemos convenir que a grandes rasgos debe proveer energía a su sociedad de forma sostenible, equitativa y segura (WEC, 2019b).

Siguiendo al Consejo Mundial de la Energía (WEC, en sus siglas en inglés), que elabora anualmente el Informe del Trilema Energético (WEC, 2019b), el cual evalúa los sistemas energéticos de 130 países en función de esas tres dimensiones y una serie de indicadores, definimos los siguientes conceptos.

Seguridad Energética: Refleja la capacidad de una nación de satisfacer la demanda energética actual y futura, soportar y recomponerse rápidamente de los shocks al sistema con mínima disrupción en el abastecimiento.

Equidad: La habilidad de proveer acceso universal a abundantes niveles de energía para uso doméstico y comercial, a precios asequibles y justos.

Sostenibilidad Ambiental: Representa la transición del sistema energético de un país para mitigar o evitar el daño ambiental potencial y los impactos del cambio climático.

Además de resaltar la complejidad y criticidad de los sistemas energéticos, es fácil ver que el cambio climático puede afectar negativamente estas tres dimensiones. Por otra parte, si bien puede quedar implícito en el concepto de sostenibilidad, es importante destacar la característica de resiliencia de los sistemas energéticos, principalmente ante eventos extremos.

4.2.1. La cadena de valor energética

Fuentes primarias, tecnologías de conversión, infraestructura, logística y demanda

Todo sistema energético está compuesto por recursos (portadores primarios), infraestructura y tecnología (convertidores) capaces de convertir esa energía contenida en los recursos o fuentes energéticas en energía útil para el consumo humano.

Es importante destacar que los impactos del cambio climático pueden recaer sobre cualquiera de estos tres componentes, pero que las opciones de adaptación serán bien diferentes y por eso es siempre importante distinguirlos. Por ejemplo, una ola de calor puede reducir los recursos hidráulicos para la generación hidroeléctrica, reducir la cantidad de agua para el enfriamiento de las unidades de producción de energía térmica o refinación de petróleo y, a su vez, aumentar la demanda energética para acondicionamiento térmico.

La distinción hecha anteriormente, basada en la conceptualización de Vaclav Smil⁴, es tomada de forma muy similar por Ebinger y Vergara (BM, 2011) en su estudio fundacional sobre el tema, distinguiendo la dotación de recursos energéticos primarios (portadores primarios) y el suministro de energía, entendido de forma un poco más amplia como la tecnología, la infraestructura y la logística para llevar la energía producida a los puntos de consumo. Del otro lado, siempre tendremos la demanda energética.

⁴Tomado principalmente de Smil (2010): EnergyTransitions. History, requirements, prospects.

Los recursos energéticos primarios son todos recursos naturales, pudiendo ser de origen fósil (ej. petróleo, gas natural, carbón), mineral (ej. uranio) o renovables (ej. recursos eólicos, radiación solar, agua, biomasa, etc.). Es importante en este punto la distinción hecha precisamente por Ebinger y Vergara (BM, 2011), en que la dotación de recursos fósiles pueden ser considerados un stock energético, mientras que la dotación de recursos renovables de energía se refieren a un flujo íntimamente relacionado con los parámetros climáticos. Es claro entonces que las energías renovables son más sensibles a la variabilidad climática, precisamente, porque ésta afecta directamente a la fuente energética, a los portadores primarios, que luego convierten en energía útil. En el caso de los recursos fósiles, los mismos son relativamente inelásticos a la variabilidad climática, viéndose afectada no la disponibilidad física del recurso en el subsuelo o superficie terrestre, sino el acceso a los mismos, el costo, la infraestructura, los procesos de producción, o su transporte y distribución.

4.2.2. Variables climáticas e hidrológicas

La Organización Meteorológica Internacional define como variables climáticas esenciales (ECV) a aquellas variables físicas, químicas o biológicas, o a un grupo de variables relacionadas que contribuye críticamente a la caracterización del clima en la Tierra⁵. Establece además más de 50 variables críticas, clasificadas según si son variables atmosféricas, terrestres o relacionadas a los océanos.

Siguiendo a Ebinger y Vergara (2011), se citan a continuación, a modo de ejemplo y sin ser exhaustivos, una serie de variables hidrológicas y climáticas relevantes para el sector energético:

- Temperatura del aire
- Precipitaciones
- Disponibilidad de agua y caudal de los ríos
- Velocidad y dirección del viento
- Radiación solar / nubosidad
- Oleaje (altura y frecuencia)
- Nivel del mar
- Ocurrencia e intensidad de fenómenos extremos

En el capítulo correspondiente se analizará la interacción entre estas variables y el sistema energético.

A los efectos del análisis, es necesario distinguir la evolución gradual de las variables climáticas a lo largo del tiempo (aumento los valores promedio y su distribución de probabilidades), ya sea como consecuencia del cambio climático natural o antropogénico, del análisis de los fenómenos climáticos extremos.

El IPCC define los fenómenos climáticos o meteorológicos extremos como fenómenos excepcionales en un determinado lugar y época del año (...) la excepcionalidad habitual de un fenómeno meteorológico extremo sería igual o superior a los percentiles 10 o 90 de la estimación de la función de densidad de probabilidad observada. Por definición, las características de un fenómeno meteorológico extremo pueden variar de un lugar a otro en sentido absoluto. Una configuración extrema del tiempo puede clasificarse como fenómeno meteorológico extremo cuando persiste durante cierto tiempo (p. ej., una estación),

⁵<https://public.wmo.int/en/programmes/global-climate-observing-system/essential-climate-variables>

especialmente si sus valores promediados o totales son extremos (p. ej., sequía o precipitación intensa a lo largo de una temporada) (IPCC, 2014b)

Entre los principales fenómenos para nuestro país se identifican:

- Inundaciones
- Olas de calor
- Sequías
- Olas de frío
- Vientos extremos
- Tormentas
- Precipitaciones extremas
- Tormentas eléctricas y granizo
- Incendios forestales

En síntesis tenemos variables climáticas que se verán modificadas a lo largo del tiempo a raíz del Cambio Climático natural y antropogénico.

Dichas variables podrían impactar al sistema energético, al menos, de cuatro formas diferentes:

1. Impacto en la disponibilidad y el acceso a los recursos energéticos y el potencial conflicto por los recursos con otras actividades como la producción de alimentos o el consumo humano
2. Impacto en la eficiencia de los procesos de producción de energía
3. Impactos en la infraestructura de abastecimiento energético
4. Impactos en la demanda energética

La forma en que impactarán será función de las amenazas intrínsecas del sistema climático sobre el energético, el grado de exposición de dicho sistema energético a las amenazas, la capacidad de adaptación y el riesgo resultante.

El análisis de estos riesgos debe ser parte de la planificación energética y el objetivo final de todas las medidas de adaptación debe ser aumentar la resiliencia del sistema energético, de forma de seguir abasteciendo a la población, brindando acceso de calidad a la energía.

5. Breve resumen de los antecedentes

El listado de documentos y su clasificación puede consultarse en la sección 4 “Metodología y antecedentes revisados”

5.1. Documentos Académicos

5.1.1. Climate change impacts on the energy system: a review of trends and gaps (Cronin et al, 2018)

Jennifer Cronin, Gabriel Anandarajah y Olivier Dessens

El artículo hace una revisión bibliográfica sobre los artículos académicos, publicados en revistas arbitradas, que estudian algún impacto de los efectos físicos del cambio climático en uno o más elementos del sistema de suministro energético.

Realiza una estadística de cuáles son las variables climáticas y potenciales impactos estudiados por tecnología, lo que nos orienta hacia cuáles son las vulnerabilidades más relevantes de cada una de ellas. Se reproduce el cuadro debajo.

Revisa además la evidencia para ver si existe acuerdo o no en las conclusiones, pero los estudios son muy diversos en su alcance como para poder extraer conclusiones generales, además, los estudios sobre clima son altamente dependientes de su modelización. De todas formas plantea que hay más acuerdo en los estudios sobre energía eólica, solar y generación termoeléctrica, siendo más diversas las conclusiones sobre hidroenergía o biomasa, aunque existen grandes brechas de información.

Además de realizar un cuadro resumen de los impactos estudiados en cada recurso/tecnología de generación, lo cual sirve para identificar los impactos del cambio climático en el sistema energético que son reconocidos en la literatura internacional, extrae las siguientes conclusiones:

- El sistema energético se ve afectado por la variabilidad de las condiciones climáticas promedio, así como la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos.
- Los estudios de impacto sobre los recursos eólicos e hídricos dominan la literatura, seguidos por la bioenergía y el desempeño de las centrales termo-eléctricas. Hay mayores brechas de información en el recurso solar.
- En cuanto a las tendencias, en general no hay acuerdo en la cuantificación de los efectos, principalmente porque los mismos dependen fuertemente de la modelización y supuestos elegidos.
- Existe una limitada capacidad para capturar los eventos extremos con las herramientas de modelización actuales.
- Los impactos han sido mucho menos estudiados en los países en desarrollo y existe un alto nivel de incertidumbre sobre las proyecciones.

Como se puede apreciar en el cuadro, las variables consideradas fueron: temperatura, precipitaciones, viento y nubosidad, tanto en su promedio como en la variabilidad. En cuanto a fenómenos extremos analiza las olas de calor y sequías, los vientos extremos y las precipitaciones extremas e inundaciones. Del lado de las tecnologías, plantea el estudio en función del impacto en los recursos o en el diseño y operaciones, lo que en nuestro marco conceptual determinamos impactos sobre la infraestructura o los procesos.

Table 1 Summary of impacts literature

System element		#Papers	Temperature		Precipitation		Windiness		Cloudiness Δ Avg and Var	Heatwaves and droughts Δ Freq. and intensity	Extreme winds Δ Freq. and intensity	Extreme precipitation and floods Δ Freq. and intensity
			Δ Avg	Δ Var	Δ Avg	Δ Var	Δ Avg	Δ Var				
Hydro	Resources	11	XX	XX	XX	XX				x		XX
	Design/operations	8				XX				x		XX
Wind	Resources	14					XX	XX			XX	
	Design/operations	4					XX				XX	
Solar	Resources	5							XX	x	x	
	Design/operations	1	XX		x		x					
Wave	Resources	4					XX	XX				
	Design/operations	0										
Bioenergy	Resources	20	XX	XX	XX	XX				XX	XX	x
	Design/operations	0	x		x					x	x	x
Fossil/nuclear fuels	Resources	0										
	Design/operations	7	XX		XX							
TPPs	Efficiency	11	XX	XX	XX	XX				XX		
	Operations	1										
Transmission and pipelines	Efficiency	2	XX					XX		x	XX	XX
	Damage	2						XX			XX	x

XX indicates that at least one quantitative study was found examining the impact of this climatic parameter on this element of the energy system, x indicates that this impact is mentioned, but no quantitative studies were found. #Papers indicates the numbers of reviewed papers which include a quantitative study of impacts on each element of the energy system. Note, these sum to more than the total papers (108) as several examine more than one impact. Avg refers to changes in mean values; Var refers to seasonal and inter-annual variation and changes in seasonality.

5.1.2. Climate Impacts on Energy Systems - Key issues for energy sector adaptation (Ebinger y Vergara – Banco Mundial, 2011)

El informe fue desarrollado por el Programa de Asistencia a la Gestión del Sector Energético (ESMAP, por sus siglas en inglés) y el grupo global de expertos para la adaptación del Banco Mundial.

El mismo está basado en publicaciones revisadas por pares y busca ser un compendio del conocimiento sobre la variabilidad climática, las tendencias proyectadas y sus impactos en la provisión y demanda energética. Discute además las prácticas emergentes para gestionar sus impactos e integrar las consideraciones climáticas en los procesos de planificación, en un marco de incertidumbre.

El documento presenta una visión general de cómo el sector energético podría ser impactado por el cambio climático y aporta un marco de análisis para los impactos e interrelaciones entre variables climáticas y sector energía, estableciendo varias matrices cualitativas que enumeran dichos impactos.

Entre los principales mensajes plantea que los servicios energéticos se verán cada vez más afectados por el cambio climático por lo que la adaptación debe ser pensada dentro del marco de los riesgos del negocio, y que el conocimiento sobre la temática está aún en etapa incipiente, ya que las necesidades de información son complejas y muy específicas de cada región.

Entre los principales aportes del documento se encuentra la identificación detallada de las vulnerabilidades para cada fuente energética, tecnología de conversión y demanda, así como también el marco para el análisis de las mismas. A su vez propone algunas orientaciones para la elaboración de indicadores de adaptación, establece recomendaciones para la elaboración de medidas de adaptación y las necesidades de información.

Es un documento emblemático sobre la temática, el cual es citado por casi todos los documentos desarrollados posteriormente y analizados en esta sistematización. Se reproducen en el anexo el cuadro planteado por los autores sobre vulnerabilidades. En este caso los impactos se analizan por tecnología (hidroelectricidad, solar fotovoltaica, etc.), abriendo por impactos en la dotación de recursos, en el suministro energético, en la transmisión y distribución, en el diseño y las operaciones (infraestructura y eficiencia de la tecnología), en la demanda, y por último los impactos transversales, los cuales implican la competencia por los recursos para usos alternativos, principalmente el agua. Los impactos se analizan en tres niveles, reconociéndose impactos climáticos genéricos, específicos y adicionales. Los genéricos se refieren a la variable que se analizará y que puede ser afectada por el cambio climático (ej. características de los vientos, disponibilidad de agua), los específicos se refieren a las afectaciones concretas que dichas variables tienen sobre la tecnología considerada y los adicionales son otros impactos generados que si bien pueden ser de relevancia, es de esperar que sean menos significativos que los impactos específicos. El cuadro presentado en el anexo resulta mucho más ilustrativo.

También aporta un marco de análisis para la adaptación y la información necesaria para la elaboración de un Plan de Adaptación. Dada su estructura, constituye una de las bases fundamentales del análisis realizado en este documento.

5.1.3. Energy sector vulnerability to Climate Change: A review (Schaeffer et al, 2011)

Autores: Roberto Schaeffer, Alexandre Salem Szklo, André Frossard Pereira de Lucena, Bruno Soares Moreira, Cesar Borba, Larissa Pinheiro, Pupo Nogueira, Fernanda Pereira Fleming, Alberto Troccoli, Mike Harrison, Mohammed Sadeck Boulahya⁶.

El artículo resume algunas contribuciones académicas realizadas por sus autores en diferentes ámbitos (foros, conferencias, etc.). Presenta una revisión de los impactos que el cambio climático puede tener a lo largo de toda la cadena de valor de la energía e identifica las brechas de conocimiento actuales y áreas de investigación futura. Es una revisión bibliográfica bien extensa que permite acercarnos al estado del arte del conocimiento al momento de emisión del artículo. La identificación de los impactos la hacen en función de la cadena de valor energética, separándola en tres etapas: recursos energéticos, conversión y transporte y consumo final.

Analiza los siguientes recursos energéticos: hidroenergía, energía eólica, biocombustibles, energía solar, energía del mar, petróleo, gas natural y carbón. En la etapa de conversión adiciona la generación térmica y la refinación, ya que el análisis del rendimiento de las tecnologías de conversión de fuentes renovables está precisamente muy vinculada a la disponibilidad del recurso (ver cuadro resumen en los anexos).

Además de los impactos directos en el sector energía, pone énfasis en los impactos indirectos y transversales del cambio climático, que pueden generar conflictos por el uso de los recursos. En particular se refiere a la competencia por el agua (para consumo humano, animal, irrigación, producción de alimentos) y por el uso del suelo, este último bien relevante fundamentalmente para la biomasa y el impacto en las cuencas hídricas.

El artículo no profundiza en las medidas de adaptación, solamente menciona el tema del “siting” (ubicación de las infraestructuras) pero no es su preocupación ni hace ninguna enumeración ni propuesta de medidas.

Table 2
Summary of climate change impacts on energy systems and corresponding literature

Energy sector	Climate variables	Related impacts	Energy sector studies
Thermoelectric power generation (natural gas, coal and nuclear)	Air/water temperature Air/water temperature, wind and humidity Extreme weather events	Cooling water quantity and quality Cooling efficiency and turbine operational efficiency	[3,58,65]
Oil and Gas	Extreme weather events Extreme weather events, air/water temperature, flooding Extreme weather events, flooding, air temperature Extreme weather events Flooding, extreme weather events, and air/water temperature	Erosion in surface mining Disruptions of offshore extraction Disruptions of on-shore extraction Disruptions of production transfer and transport Disruption of input operation Downing of refineries Cooling water quantity and quality in oil refineries	[15,39]
Biomass	Air temperature, precipitation, humidity Extreme weather events Carbon dioxide levels	Availability and distribution of land with suitable edaphoclimatic conditions (agricultural zoning) Desertification Biomass crop yield	[7,24–26,94]
Hydropower	Air temperature, precipitation, extreme weather events	Total and seasonal water availability (below in plant's reservoir) Dry spells Changes in hydropower system operation Evaporation from reservoirs	[7,17,19,25,38,39,95–99]
Demand	Air temperature, precipitation	Increase in demand for air conditioning during the summer Decrease in demand for heating during the winter Increase in energy demand for irrigation	See Table 3
Wind Power	Wind and extreme weather events	Changes in wind resource (intensity and duration), changes in wind stress, damage from extreme weather	[17,33,31,40–47]
Solar Energy	Air temperature, humidity and precipitation	Insolation change (cloud formation) Decrease in efficiency due to decrease in radiation Decrease in efficiency due to ambient conditions	[7]
Geothermal Wave Energy	Air/water temperature Wind and extreme weather events	Cooling efficiency Changes in wave structure	— [31]

⁶ Académicos de la UFRJ (Río de Janeiro), Australia, Reino Unido y Uganda, algunos de ellos son colaboradores en el estudio de Ebinger y Vergara publicado por el Banco Mundial.

5.2. Folletos o materiales de difusión de organismos internacionales

5.2.1. Climate Risk and Adaptation in the Electric Power Sector (ADB, 2012)

Este documento se focaliza en la generación, transmisión y distribución eléctrica y su objetivo es destacar y generar conciencia sobre la exposición y la vulnerabilidad del sector al cambio climático. A su vez, discute las opciones de adaptación disponibles para cada fuente y para el resto de la cadena de valor eléctrica.

En el documento se construye una matriz de vulnerabilidad, similar a la creada por la Comisión Europea (European Commission, 2013) en la que establecen un grado de severidad de los impactos potenciales para cada fuente/tecnología de generación, así como también para el transporte y el consumo final. La temperatura del aire, del agua, la disponibilidad de agua, la velocidad del viento, el aumento del nivel del mar, las inundaciones, las olas de calor y las tormentas son los fenómenos analizados.

Table E1 Indicative Impacts of Climate Change on Electricity Generation, Transmission and End Use

Technology	Δ Air Temp	Δ Water Temp	Δ Water Availability	Δ Wind Speed	Δ Sea Level	Floods	Heat Waves	Storms
Coal	1	2	1-3	-	-	3	1	-
Oil	1	2	1-3	-	-	3	1	1
Natural gas	1	2	1-3	-	-	3	1	1
Nuclear	1	2	1-3	-	2a	3	1	-
Hydropower	-	-	1-3	-	-	3	-	1
Wind	-	-	-	1-3	3a	1	-	1-3
Photovoltaic	1	-	-	1	-	1	1	1
CSP/Solar tracking	-	-	2	2	-	1	1	2
Biomass/Biofuel	1	2	2	-	3a	3	1	-
Geothermal	-	1	-	-	-	1	-	-
Ocean	-	1	-	-	1	NA	-	3
T&D grids	3	-	-	1	3a	1-2	1	2-3
End use	2	-	-	-	-	-	3	-

CSP = concentrating solar power, Δ = change in, T&D = transmission and distribution
 + Higher severity in coastal or low-lying areas.
 Notes: 3 = severe impact, 2 = medium impact, 1 = limited impact, - = no significant impact, NA = not applicable
 Source: Modified and expanded from European Commission, 2010, Investment needs for future adaptation measures in EU/nuclear power plants and other electricity generating technologies due to effects of climate change. Final report, European Commission Directorate-General for Energy Report EUR 24762.

Uno de los principales aportes es, además de esta matriz, el análisis detallado de los impactos para cada fuente/tecnología de generación, la transmisión, la distribución y el consumo y las propuestas de medidas de adaptación, elaborando matrices cualitativas para cada tecnología. El análisis lo realiza identificando la variable climática considerada, los componentes físicos que impacta, los impactos clave y proporciona algunos ejemplos de opciones de adaptación. El análisis no distingue de forma tan clara la consideración de las variables climáticas y los fenómenos extremos. Se reproducen en el anexo los cuadros de las tecnologías que se consideraron relevantes para Uruguay.

En cuanto a las medidas de adaptación, las separa en dos tipos: ingenieriles y no ingenieriles, y pone ejemplos de cada una de ellas para cada tecnología. En cuanto a las medidas ingenieriles, en general implican obra civil o modificaciones en planta (relocación, construcción de defensas, cambios en los procesos, en maquinaria y equipo), mientras que las no ingenieriles se centran principalmente en la optimización de la gestión (adopción de estándares operativos más exigentes, etc.).

5.2.2. Adapting infrastructure to climate change (European Commission, 2013)

“An EU strategy for adaptation to climate change” - Communication from the commission to the European Parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions.

El documento es una contribución de la Unión Europea al tema adaptación al Cambio Climático en los sectores energía, infraestructura de transporte y edificios, los cuales fueron los priorizados por la UE en el *White Paper* sobre adaptación el cambio climático emitido en 2009. El artículo discute a su vez los instrumentos y el financiamiento provisto por la UE para hacer la infraestructura europea más resiliente al cambio climático.

Un aspecto interesante del documento es que establece una matriz de severidad de los impactos del cambio climático sobre cada tecnología y fuente energética. Esta matriz es similar a la que aporta el documento del Banco Asiático para el Desarrollo (ADB, 2012). Por otra parte, aporta un detalle de los principales impactos sobre la infraestructura de transmisión y distribución, así como de las tecnologías de generación hidroeléctrica, térmica y solar fotovoltaica.

Si bien en el documento se reconoce que la adaptación de la infraestructura es una cuestión nacional, menciona algunos instrumentos técnicos y de financiamiento a través de los cuales la UE puede apoyar a la resiliencia de la infraestructura. Entre los técnicos destacan los estándares técnicos de referencia (Eurocodes), la inclusión de los aspectos de cambio climático en las evaluaciones de impacto ambiental, las guías técnicas como el marco para la evaluación y gestión de riesgos de inundaciones y la Guía para gestores de proyectos⁷. En cuanto a los instrumentos de financiamiento, destaca la capacidad de influir y favorecer inversiones desde el Banco de Inversión Europeo (EIB por sus siglas en inglés), el rol de las aseguradoras y del sector privado en su necesidad de proteger el valor de sus inversiones y las oportunidades de negocio que surgen debido a los proyectos de adaptación.

Technology	Δ air temp.	Δ water temp.	Δ precip.	Δ wind speeds	Δ sea level	flood	heat waves	storms
Nuclear	1	2				3	1	
Hydro			2			3		1
Wind onshore				1				1
Wind offshore				1	3			1
Biomass	1	2				3	1	
PV							1	1
CSP						1		1
Geothermal						1		
Natural gas	1	2				3	1	
Coal	1	2				3	1	
Oil	1	2				3	1	
Grids	3					1	1	3

Note: 3 = severe impact, 2 = medium impact, 1 = small impact. A detailed assessment of relevant climate impacts on energy infrastructure is presented in annex 2.

⁷ Guidelines for project managers: Making vulnerable investment climate resilient
https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/adaptation/what/docs/swd_2013_137_en.pdf

5.2.3. Making the energy sector more resilient to climate change (IEA, 2015)

Es un folleto que se deriva de la COP21 (París) y hace una introducción conceptual de las amenazas que el Cambio Climático genera para el sector energético, poniendo énfasis en el concepto de resiliencia. El documento gira en torno a las siguientes preguntas:

- ¿Debe preocuparse el sector energético por los impactos del Cambio Climático?
- ¿Qué impactos climáticos presentan las mayores preocupaciones para el suministro de electricidad y combustibles?
- ¿Quién está en la primera línea de la construcción de la resiliencia energética?
- ¿Por qué los gobiernos deben involucrarse?

Define la **resiliencia** como la capacidad del sistema energético o de sus componentes de lidiar con eventos o tendencias amenazantes, respondiendo de forma de mantener su funcionalidad, identidad y estructura esencial, manteniendo a su vez la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.

Plantea tres conceptos fundamentales para que un sistema sea resiliente:

1. **Robustez:** La habilidad de un sistema energético de soportar los eventos climáticos extremos así como también los cambios graduales
2. **Abundancia de Recursos:** La habilidad de gestionar efectivamente las operaciones durante los eventos climáticos extremos
3. **Recuperación:** La habilidad de restaurar las operaciones al nivel deseado de desempeño luego de una interrupción

Además define **adaptación** como el proceso de ajuste de todos los componentes del sistema energético al clima actual o esperado y sus efectos.

Si bien toma tanto los cambios graduales como los eventos extremos, tiene mucho más foco en estos últimos.

Mensajes clave:

- El sector energético debe identificar y evaluar cómo los impactos del cambio climático pueden interrumpir el suministro, alterar los patrones de demanda o dañar la infraestructura.
- El sector empresarial es un actor clave en el diseño e implementación de prácticas adaptativas y de medidas que construyan resiliencia.
- Los gobiernos deben promover las acciones que construyan resiliencia, así como también juegan un rol en la implementación, tanto de la respuesta a las emergencias como en la gestión de sus propios activos.

Identifica los principales impactos sobre el sector energético, basados en los informes del IPCC, pero sin profundizar ya que el objetivo es la diseminación y la concientización sobre la problemática.

- **Eventos climáticos extremos:** tormentas, incendios forestales, deslaves de tierra, inundaciones y temperaturas extremas.
- **Disponibilidad de agua:** Menor cantidad de agua por el aumento de las temperaturas y mayor demanda por el aumento demográfico reduce la disponibilidad de agua para

hidroenergía, bioenergía, algunos sistemas de generación solar, así como la operación de centrales termoeléctricas.

- **Temperaturas inusuales:** Pueden afectar los patrones de demanda de energía (ej. mayor necesidad de refrigeración eléctrica y menor necesidad de combustibles para calefacción).
- **Aumento del nivel del mar:** Puede afectar las infraestructuras costeras y offshore.
- **Pérdida de permafrost⁸:** Puede afectar infraestructuras críticas de transporte en ciertas regiones.

Entre las principales medidas de adaptación menciona:

- **Medidas de gestión:** gestión de integridad de instalaciones, derechos de vía, etc. gestión de agua y gestión de la demanda.
- **Medidas tecnológicas y estructurales:** Reforzar instalaciones, incorporación de tecnologías eficientes en el uso de agua, generación distribuida, microgrids, etc.
- **Entrenamiento y educación** de los equipos de respuesta, entre otros.
- **Recuperación y abundancia de recursos** para enfrentar las crisis

En cuanto al rol de los gobiernos, recomienda el rol de establecer las condiciones e incentivos para que el sector empresarial pueda tomar medidas de adaptación. Esto implica generar y comunicar la información climática y sus tendencias, generar los planes de adaptación, realizar la coordinación institucional y establecer las alianzas y generar capacidades.

Plantea además una serie de instrumentos concretos:

- Establecer estándares de diseño, seguridad y eficiencia
- Gestionar permisos y ubicación de las infraestructuras
- Incentivos económicos
- Impulsar la Investigación y Desarrollo (I+D)

⁸ Capa del subsuelo de la corteza terrestre que se encuentra permanentemente congelada

5.2.4. Cambia la Energía, Cambia el Clima - Cambio climático y su impacto en el sector energético (OLADE, 2016)

El documento es una colaboración entre OLADE, WWF e INTI y tiene como objetivo comunicar y crear conciencia de las interrelaciones entre sector energético y cambio climático, los potenciales impactos y la necesidad de acción y, por último, la situación de Latinoamérica y el Caribe en este escenario y algunas acciones de mitigación y adaptación que se estaban tomando en ese entonces.

Presenta algunos indicadores macro de la situación a nivel global y regional, entre los que se destacan que 2/3 de las emisiones de GEI a nivel global corresponden a la producción o uso de energía. Desde el punto de vista del consumo, 1/3 de la energía corresponde al consumo industrial, 1/3 al sector transporte y otro 1/3 al consumo eléctrico. En cuanto a la región de Latinoamérica y el Caribe, la misma representa el 5% de las emisiones globales y el 40% proviene del uso y producción de energía. También plantea que en ese entonces el promedio de emisiones per cápita en LAC era un 52% menor que el promedio mundial, planteando datos por país. Por último, da una mirada hacia adelante y plantea que LAC es una región de rápido crecimiento económico (y del consumo energético) el cual estima en un 3% anual, con alta desigualdad (índice de Gini = 0,525) y niveles de pobreza del 25%. Todas estas características hacen suponer que las emisiones seguirán creciendo al menos, hasta 2070 como allí lo plantea.

En la segunda sección hace un resumen cualitativo de los impactos del cambio climático en el sector energético. El análisis lo hace separando por fuente/tecnología (hidroenergía, térmica, biomasa, nuclear, solar y eólica), enumerando sus riesgos asociados y algunas medidas de adaptación muy genéricas, simplemente con el objetivo de ejemplificar y crear conciencia.

La última parte es un llamado a la acción de todas las partes, con responsabilidades compartidas aunque diferenciadas, con un enfoque holístico que tenga en cuenta de los impactos de las medidas en las economías locales. Deja al final un decálogo de recomendaciones entre las que se destacan posicionar las áreas protegidas, promover la transición hacia energías bajas en carbono (incentivar las energías renovables, revisar los subsidios a los fósiles, desincentivar el uso del automóvil), promover la eficiencia energética, la economía circular, fomentar la transferencia de tecnología y conocimiento y fortalecer la institucionalidad. El documento, en general, tiene más foco en mitigación que en adaptación.

5.2.5. Brechas de conocimiento en adaptación al cambio climático. Informe de Diagnóstico Uruguay (Proyecto Latinoadapta, 2018)

Red Regional de Cambio Climático y Toma de Decisiones. Programa UNITWIN de UNESCO, Proyecto LatinoAdapta.

Rosas, F., Trimble, M., Mazzeo, N., Ciganda, A.L., Zurbriggen, C., Santos, P.

Este documento liderado por UNESCO y la Red Regional de Cambio Climático, coordinado por la Fundación Avina, financiado por el IDRC e implementado por SARAS, ORT y UDELAR, y tiene como objetivo identificar las brechas de información y conocimiento existentes para la elaboración e implementación de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) y los Planes Nacionales de Adaptación.

El mismo se desarrolla a partir de encuestas, entrevistas, sistematización de políticas y un taller con los tomadores de decisión de gobierno y academia. No tiene foco en el sector energético, y las únicas dos menciones que hace en el documento son el Fondo Sectorial de Energía, como una buena práctica, y que los indicadores de monitoreo y evaluación utilizados en el sector son similares a los de mitigación.

El análisis lo hace en función de cuatro ejes:

1. Disponibilidad de la información, vacíos y factores que los explican
2. Modos de producción, transferencia e integración de conocimiento
3. Apropiación y uso del conocimiento
4. Monitoreo y evaluación

En cuanto a disponibilidad, a raíz de las entrevistas, se señala que el tipo de información que presenta más problemas respecto a la disponibilidad o el acceso es el registro meteorológico histórico (o información climática histórica). Si bien, de parte de los generadores de información (INUMET) plantean que en general hay información suficiente, la misma aún no es de libre acceso y puede ser de difícil interpretación. En cuanto a las proyecciones de largo plazo, se entiende que falta información a nivel departamental es una brecha relevante. El documento menciona que en el marco de los Planes Nacionales de Adaptación, el MGAP realizó la reducción de escala de los modelos globales de proyección del cambio climático para Uruguay, para 2040 y 2070, con mirada en las variables principales (temperatura y lluvia) y también de extremos (olas de calor, días consecutivos sin precipitación, intensidad de lluvia en cada fenómeno de precipitación) y que en el NAP Costas se está trabajando con la Universidad de Cantabria y con el Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (UDELAR) están generando escenarios de largo plazo. Por otra parte menciona que la DINAGUA posee cierta información para inundaciones en algunas ciudades pero con altos niveles de incertidumbre.

En cuanto a la información de los impactos, surgió que si bien es necesaria, la misma no es suficiente, está dispersa, es sectorial y no hay metodologías consensuadas para evaluar pérdidas y daños. La información sobre costos y efectividad de las medidas tiene también muchas brechas.

Realiza una enumeración de los faltantes críticos de información identificados a través de la metodología de encuestas y entrevistas. De los faltantes identificados, el consultor considera que los más relevantes para el sector energía son la recurrencia de inundaciones futuras, el comportamiento pluviométrico extremo, las sequías y la disponibilidad de recursos hídricos. Si

bien es claro que existen carencias de información, dado que el documento no es específico para las necesidades del sector, no se puede considerar más que como una primera aproximación parcial al tema. Por ejemplo, la cuestión del recurso eólico no está considerada en el documento y es de gran relevancia para el sistema energético uruguayo. Un aspecto en el que sí pone énfasis es en la existencia de vacíos de información para la realización de análisis costo-beneficio y para evaluar la efectividad de las medidas.

Sobre apropiación y uso del conocimiento plantea que más allá de la falta de integración, para que el conocimiento sea apropiable o más accesible a los tomadores de decisión, es necesario hacer una traducción ya que suele ser de alto nivel técnico.

Referente a Monitoreo y Evaluación el documento plantea que las dos principales barreras identificadas son la carencia de indicadores y la falta de mecanismos adecuados de monitoreo de implementación de acciones de adaptación. Por otra parte establece que recién se está construyendo el sistema de indicadores y menciona que sería necesaria una discusión conceptual más de fondo acerca de cómo evaluar el tema de adaptación y que es necesario un mayor trabajo académico.

Entre los motivos que explicarían las brechas de información se mencionan lo reciente del tema, la complejidad del mismo y la falta de recursos como las principales causas de la falta de información. A su vez, la dispersión en la producción de conocimiento y la alta complejidad técnica dificulta su uso por parte de los tomadores de decisión. Por otra parte, la incertidumbre existente es otra barrera para su utilización.

Cierra con tres propuestas que buscan superar las brechas identificadas:

1. Generar plataformas que reúnan el conocimiento disperso y necesario para analizar indicadores de monitoreo del grado de adaptación de los diversos sistemas afectados por la variabilidad y el cambio climático.
2. Impulsar un espacio de diálogo continuo entre tomadores de decisión de instituciones gubernamentales y actores académicos, con el objetivo de promover y mejorar el diseño e implementación de políticas y acciones de adaptación a la variabilidad y el cambio climático, basados en conocimiento disponible o co-creado.
3. Desarrollar una plataforma de vacíos de información vinculados al cambio climático, que pueda ser alimentada por tomadores de decisión públicos, que sirva como fuente de temas de investigación para la academia y de líneas a apoyar por parte de instituciones financiadoras.

5.2.6. Cambio Climático: Implicaciones para el Sector Energético (WEC, 2014)

World Energy Council / Universidad de Cambridge

Este documento busca sintetizar los hallazgos clave del Informe de evaluación nº5 (Assessment Report nº5 o AR5 como se lo conoce habitualmente por siglas en inglés) del IPCC para el sector energía. Es parte de una serie de documentos que se lanzaron con la finalidad de socializar los hallazgos de dicho informe y facilitar su uso por parte de gobiernos y empresas, haciendo más accesible su lectura.

Resume brevemente los impactos del cambio climático sobre el sector energético, las opciones de reducción de emisiones y las acciones políticas.

Identifica de forma muy concisa y cualitativa los impactos sobre la generación térmica, el transporte de energía, la energía renovable y la nuclear. Destaca que las opciones de mitigación son la captura y el almacenamiento de carbono, aumentar la eficiencia, la transición en los combustibles y fuentes de energía y la reducción de la demanda. Por último opciones de política como los marcos regulatorios que incentiven la mitigación, la inversión en tecnología y que se establezcan los precios de carbono.

Introduce el concepto de resiliencia, aunque solo a través de ejemplos, y menciona algunas opciones generales de adaptación. De todas formas el documento pone su énfasis en la mitigación y es un documento que no profundiza el análisis ya que precisamente su foco es diseminar información global provista en el AR5.

5.3. Proyectos, planes nacionales de adaptación o estudios concretos de países

5.3.1. US Energy Sector Vulnerabilities to Climate Change and Extreme Weather (DOE, 2013)

El documento, como su título lo dice, tiene como objetivo analizar las vulnerabilidades del sector energético de EEUU ante el cambio climático y los eventos climáticos extremos, sin entrar demasiado en el tema adaptación.

El análisis se realiza en torno a tres variables fundamentales: aumento de la temperatura de aire y del agua, reducción de la disponibilidad de agua y finalmente la creciente frecuencia e intensidad de tormentas, inundaciones y el aumento del nivel del mar.

Dada la buena disponibilidad de información, logran hacer un análisis profundo, explicando cada una de las vulnerabilidades y aportando información cuantitativa específica para Estados Unidos. Además, aporta una matriz de vulnerabilidades y potenciales impactos para cada tecnología y etapa de la cadena del sector energético.

En la parte de adaptación, además de listar una serie de opciones para cada tecnología, quizás el aporte más interesante sean los criterios que proponen para priorizar las medidas de adaptación:

- Probabilidad de que la vulnerabilidad resulte en daño significativo nacional o regional si no se aplican medidas de adaptación
- Costo económico del daño
- El marco de tiempo en el cual se espera que el impacto y los daños ocurran
- El potencial de adaptación, incluyendo el costo de las medidas que pueden reducir significativamente los impactos dañinos.

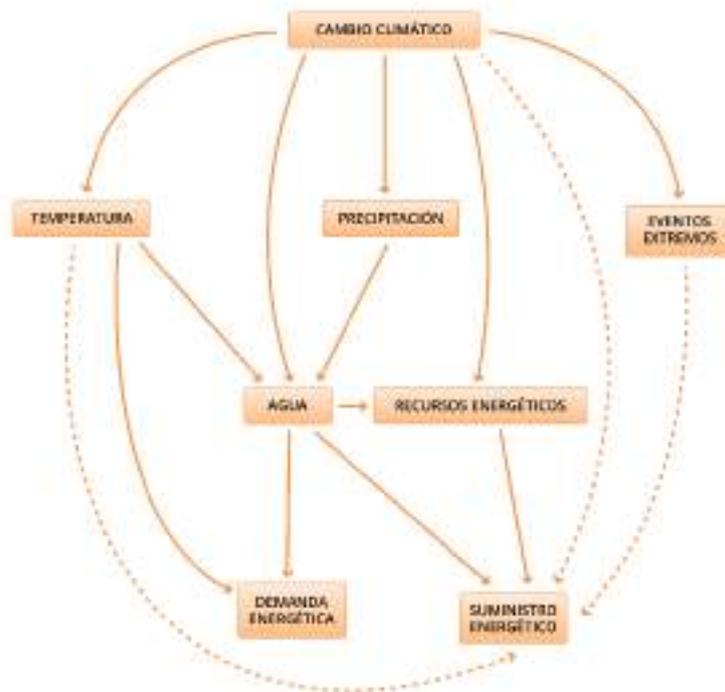
5.3.2. Informe de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energético Español - Análisis de la influencia del cambio climático en la oferta y la demanda de energía (Girardi et al., 2015)

D. Giuliano Girardi, D. José Carlos Romero y Dr. Pedro Linares.

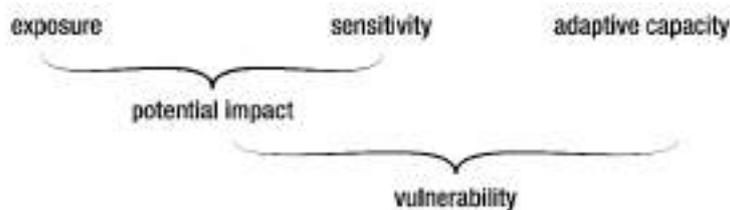
Preparado por el IIT para la Oficina Española de Cambio Climático/Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

El informe, realizado por el Instituto de Investigación Tecnológica (IIT) de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (Comillas ICAI) de la Universidad Pontificia Comillas para la Oficina Española de Cambio Climático, busca analizar, con carácter exploratorio y preliminar, las consecuencias del cambio climático sobre el sector energético español, y más concretamente los efectos del mismo sobre la oferta y la demanda de energía en ese país. El estudio pretende identificar los análisis ya realizados y recopilar el conocimiento existente sobre esta cuestión a nivel internacional en general y su aplicación a España en particular.

Aporta un marco de análisis interesante para estudiar la vulnerabilidad climática, basado en los conceptos del IPCC y construyendo el diagrama que se reproduce debajo. Dicho esquema contiene en la parte superior los sistemas físicos: se tienen en cuenta las principales tendencias climáticas que constituyen el cambio climático, a saber, los cambios en la temperatura, las precipitaciones y los fenómenos extremos; mientras que por otro lado, la parte inferior se refiere a los impactos que el cambio climático y sus consecuencias producen en todos los sectores que constituyen un sistema de energía.



El análisis de la vulnerabilidad al cambio climático lo hace, basado en el IPCC, en torno a tres factores fundamentales que interactúan según el esquema propuesto debajo: la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación.



Identifica a la exposición como la naturaleza y el grado en que un sistema está expuesto a las variaciones climáticas, a la sensibilidad como el grado en que un sistema se puede ver afectado de forma adversa o beneficiosa y por último la capacidad adaptativa, que es precisamente la capacidad del sistema de ajustarse a los impactos del cambio climático y para recuperarse de los daños en la infraestructura.

Sobre este particular, finalmente menciona que el concepto de vulnerabilidad es mucho más amplio que lo meramente técnico, ya que factores no climáticos, fundamentalmente los socioeconómicos, son identificados como muy relevantes a la hora de comprender la capacidad adaptativa, los potenciales impactos y, en definitiva, la vulnerabilidad. El documento aporta una revisión de los impactos potenciales sobre el sector, basados en la literatura internacional. Lo hace de forma descriptiva y está muy en línea con Ebinger y Vergara (2011) y con los otros documentos presentados en esta sistematización. Aporta además algunas medidas cuantitativas realizadas por otros académicos.

Cuenta con relativamente buena información sobre temperatura y precipitaciones en España, por lo que hace un interesante aporte en cuanto a metodología de análisis concreto de las vulnerabilidades, echando luz sobre el tipo de información necesaria para estudiar adecuadamente este tema.

Por último, hace una serie de recomendaciones de políticas para la adaptación al cambio climático, basado en el esquema de opciones de adaptación propuesto por el IPCC⁹.

Para el caso español, las medidas se proponen de la siguiente manera y tienen una recomendación especial en avanzar en la investigación y generación de conocimiento.

1. Estructurales

- a. Información (estadísticas climáticas, etc.)
- b. Tecnológicas
- c. Basadas en ecosistemas
- d. Nexos (en particular con el sector agropecuario y el uso del agua)

2. Sociales

- a. Información
- b. Comportamiento
- c. Economía

⁹ Noble, I.R., S. Huq, Y.A. Anokhin, J. Carmin, D. Goudou, F.P. Lansigan, B. Osman-Elasha, and A. Villamizar, 2014: Adaptation needs and options. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 833-868.

3. Institucionales

- a. Leyes y regulaciones
- b. Políticas y programas de gobierno

En los anexos aporta también una batería de aproximadamente cien medidas de adaptación abiertas por tecnología y etapa de la cadena de valor, pero no lo vincula con las vulnerabilidades.

5.3.3. Anteproyecto de Plan de Adaptación al Cambio Climático en el Sector Energía de Chile (Ministerio de Energía de Chile, 2017)

El Anteproyecto del Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía se enmarca dentro de la Política Energética Nacional (PEN2050), aprobada en 2015, y tiene como objetivo identificar las principales vulnerabilidades del sector energético chileno ante el cambio climático y establecer las bases conceptuales para la elaboración del Plan Nacional de Adaptación – Sector Energía, en busca de una mayor resiliencia del sistema.

La identificación y priorización de los impactos del cambio climático y de las medidas de adaptación, se realizó tomando en cuenta la información técnica existente a nivel nacional e internacional, así como la opinión de expertos del área energética y de cambio climático provenientes de empresas privadas, entidades públicas, academia, y organizaciones de la sociedad civil, además de la participación ciudadana a través de entrevistas y talleres realizados en las ciudades de Antofagasta, Concepción y Santiago durante 2017.

El análisis de las vulnerabilidades se realiza separando la cadena de valor en: oferta energética (por fuente/tecnología), transporte (separando electricidad de combustibles) y por último, la demanda. El documento presenta la identificación de los principales impactos del cambio climático en el sector energía, tanto a nivel global como en Chile, la caracterización del sector energético chileno y sus vulnerabilidades y, por último, hace una descripción de las medidas de adaptación recomendadas.

Las variables analizadas son: temperatura, precipitaciones, aumento del nivel del mar, vientos, radiación solar y eventos extremos (sequías, inundaciones, aluviones, marejadas, temperaturas extremas, olas de calor, incendios forestales, entre otros). El marco conceptual para el estudio de los impactos se reproduce a continuación.

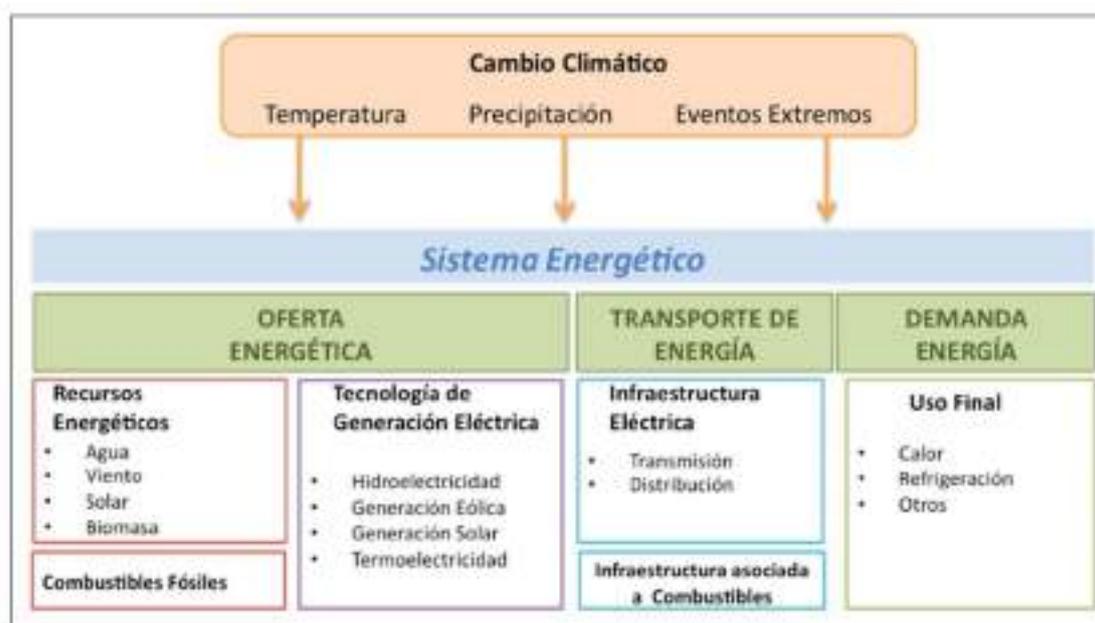


Figura 2. Modelo conceptual del impacto del cambio climático en el sector energético chileno

5.3.4. Estudio para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector energético colombiano frente al cambio climático (UPME, 2013)

Elaborado para UPME por las consultoras ACON y OPTIM.

El objetivo del documento es desarrollar el análisis de la exposición y vulnerabilidad del sector energético colombiano frente a las amenazas relacionadas con eventos de variabilidad y cambio climático, enfocándose en la producción y transmisión de energía eléctrica e incluyendo la formulación y análisis de medidas de adaptación (p. 34-35).

El informe se enfoca solamente en el sector eléctrico, y dadas las características de la matriz energética colombiana, tiene mucho foco en la generación hidroeléctrica y en los efectos del fenómeno del Niño y la Niña, que afecta severamente el régimen de precipitaciones y de los recursos hídricos del país.

Para lograr su objetivo se desarrollan los siguientes tres componentes, que van desde las generalidades del proceso de cambio climático a nivel global, a la situación específica del sector eléctrico colombiano y las opciones de adaptación:

- (i) **identificación de los principales eventos meteorológicos y climáticos amenazantes** observados y potenciales para el sector energético,
- (ii) **análisis de la exposición y vulnerabilidad del sector eléctrico a los impactos** de la variabilidad y el cambio climático considerando las amenazas actuales y futuras, y
- (iii) **recomendaciones, identificación y análisis de medidas de adaptación** para este sector, con el fin de minimizar la vulnerabilidad en la generación y transmisión de energía y de mantener la confiabilidad del abastecimiento energético.

Se realiza un estudio exhaustivo del sector, describiendo la infraestructura existente, los aspectos regulatorios, las empresas, el régimen de afluencias, los embalses, los cargos por confiabilidad y otras regulaciones. Es particularmente interesante el estudio de vulnerabilidad realizado sobre los embalses, resultando muy valioso en términos de la metodología utilizada y la información recolectada para su elaboración. El informe analiza las sensibilidades en función de los escenarios de precipitaciones y escorrentía y calcula un índice de vulnerabilidad hidrológica en función de cambio esperado de afluencia, meses del año en que se da el cambio y la resiliencia del embalse y la importancia relativa del mismo para la generación. En todos los embalses esperan reducción de la afluencia.

Tabla 1 Vulnerabilidad de los embalses agregados

Embalse	Cambio en afluencias ¹	Orden según aumento en Variabilidad	No. de meses en que aumenta Variabilidad	Imp. relativa del embalse ²	Orden según resiliencia ³	Índice de Vulnerabilidad	Nivel de Vulnerabilidad
Caribe	-14%	8	5	10	4	3,5	3
Antioquia 1	-25%	2	9	4	6	168,8	1
Antioquia 2	-28%	3	10	3	9	280,0	1
Caldas	-22%	4	6	9	10	36,7	2
Cauca	-28%	5	10	1	3	156,0	1
Tolima	-15%	9	7	11	8	8,5	3
Pacifico	-47%	1	11	8	11	710,9	1
Bogotá	-9%	10	9	7	7	8,1	3
Hulla	-19%	7	10	5	2	10,9	2
Oriente 1	-13%	11	6	6	1	1,2	3
Oriente 2	-10%	6	9	2	5	37,5	2

Por último plantea propuestas de políticas de adaptación que van en cuatro direcciones:

- (i) **La optimización del uso de las fuentes convencionales de energía** (mejora de eficiencias). Esto se refiere básicamente a mejorar eficiencias en generación (por regulación e incentivos) y la optimización de la canasta energética en el tiempo.
- (ii) **La diversificación de las fuentes de energía**, principalmente incorporando energías renovables.
- (iii) **La optimización del consumo de electricidad**, es decir, generar eficiencias en la demanda.
- (iv) Políticas ambientales que incluye las dirigidas hacia la **conservación de las cuencas y de los ecosistemas de interés nacional**.

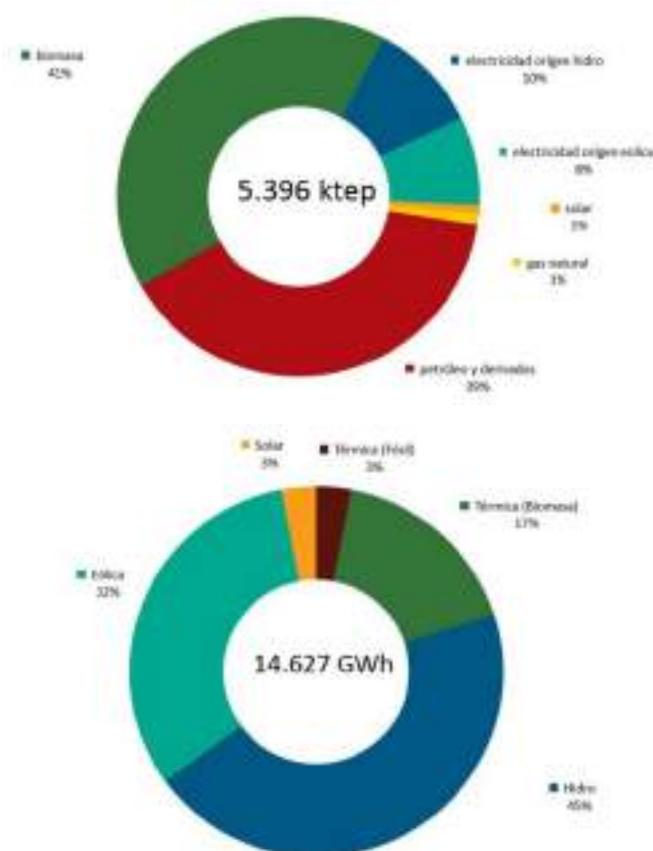
Las medidas de adaptación propuestas son concretas a la problemática analizada, indicándose las entidades responsables y el presupuesto necesario para su ejecución, además se identifican una serie de barreras para su implementación (ver anexo).

6. Primera aproximación a las vulnerabilidades del sector energético uruguayo ante el cambio climático

El análisis de las vulnerabilidades que se realiza a continuación está acotado a aquellos fenómenos, fuentes y tecnologías que se entienden relevantes para el sector energético uruguayo actual y proyectado. Es decir que no se tomó en cuenta lo que los documentos dijeran respecto a, por ejemplo, el impacto de los deshielos o la pérdida de permafrost, aunque sí se releva información sobre aquellas tecnologías que podrían ser relevantes en el futuro (ej. oceánicas). Por lo tanto, antes de continuar con el análisis, resulta relevante realizar una muy breve descripción del sistema energético uruguayo¹⁰ y su prospectiva con el fin de identificar cuáles son las fuentes y tecnologías pertinentes para este estudio. En estudios ulteriores se deberá profundizar sobre este punto con el fin de priorizar las medidas en función de las infraestructuras y su criticidad para el abastecimiento energético.

6.1. Matriz Energética uruguaya

La matriz de energía primaria de Uruguay ascendió en 2018 a 5.396 ktep, siendo un 41% biomasa; 39% petróleo y derivados; 10% electricidad de origen hidráulico; 8% electricidad de origen eólica; 1% energía solar y 1% gas natural. A su vez, en 2018 se generaron 14.627 GWh de electricidad y la matriz de generación eléctrica por fuente, se compuso de la siguiente manera: 45% hidroeléctrica; 32% eólica; 17% térmica (biomasa); 3% térmica (fósil) y 3% solar



¹⁰La descripción del sistema energético uruguayo se realiza en base al Balance Energético Nacional y a información de UTE, ANCAP y el MIEM sobre infraestructuras energéticas.

6.2. Combustibles (biomasa, petróleo y derivados y gas natural)

6.2.1. Biomasa

Hoy día constituye la principal fuente energética, aunque su consumo se concentra principalmente en el sector industrial, mayoritariamente en las dos plantas de producción de pulpa de celulosa existentes en el país, tanto para consumo propio como para generación eléctrica que se vuelca a la red nacional.

El análisis de la biomasa debemos separarlo en 3:

- Residuos de biomasa para generación eléctrica, en general proyectos de cogeneración, tanto en la industria papelera como en otros emprendimientos de menor porte.
- Leña, para uso principalmente de calefacción residencial y en procesos industriales.
- Biomasa para combustibles, de uso en el sector transporte, en mezcla de bioetanol con gasolinas y biodiésel con diésel.

A nivel del estudio de las vulnerabilidades, esto nos lleva a analizar la cadena de valor agroindustrial, los procesos de generación térmica, la industria papelera, la producción de combustibles líquidos para transporte y el consumo de leña para calefacción e industria.

Generación Eléctrica a partir de biomasa

Nombre de la Empresa	Potencia Autorizada DNE (MW)	Potencia Instalada (MW)	Potencia Contrato con UTE (MW)	Potencia Mercado SPOT (MW)	Autorización DNE - MIEM	Departamento	Estado	Vuelca a la Red	Autogenera	Materia Prima
Montes del Plata	180,0	180,0	80,0	-	2012	Colonia	Operación	SI	SI	Licor Negro/Forestal
UPM	161,0	161,0	40,0	-	2015	Río Negro	Operación	SI	SI	Licor Negro
Galofer	14,0	14,0	10,0	2,5	2007	Treinta y Tres	Operación	SI	SI	Cáscara de Arroz
Weyerhaeuser	12,0	12,0	5,0	-	2009	Tacuarembó	Operación	SI	SI	Forestal
Bioener	12,0	12,0	9,0	3,0	2007	Rivera	Operación	SI	SI	Forestal
Lumiganor	11,4	11,4	-	11,4	2014	Treinta y Tres	Construida	NO	NO	Forestal
ALUR (Bella Unión)	10,0	10,0	5,5	-	2009	Artigas	Operación	SI	SI	Bagazo/Forestal
Fenirol	10,0	10,0	8,8	1,2	2008	Tacuarembó	Operación	SI	NO	Forestal/Cáscara de Arroz
Ponlar	7,5	7,5	3,5	4,0	2011	Rivera	Operación	SI	SI	Forestal
Líderdat (Azucarlito)	5,0	5,0	-	4,9	2008	Paysandú	Operación	SI	NO	Forestal
Intendencia de Maldonado - Las Rosas	1,2	1,2	1,0	-	2005	Maldonado	Operación	SI	NO	Biogás
Lanas Trinidad	0,6	0,6	0,6	-	2013	Flores	Operación	SI	SI	Biogás
Estancias del Lago	0,8	0,8	-	-	2015	Durazno	Construida	NO	NO	Biogás
Fanapel	-	11,5	-	-	-	Colonia	No Operativa	NO	SI	Licor Negro/Forestal
Rincón de Albano	-	0,1	0,1	-	-	San José	Operación	SI	SI	Biogás
Rincón Blanco	-	-	-	-	-	San José	En Construcción	-	-	Biogás
Totales	425,5	437,1	163,5	27,0						

Fuente: Probio - DNE¹¹

Biocombustibles

Las cuatro plantas de biocombustibles (diésel y etanol) existentes son propiedad de Alcoholes del Uruguay (ALUR), cuyo socio mayoritario es ANCAP (90%).¹²

- Bella Unión – bioetanol – capacidad nominal: 26.000 m³/año
- Paysandú – bioetanol – capacidad nominal: 70.000 m³/año

¹¹ http://www.probio.dne.gub.uy/cms/images/pdf/Listado_de_Generacion_Bioenergia_enero_2020.pdf

¹² Info tomada de los mapas energéticos

https://www.miem.gub.uy/sites/default/files/descripcion_del_contenido.pdf ALUR y ANCAP

<http://www.alur.com.uy/agroindustrias/>

<https://www.ancap.com.uy/innovaportal/v/172/1/innova.front/biocombustibles.html>

- Paso de la Arena, Montevideo (COUSA) – biodiésel – capacidad nominal: 16.000 ton/año¹³
- Capurro, Montevideo – biodiésel – capacidad nominal: 50.000 ton/año

Más allá de las infraestructuras mencionadas, la fase agrícola de la cadena es la más dependiente de los recursos naturales, por lo que se esperaría que sea en esta fase en que se encuentren las principales vulnerabilidades ante el cambio climático.

6.2.2. Petróleo y derivados

Los derivados del petróleo en Uruguay, en su uso energético, se utilizan principalmente para:

- Transporte (69%), principalmente gasoil y naftas
- Industria (14%), principalmente fuel-oil
- Agro, pesca y minería (9%), principalmente gasoil para sus embarcaciones y maquinaria
- Residencial (7%), principalmente GLP para cocción y otros usos¹⁴.

Actualmente ANCAP tiene el Monopolio para la importación y refinación de crudo y derivados (Ley 8.764, 1931). La actividad de distribución secundaria es de libre competencia, en la misma participa ANCAP a través de DUCSA y asimismo varias empresas privadas. Las principales infraestructuras del sector son:

- **Refinería de La Teja**, única en el país, con una capacidad nominal de procesamiento de 50.000 barriles día, un parque de tanques con capacidad de almacenamiento para 500.000 barriles de crudo y 2,7 millones de barriles de diferentes productos, y un terminal marítimo y terrestre que se utiliza para la expedición de productos hacia La Tablada y las plantas del interior, así como también para la recepción de importaciones de diésel y GLP.
- **Terminal del Este**, en José Ignacio, Maldonado. Consiste en una monoboya, un oleoducto submarino (3.600m) y un parque de tanques con capacidad para almacenar tres millones de barriles de petróleo crudo. Desde allí se bombea el crudo hacia la Refinería de La Teja. El terminal tiene capacidad para recibir barcos de hasta 150.000 m³ de crudo y allí se recibe todo el crudo que entra al país.
- **Oleoducto**, une la Terminal del Este con la Refinería de La Teja. Tiene una extensión de 180 km, un diámetro de 16", una capacidad de transporte de 80.000 barriles por día y es subterráneo.
- **Planta La Tablada**, es un terminal de distribución de combustibles, ubicado a 8 km de la Refinería de La Teja y unida a la misma por dos poliductos. Distribuye el 85% de los productos producidos en la refinería, abasteciendo la zona sur y este del país de productos blancos. A su vez es la única terminal de distribución de GLP, el cual se entrega a la cadena de distribuidores.
- **Planta Durazno**, es un terminal de distribución de combustibles, ubicado en esta ciudad a 182 km de Montevideo. Se abastece por tren desde la Refinería de La Teja y desde allí se distribuye combustibles para Durazno, Rivera, Tacuarembó, Flores y parte de Florida. Dispone de un parque de 13 tanques, con una capacidad total de 30.000 barriles y 6 puestos de carga para camiones.

¹³ Actualmente no está operativa y no es claro si volverá a operar.

¹⁴ El Balance Energético Nacional considera el consumo de los autos particulares dentro del sector transporte.

- **Planta Juan Lacaze**, se encuentra en la ciudad homónima, en el Departamento de Colonia, ubicada a 145 km de la ciudad de Montevideo, en el litoral sudoeste del país, sobre las costas del Río de la Plata. Se abastece por vía fluvial, representa el 10% del mercado distribuyendo en Colonia y San José. Dispone de 21 tanques con una capacidad total de 67.000 barriles.
- **Planta Treinta y Tres**, se ubica en esta ciudad, en el este del país, a 286 km de Montevideo. Se abastece por ferrocarril, cubre el 4% del mercado, distribuyendo combustibles en Treinta y Tres, Cerro Largo y Lavalleja. Dispone de 19 tanques y una capacidad de almacenamiento de 26.000 barriles.
- **Planta Paysandú**, ubicada en esta ciudad en el litoral oeste del país, sobre el Río Uruguay, a 385 km de Montevideo. Se abastece por vía fluvial, representa el 6% del mercado y distribuye combustibles a Artigas, Salto, Paysandú y Río Negro. Dispone de 25 tanques, una capacidad de almacenamiento de 163.000 barriles y un cargadero de camiones con 16 puestos.
- **Plantas de Envasado de GLP y red de distribución.** Uruguay posee 3 plantas de envasado de GLP, todas en Montevideo, ubicadas de forma contigua entre sí y próximas a la Terminal de Distribución de La Tablada. Cuatro son las empresas que distribuyen GLP envasado (Riogas, Acodike, DUCSA y MEGAL), contando con una red de distribución de alcance nacional. La distribución del GLP se realiza por camión y por su parte Gasur (empresa cuyo capital accionario corresponde a ANCAP, Acodike y Riogas) distribuye propano a granel. MEGAL cuenta con una planta propia de envasado (la más pequeña de las tres), mientras que las otras dos son operadas por Acodike y Riogas, a través de un contrato con Gasur, pero son propiedad de ANCAP. Si bien existe buena capacidad de envasado y distribución, las necesidades en el invierno obligan a importar GLP y mantener un almacenamiento flotante.
- **Red de Estaciones de Servicio.** Uruguay cuenta con una red de aproximadamente 500 estaciones de servicio en todo el país, correspondientes a tres sellos: DUCSA -empresa del Grupo ANCAP- (59%), Axion Energy (22%) y Petrobras (18%). El listado completo con las ubicaciones puede descargarse de la página de URSEA¹⁵ o consultarse en la página de cada sello.

6.2.3. Gas Natural

El gas natural se utiliza en Uruguay principalmente en el sector residencial para calefacción y cocción, y en algo menor proporción en procesos industriales y en el sector comercial. Existe un pequeño uso para generación eléctrica. Si bien el consumo de gas natural no se ha desarrollado en Uruguay, el nuevo escenario de producción de gas natural en Argentina podría cambiar significativamente las condiciones de suministro, abriendo nuevas posibilidades para el desarrollo de este mercado en Uruguay.

El país no cuenta con gas natural, por lo que el mismo se importa en su totalidad desde Argentina vía gasoducto. Las infraestructuras principales consisten en 3 gasoductos de transporte para importación (solo dos están operativos), y una red de distribución en Montevideo¹⁶, Canelones, Costa de Oro y Paysandú.

¹⁵ <https://www.gub.uy/unidad-reguladora-servicios-energia-agua/politicas-y-gestion/estaciones-servicios>

¹⁶ <https://dgm.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6c25802083924212a2674cde96f2cd56>

Gasoductos de Importación

- **Gasoducto Cruz del Sur (GCDS)¹⁷:**
 - El sistema se extiende desde Punta Lara (Buenos Aires) en Argentina hasta Montevideo y sus alrededores en Uruguay, pasando por los departamentos de Colonia, San José, Canelones y Montevideo. El trazado es de aproximadamente 200 km, en tramos de 24" y 18", la red de gasoductos laterales tiene una extensión de 200 km adicionales.
 - Existe además un tramo de gasoducto en tierra que une Puntas de Sayago con el Gasoducto Cruz del Sur. El mismo tiene un diámetro de 24" y unos 18 kms de extensión. Este tramo corresponde a la parte terrestre de la conexión de la Terminal de Regasificación GNL del Plata, aunque la misma finalmente no fue construida (ni tampoco el tramo de gasoducto offshore), por lo que este gasoducto nunca entró en operación.
- **Gasoducto del Litoral – Cr. Federico Slinger (Paysandú):**
 - Une la localidad de Colón (Entre Ríos) en Argentina con Paysandú, alimentando algunas industrias y una red de distribución. Tiene una extensión de 24 km y un diámetro máximo de 10".
- **Gasoducto Casablanca (no operativo)**
 - Fue construido con el fin de abastecer una central térmica en Paysandú que luego no se construyó.

Redes de Distribución

- Existe una red de distribución de polietileno en Montevideo, en toda la zona sur y este principalmente. La empresa Montevideo Gas es quien tiene la concesión para la actividad de distribución en el departamento de Montevideo, posee aproximadamente 40.000 clientes.
- En el interior del país, existe distribución en las localidades aledañas a Montevideo (Progreso, La Paz, Las Piedras, Canelones, Pando, Costa de Oro), en las localidades cercanas al gasoducto Cruz del Sur en Colonia y San José y también en Paysandú. La empresa Conecta S.A. es titular de la concesión de obra pública para el desarrollo de la actividad en los departamentos del interior del país.
- En 2019 la empresa Petrobras, que poseía el 100% del capital accionario de Montevideo Gas y el 55% del de Conecta, se retiró del mercado distribución de gas natural y las acciones pasaron al Estado uruguayo a través de un fideicomiso.

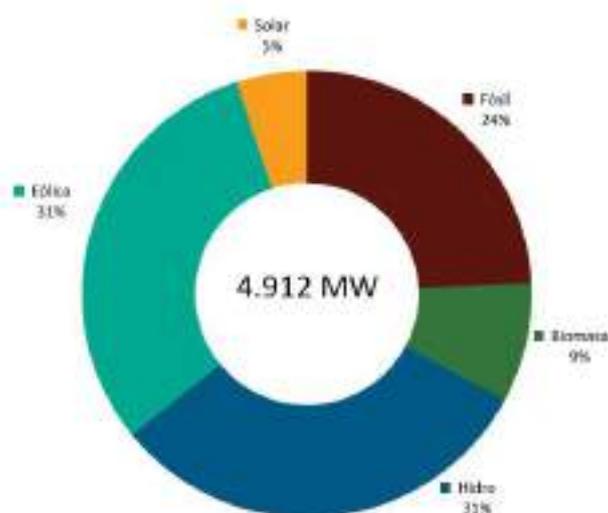
¹⁷http://www.gasoductocruzdelsur.com.uy/gas_trazados.php

6.3. Sector Eléctrico

El análisis se hace en función de cada etapa de la cadena de valor (generación, transmisión y distribución).

6.3.1. Generación¹⁸

La potencia instalada de generación asciende a 4.912 MW y las tecnologías utilizadas son: Térmica (biomasa, gas natural, fuel-oil y diésel), hidroeléctrica, eólica y solar.



6.3.1.1. Generación Térmica (1.615 MW)

En nuestro país, la generación térmica debemos separarla en tres en función de su tecnología: de vapor (ciclo Rankine), de gas (ciclo Brayton), y de motores.

- **Centrales térmicas de vapor (423 MW) - biomasa**
 - Montes del Plata, Colonia (180 MW)
 - UPM, Río Negro (161 MW)
 - Otros (82 MW)¹⁹
- **Centrales térmicas de gas (1.106 MW) – diésel o gas natural**
 - Punta del Tigre A, San José (300 MW) – ciclo abierto - diésel o gas
 - Punta del Tigre B, San José (540 MW) – ciclo combinado diésel o gas
 - Centrales Térmica de Respaldo La Tablada, Montevideo (212 MW) – diésel
 - Otras (54 MW) – 50 MW son arrendados – diésel o gas
- **Centrales motores (86 MW) - diésel**
 - Central Batlle, Montevideo (80 MW) – diésel / Fuel-oil
 - Otros (6 MW) – diésel

¹⁸ <https://portal.ute.com.uy/institucional/infraestructura/fuentes-de-generacion>

¹⁹ El detalle puede verse en el Balance Energético o en la planilla en la página 36

En 2018 se consumieron para generación eléctrica 7.039 toneladas de fuel oil, 34.877 m3 de diésel y 32 millones de m3 de gas natural²⁰.

La mayor parte de la potencia instalada térmica se encuentra sobre el Río de la Plata (Punta del Tigre, Central Batlle y Montes del Plata) por lo que es relevante considerar la subida del nivel del mar como variable climática con potencial afectación sobre estas infraestructuras.

Hoy en día, en un horizonte temporal anual el peso relativo de los hidrocarburos en la generación eléctrica ronda el 3% y, dado el desarrollo actual y esperado de las energías renovables, no se espera que este tipo de combustibles vuelva a tener un peso mayor en la matriz eléctrica en el corto o mediano plazo. Sin embargo, en la medida que se expanda la demanda eléctrica y el parque de generación, es de esperar que también crezca la capacidad de generación fósil. Dado que el balance de potencia entre oferta y demanda eléctrica es instantáneo, la generación termoeléctrica fósil, así como también los spots de biomasa y otras renovables, juegan un rol fundamental en la regulación de la variabilidad de los recursos, dándole flexibilidad de respuesta al sistema. A modo de ejemplo, el 05/03/2020 a las 11:00 se alcanzó el pico de potencia térmica fósil utilizada en 2020²¹ con 626 MW, mientras que el día 09/03/2020 a las 02:50 am se alcanzó el máximo relativo de potencia térmica fósil utilizada con un 50,44% de la generación correspondientes al despacho de 572 MWh de potencia térmica fósil. De todas formas, la situación antes mencionada se presenta de forma relativamente excepcional, cuando suceden al mismo tiempo varios factores desfavorables como una baja disponibilidad hidráulica por ejemplo por sequías, una baja intensidad de viento y un pico de demanda excepcionalmente alto dado por una ola de calor o de frío.

6.3.1.2. Hidroelectricidad (1.538 MW)

Uruguay cuenta con 4 represas hidroeléctricas fluviales de embalse, una sobre el Río Uruguay y 3 sobre el Río Negro y no se plantean nuevas incorporaciones de represas de gran porte ya que existe un alto aprovechamiento del potencial hidroeléctrico:

- **Salto Grande – potencia instalada: 1890 MW (de los cuales 945 MW corresponden a Uruguay y los otros 945 MW a Argentina)**
 - Ubicada sobre el Río Uruguay en el departamento de Salto, es una represa binacional con Argentina, la mayor central hidroeléctrica del país. Es gestionada por la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTM).
 - El embalse asciende a 5.000 Hm³
- **Rincón del Bonete – potencia instalada: 152 MW**
 - Ubicada sobre el Río Negro entre los departamentos de Durazno y Tacuarembó
 - Es la primera de las tres represas en términos de la corriente del río
 - Embalse con capacidad de operación de 150 días, con cotas entre 80m y 71m²²
- **Baygorria – potencia instalada 108 MW**

²⁰ UTE en cifras 2019

<https://portal.ute.com.uy/sites/default/files/generico/UTE%20en%20Cifras%202019%20TRIPTICO%2020a%202020-04-16.pdf>

²¹Datos tomados de ADME el día 11/03/2020 (<https://pronos.adme.com.uy/gpf.php>)

²² La capacidad del embalse fue reportada de forma directa por UTE. El indicador teórico que típicamente utilizan es la cantidad de días en que la central consumirá el agua del embalse, si operara a potencia nominal.

- Ubicada sobre el Río Negro entre los departamentos de Durazno y Río Negro.
- El embalse tiene una capacidad de 2,8 días, con su embalse entre cotas de 54m y 52,5m.
- **Constitución (Palmar) – potencia instalada: 333 MW**
 - Ubicada sobre el Río Negro entre los departamentos de Soriano y Río Negro.
 - Capacidad de embalse de 16 días, con cotas de operación entre 40m y 36m.

6.3.1.3. Energía Eólica (1.511 MW)

Los parques eólicos son propiedad mayoritariamente de empresas privadas (1.007 MW) que vuelcan su energía al Sistema Interconectado Nacional (SIN), a través de contratos de largo plazo con la empresa eléctrica nacional (UTE). Sin embargo, UTE también posee 504 MW de potencia instalada en parques eólicos, tanto en propiedad 100% como en asociación con terceros.

El Balance Energético Nacional detalla 44 puntos de generación eólica, los cuales se ubican principalmente en el sur del país.²³

6.3.1.4. Generación Solar Fotovoltaica (248 MW)

El BEN reconoce 18 generadores diferentes (228 MW), a los que hay que sumarle los microgeneradores y generadores autónomos (20 MW). Los parques se ubican principalmente en el noroeste del país²⁴.

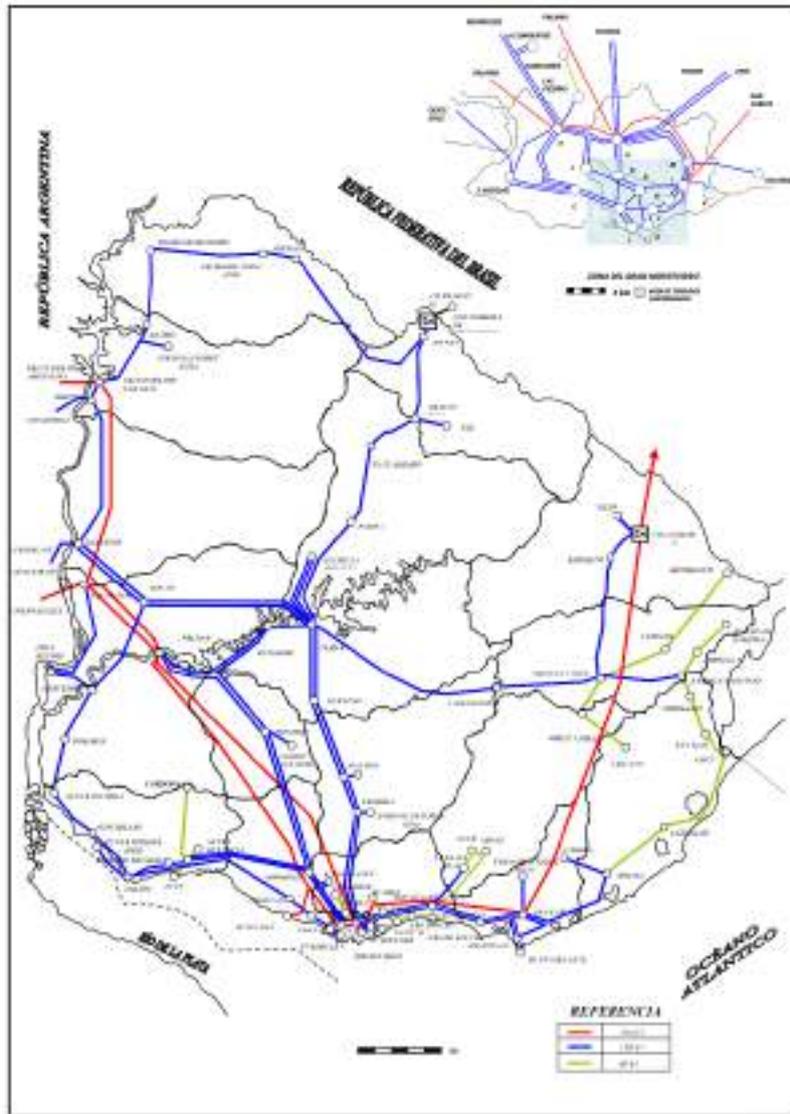
6.3.2. Trasmisión y Distribución

Uruguay posee acceso casi universal a las redes eléctricas, existiendo una red de trasmisión que abarca todo el territorio y redes de distribución en todas las urbanizaciones. Ambos eslabones de la cadena se encuentran bajo régimen de monopolio estatal, siendo UTE la empresa que lo gestiona. Actualmente se están construyendo tramos de alta tensión (500 kV) en el norte del país para cerrar el anillo de trasmisión y mejorar la seguridad del abastecimiento energético.

El sistema uruguayo se encuentra conectado a Argentina (2.000 MW) en dos puntos (Salto Grande y San Javier) con líneas de 500 kV que van hacia Montevideo y también con Brasil a través de Rivera (70 MW) y de Cerro Largo (500 MW). Hoy día ambas interconexiones se utilizan principalmente para exportar energía, colocando excedentes, pero también se utilizan eventualmente para la importación, principalmente desde Argentina. En lo que va de 2020 (al 10/03/2020) se registraron importaciones en 14 días del año (20% de los días) y el pico alcanzó los 550 MW, representando el 1,6% en el abastecimiento energético total.

²³ Se puede consultar el mapa actualizado en la web de UTE (<https://portal.ute.com.uy/institucional/infraestructura/fuentes-de-generacion>).

²⁴ Ibídem



Mapa de Líneas de Trasmisión hasta 60 kV

Fuente: Memoria Anual de UTE, 2018

6.3.3. Consumo

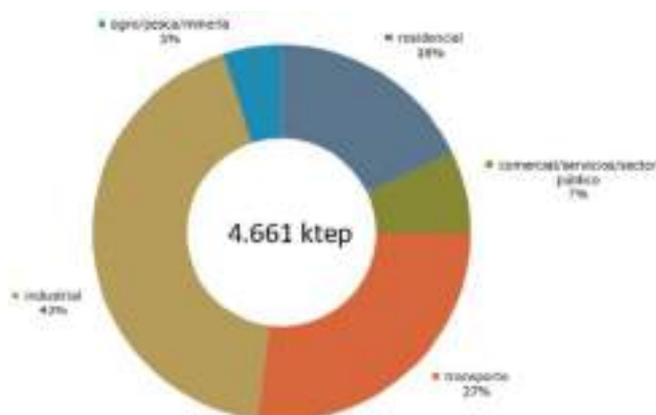
La demanda final de energía en 2018 (último dato disponible en los balances energéticos) ascendió a 4.661 ktep y su tasa de crecimiento fue de 1,3% respecto al año anterior, evidenciándose una desaceleración del crecimiento del consumo respecto al período 2010-2016, en el cual el promedio rondó el 4,5% anual.

El consumo por sectores es liderado por el sector industrial (43%), seguido del transporte (27%), residencial (18%), comercial, servicios y sector público (7%) y agro, pesca y minería (5%).

La preponderancia del sector industrial está vinculada a la instalación de las fábricas de pulpa de celulosa en el país, lo que ha hecho que el sector más que triplicara su consumo en un lapso de 10 años, pasando del 23% de participación en la matriz al 43%. La primera planta comenzó a operar en 2007, la segunda en 2014 y actualmente se encuentra en construcción una tercera planta que se espera que comience a operar en 2022, lo cual incrementará el peso sectorial de la industria en el consumo energético total. El otro sector que ha mostrado gran dinamismo en

los últimos años es el transporte, con una tasa de crecimiento que rondó el 4% anual en el mismo período. Este sector, se vincula mucho con el anterior, ya que toda la logística de la producción forestal implica un gran despliegue de camiones. Por otra parte, el dinamismo de la producción agrícola también contribuyó al crecimiento de este sector. En cuanto a los sectores residencial, comercial/servicios y agro/pesca/minería, han mostrado un crecimiento vegetativo algo mayor al 1%.

En cuanto al crecimiento de la demanda de energía, el mismo se ha desacelerado en los últimos años, pasando de tasas de crecimiento superiores al 5% anual entre 2013 y 2016 para pasar a un crecimiento menor al 1% en 2017 y 2018. La pérdida de dinamismo de la economía es un factor significativo de este proceso.



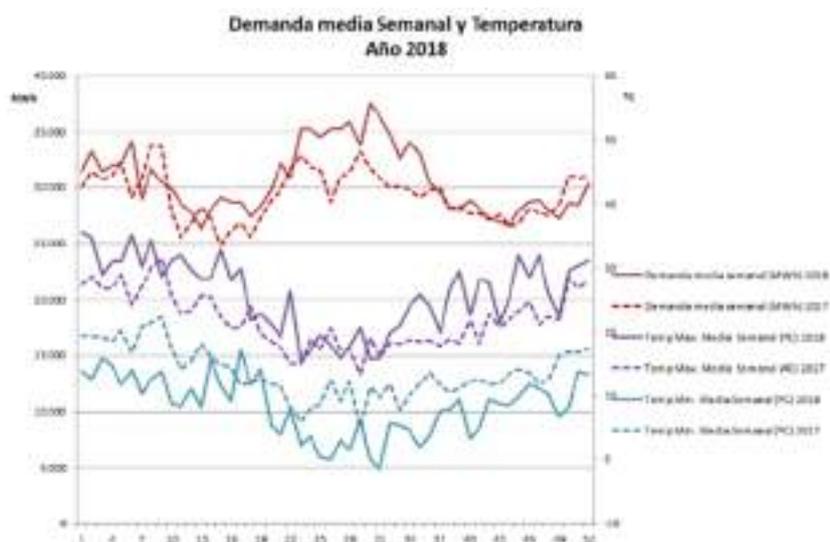
La demanda nacional de energía eléctrica en 2018 ascendió a 11.144 GWh²⁵, habiéndose exportado además 1.195 GWh a Brasil y Argentina. Los picos de potencia máximos y mínimos fueron de 2.063 MW (23/07/2018) y 726 MW (21/10/2018), sin haberse registrado variaciones en la tendencia de los factores de carga. La demanda máxima se registró el 25/07/2018 y fue de 40.350 MWh. La temperatura máxima²⁶ fue de 35,5°C el 04/01/2018, mientras que la mínima se registró el 01/08/2018 y fue de -1,6°C.

En Uruguay los picos de consumo están muy vinculados a las bajas temperaturas que se registran durante el invierno, y a las altas temperaturas durante el verano, en ambos casos por la necesidad de acondicionamiento térmico como factor preponderante. Se reproduce al final de este apartado un gráfico con la demanda eléctrica media semanal y las temperaturas máximas y mínimas para 2017 y 2018, tomados del Informe Anual de ADME.

En el caso de los derivados del petróleo, cuyo uso predominante es el transporte, su consumo es más parejo durante todo el año, aunque con zafras en diciembre para naftas y en mayo y noviembre para diésel. En el caso del gas natural y el GLP sí existe una importante estacionalidad en el invierno debido al uso para calefacción. En el caso de la leña, la zafra también está vinculada a las bajas temperaturas de los meses de invierno.

²⁵ https://adme.com.uy/db-docs/Docs_secciones/nid_526/Informe_Anual_2018_V8.pdf

²⁶ ADME usa como referencia la estación Melilla, en Montevideo



6.4. Energía, comercio exterior y balanza comercial

Un último punto a destacar de la matriz energética uruguaya tiene que ver con los vínculos entre abastecimiento energético y su impacto en la balanza comercial.

Uruguay no es productor de hidrocarburos ni cuenta con reservas comercialmente explotables. Más allá de los esfuerzos realizados en la exploración y producción en los últimos años y que se siguen haciendo, dados los tiempos que implica el desarrollo de un yacimiento ante un eventual descubrimiento, no podría esperarse contar con hidrocarburos de producción autóctona en el corto plazo. En un horizonte temporal más dilatado (10-20 años) la incertidumbre es más grande y depende, entre otras cosas, del propio riesgo exploratorio; si bien todo podría acontecer, podemos considerar que habría una baja probabilidad de desarrollo de la producción local de petróleo o gas.

Por lo tanto Uruguay importa la totalidad de los hidrocarburos que consume. Se importa el petróleo para su refinación y, eventualmente, derivados de petróleo; y también el gas natural que viene por gasoducto desde Argentina. Esto representa actualmente algo menos del 40% de la provisión total de energía y, desde el año 2015, un promedio del 11% del valor de las importaciones totales. En tiempos en que la generación térmica convencional y las importaciones eran la únicas alternativas para respaldar a la generación hidráulica, en un año de baja hidraulicidad (sequías) y altos precios del petróleo, este guarismo podía ascender a más del 20% (ej. 2008: 28%).

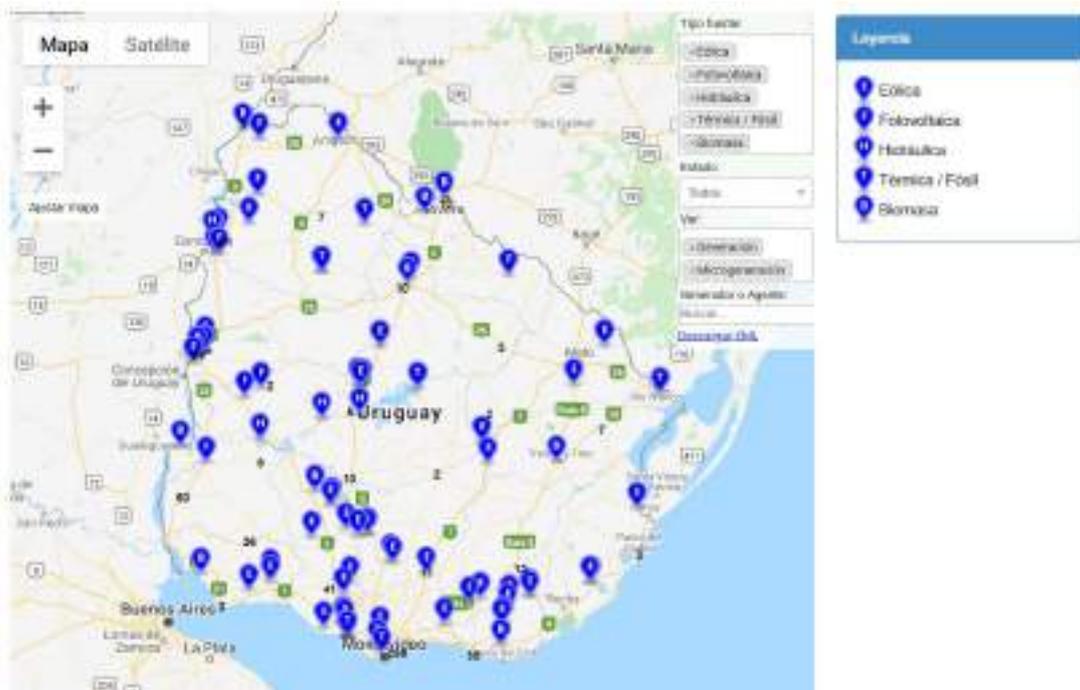
Es importante destacar entonces que el uso de los hidrocarburos hoy en día es principalmente para transporte y que, debido a la transformación de la matriz eléctrica, se usa puntualmente como combustible para la generación, motivo por el cual su impacto en la balanza comercial, en el costo de abastecimiento y en las cuentas fiscales se ha visto estabilizado.

Por otra parte, las inversiones en potencia instalada, principalmente renovable, y en interconexiones, han generado excedentes para exportación a Brasil y Argentina. Como se vio anteriormente, en 2018, aproximadamente el 10% de la generación eléctrica fue exportada a los países vecinos, existiendo capacidad ociosa y potencial para aumentar esas exportaciones,

aunque esto dependerá de las necesidades de los países vecinos y de las voluntades de los gobiernos y empresas.

En función de la Política Energética 2005-2030, los compromisos establecidos al Acuerdo de París, los éxitos alcanzados en términos del desarrollo de energías renovables, las tendencias internacionales y los proyectos en curso (hidrógeno, movilidad eléctrica, etc.), es de esperar que Uruguay siga desarrollando su potencial renovable y buscando sustituir el consumo de hidrocarburos por otras alternativas que reduzcan las emisiones de GEI.

La contracara de contar con una mayor generación renovable es que se tiene una mayor dependencia de recursos naturales variables, los cuales pueden verse más afectados por el Cambio Climático. Por otra parte, la diversificación de la matriz, si bien la complejiza desde el punto de vista de su gestión y genera desafíos para la integración de las energías renovables y variables, por otra parte genera complementariedades entre las distintas fuentes que ayudan a mitigar esa variabilidad, aumentando además la resiliencia del sistema.



<https://portal.ute.com.uy/institucional/infraestructura/fuentes-de-generacion>

6.5. Una mirada hacia adelante del sistema energético uruguayo

Dado el horizonte naturalmente de largo plazo de un Plan de Adaptación al Cambio Climático, es necesario dar una mirada hacia adelante de las tecnologías o hechos que podrían tener un impacto significativo en el sector energético uruguayo.

Basados en la Política Energética Uruguay 2005-2030, otros documentos de planificación y prospectiva (OPP, 2019), así como también acciones concretas que se están llevando adelante, es claro el compromiso de nuestro país con la incorporación de energías renovables no convencionales. En escenario actual, por sus características y complementariedad con otras fuentes de mayor desarrollo en nuestro país, sería de esperar un crecimiento en capacidad instalada por el lado de la energía solar fotovoltaica.

Por otra parte, dado el tamaño del mercado uruguayo, la instalación de nuevas industrias energo-intensivas, como lo fue en su momento la de pulpa de celulosa, hoy en vías de instalar una tercera planta, o como pudo haber sido la minería de hierro, pueden generar cambios estructurales en períodos muy cortos de tiempo.

Por otro lado, las tecnologías de la información y la capacidad de procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real (big data, AI, etc.) seguirán penetrando rápidamente, abriendo nuevas posibilidades en la optimización de la gestión de la demanda, pudiendo generar grandes ganancias en la eficiencia del sistema energético²⁷. La promoción de estas tecnologías podrían considerarse en sí mismas acciones de adaptación y mitigación al Cambio Climático ya que pueden postergar inversiones en generación.

En la misma línea de tecnologías que podrían tener impactos significativos y que pueden considerarse en sí mismos medidas de adaptación encontramos el almacenamiento energético. Si bien aún no es económicamente viable, el avance tecnológico permitirá reducir los costos y llegar, probablemente, a una etapa comercial en los plazos considerados para el NAP-E. Uruguay por su parte ha autorizado la generación a partir de baterías a suscriptores conectados a la red de baja tensión (Decreto 27/020 promulgado el 27 de enero de 2020²⁸).

Es de esperar que en el corto y mediano plazo, el sector transporte sufra modificaciones muy significativas. Algunas tendencias como la electrificación de la movilidad urbana y la incorporación de nuevas alternativas para el transporte pesado, tanto gas natural como hidrógeno, marcarán la agenda en este sentido. Estas tendencias implicarán repensar la infraestructura del sector hidrocarburos.

Otros aspectos, aún más difíciles de predecir porque entran en una esfera más institucional, tienen que ver con la organización del mercado y el rol de las empresas públicas en el mismo, ya que hoy es un mercado muy concentrado con posición dominante del sector público tanto en petróleo y gas como en el mercado eléctrico. El propio proceso de progreso tecnológico tendrá un efecto sobre los mercados energéticos y sus balances internos, lo que probablemente generará presiones y conflictos sobre su forma de organización.

²⁷ UTE realizó un plan piloto de termotanques inteligentes en hogares, en el que se alcanzaron ahorros del 17% en el consumo eléctrico. Dicho plan comenzó a trabajarse en 2017 y en 2019 se anunció su ampliación a 800 hogares.

<https://portal.ute.com.uy/noticias/plan-piloto-incorpora-mas-termotanques-inteligentes>

²⁸ <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/27-2020>

6.6. Vulnerabilidades del sector energético

Se presenta a continuación un primer análisis de las vulnerabilidades del sector energético ante el Cambio Climático.

Como se estableció en el marco conceptual, para realizar dicho análisis tomaremos por un lado las variables hidrológicas y climáticas y, por otro, cómo éstas afectan en tres diferentes áreas: los recursos, las infraestructuras, procesos o tecnologías y, por último, la demanda de energía. A su vez, se hace una aproximación preliminar a la severidad de los impactos potenciales en función de la bibliografía analizada.

Las fuentes, recursos, tecnologías, procesos e infraestructuras relevantes para nuestro país, se basan en el desarrollo de la sección precedente (7.1) mientras que las variables climáticas son aquellas que se reconocen en la literatura internacional analizada que tienen efectos sobre los anteriores y que se reconocen relevantes para Uruguay a criterio del consultor.

A su vez, el análisis de las variables climáticas lo haremos distinguiendo la evolución de largo plazo de las variables hidrológicas y climáticas (temperatura, precipitaciones, etc.) mientras que por otro se analizarán los eventos extremos.

Para el análisis de las vulnerabilidades seguiremos principalmente a Schaeffer et al., 2011, y Ebinger y Vergara (2011).

6.6.1. Impactos de sobre los recursos energéticos

El primer tipo de impacto analizado es sobre los propios recursos energéticos. En particular, los recursos renovables están mucho más vinculados a los efectos del clima que los recursos fósiles, ya que la variabilidad afecta directamente la disponibilidad del recurso y, por ende, la cantidad de energía disponible para convertir. En el caso de los recursos fósiles, éstos pueden considerarse un stock variable en el tiempo, ya que su disponibilidad depende primordialmente de que los yacimientos sean descubiertos, del acceso a los recursos, de la tecnología existente, del costo de extracción y del precio de mercado. En particular, la variabilidad climática no afecta significativamente el stock disponible del recurso en los yacimientos, aunque sí el acceso a los mismos y las condiciones de operación, afectando así el costo de extracción.

6.6.1.1. Recursos hidráulicos

La generación hidroeléctrica depende directamente de la disponibilidad de los recursos hídricos y, por lo tanto, del ciclo hidrológico. Como consecuencia, los recursos para la generación hidráulica son el resultado del agua excedentaria (precipitaciones menos evapotranspiración) (Schaeffer et al, 2011).

Dado que los recursos para generación hidráulica son fluviales (Río Uruguay y Río Negro) y sus cuencas y ríos afluentes no están vinculados a glaciares ni regiones de alta montaña, el ciclo hidrológico dependerá principalmente de la temperatura, las precipitaciones, las condiciones de los suelos, y la gestión de la capacidad de almacenamiento en los embalses, principalmente en las centrales de Salto Grande y Rincón del Bonete, que como se mencionó en la sección anterior son las que tienen mayor capacidad de regulación.

El potencial hidroeléctrico nacional remanente es escaso y está vinculado a centrales de generación de porte mediano y a la mini hidráulica. Aun así, estos proyectos, algunos de los cuales tienen actualmente cierto grado de avance, solo son factibles en la medida que resulten

en la construcción de embalses multipropósito, donde la generación no sea el fin primario o bien que se trate de equipar presas de riego o abastecimiento de agua con turbinas (CIC, 2014).

En el caso de los recursos hidráulicos, siempre es necesario considerarlos en un sentido más amplio, es decir, cómo se interactúa con otros sectores productivos, tales como el agro o la industria, y el consumo humano; aunque dadas las características hidrológicas de Uruguay, éste no sería un tema crítico. Por otra parte, es también relevante el tema calidad del agua, ya que si bien no es un aspecto determinante para la generación hidroeléctrica, sí es potencial generador de conflictos.

6.6.1.2. Recursos eólicos

En el caso de la generación eólica, es claro que la intensidad de los vientos será la variable climática más relevante.

6.6.1.3. Recurso Solar

En el caso de la generación solar fotovoltaica, la radiación solar será lo más relevante, siendo el estudio de la nubosidad un aspecto clave ya que reduce la cantidad de radiación que alcanza el nivel del suelo.

Por otra parte, la tecnología de paneles fotovoltaicos es sensible a la temperatura, perdiendo eficiencia a medida que esta aumenta.

Por último, todo lo que obstruya la captación de los paneles, como por ejemplo, la presencia de partículas de polvo en el aire, puede afectar negativamente la generación.

6.6.1.4. Biomasa

Como se mencionó en el apartado anterior, la biomasa se utiliza en Uruguay para consumo directo (leña), como biocombustibles para transporte (bioetanol y biodiesel) y como biocombustibles para generación térmica, tanto en las plantas de pulpa de celulosa como en proyectos asociados a otras industrias y explotaciones agro-ganaderas de las que se aprovechan sus subproductos.

El análisis de las vulnerabilidades es bastante más complejo en este punto porque las mismas se encuentran en la fase agrícola e implica diversas cadenas de valor, en función de los cultivos, sus usos, etc.

En términos generales, el crecimiento de los diferentes cultivos se verá afectado por la temperatura, las precipitaciones, la radiación, la nubosidad, la concentración de CO₂, la disponibilidad de agua, el avance de ciertas especies y plagas, entre otros. El estudio de las vulnerabilidades y de las opciones de adaptación deberá hacerse para cada cadena de valor en particular, ya que en Uruguay no se realizan cultivos energéticos, sino que los proyectos de biomasa están vinculados a el aprovechamiento de residuos o subproductos de explotaciones agrícolas, ganaderas e industriales (forestales, cáscara de arroz, bagazo de caña, etc.) y será conveniente coordinarla con el NAP-Agro.

Desde el punto de vista de la generación per-se, las vulnerabilidades se corresponden con la de la generación térmica convencional.

6.6.1.5. Petróleo y Gas

Como fue explicado anteriormente, si bien Uruguay no posee reservas de hidrocarburos, se encuentra en fase de exploración con contratos vigentes en la plataforma continental offshore y en zonas terrestres en el norte del país. Por lo que en un escenario de largo plazo como el que debemos considerar para en NAP-E, el desarrollo de recursos de petróleo y gas debe ser tenido en cuenta.

Como ya se mencionó, el impacto climático sobre los recursos fósiles se sitúa en la capacidad de acceso a dichos recursos y no en el stock disponible en el subsuelo. En términos generales, todo lo que afecte la navegabilidad (aérea y marítima), la operación de plataformas offshore y las operaciones portuarias generan dificultades y costos adicionales a la exploración y explotación de hidrocarburos costa afuera. Por lo tanto los vientos, el oleaje y el nivel del mar serían las variables climáticas a considerar.

6.6.2. Impacto sobre la tecnología, los procesos o la infraestructura

A continuación se detallan los impactos sobre las diferentes tecnologías de generación y la transmisión y distribución eléctrica.

6.6.2.1. Generación Térmica

El Cambio Climático puede afectar a la generación de electricidad afectando la eficiencia del ciclo de generación y los requerimientos de agua para enfriamiento de las centrales termoeléctricas. Las tecnologías que pueden verse afectadas son el carbón, el gas natural, la nuclear, la geotérmica y los residuos de biomasa²⁹. Los impactos se derivan de las necesidades de calentamiento y enfriamiento tanto del ciclo Rankine como del Brayton, las cuales varían de acuerdo a las condiciones ambientales promedio como la temperatura, la presión, la humedad y la disponibilidad de agua. Esto puede afectar la eficiencia de la generación eléctrica (afectando la generación máxima posible y el ratio de calor) y la confiabilidad del suministro (debido a interrupciones no planeadas causadas por la escasez de agua o regulaciones de contaminación térmica) (Schaeffer et al, 2011).

En pocas palabras, la generación a vapor (ciclo Rankine) depende críticamente de la disponibilidad de agua para los procesos de generación y enfriamiento. En el caso de las turbinas de gas (ciclo Brayton), la temperatura del aire (que afecta su densidad) afecta la eficiencia del proceso, ya que a una mayor temperatura, menor densidad y mayores necesidades de compresión.

Cada impacto dependerá de la tecnología utilizada, de si son ciclos abiertos o ciclos combinados y de si tienen tecnologías de captura de carbono, ya que todas tienen diferente intensidad en el uso del agua. Por lo tanto la temperatura (del aire y de los cuerpos de agua) y la disponibilidad de agua, la cual depende principalmente de la temperatura y las precipitaciones, son las variables más relevantes afectando los procesos de generación térmica.

En el caso de las infraestructuras costeras, y esto es de forma genérica para todas las infraestructuras costeras, se deberá también estudiar el impacto del aumento nivel del mar. Para la elaboración del NAP-E se deberán aprovechar los estudios ya realizados por NAP-Costas.

²⁹ También la generación a base de diésel o fuel-oil, pero el artículo citado no las menciona explícitamente.

6.6.2.2. Refinación de Petróleo

La refinación de petróleo es una actividad muy intensiva en el uso de agua, ya que necesita de grandes volúmenes tanto para sus procesos como para la refrigeración de las unidades. La refinación convencional de petróleo requiere entre 0,5 y 2,5 litros de agua por cada litro de gasolina equivalente (DOE, 2013).

En el caso de Uruguay además, la única refinería existente se encuentra en la Bahía de Montevideo, por lo que siendo una infraestructura costera es relevante la variable nivel del mar.

6.6.3. Transporte y distribución de energía

6.6.3.1. Energía Eléctrica

El principal impacto sobre la eficiencia de la transmisión y distribución eléctrica está vinculado con la temperatura, ya que la eficiencia de las líneas se reduce cuando la temperatura aumenta. Por otro lado, el viento, al refrigerar las líneas, puede amortiguar este efecto.

Algunos estudios indican que el aumento de las temperaturas reducirá la capacidad de transmisión de las líneas aéreas. En Estados Unidos, en tiempos de picos de temperatura y demanda estival, la reducción podría alcanzar el 5,8%³⁰.

Por otro lado, dado que son infraestructuras muy extensas, son muy vulnerables a los eventos extremos, en particular vientos, tornados, tormentas, descargas eléctricas, etc. A su vez, los impactos sobre las líneas tienen un alto potencial de disrupción ya que pueden afectar a una gran cantidad de población y sectores productivos.

6.6.3.2. Petróleo y gas

El primer impacto que se reconoce para Uruguay está vinculado a la boya petrolera, ubicada en José Ignacio a 3 kilómetros de la costa. La operatividad de la misma se ve afectada por los vientos y el oleaje principalmente, lo cual reduce las ventanas de operación y encarece la logística de descarga de los buques petroleros.

El otro impacto relevante tiene que ver con el transporte y la distribución. El abastecimiento de las terminales del litoral del país se realiza por barco, pero para hacerlo se deben tener condiciones de navegabilidad y operabilidad de los puertos, las cuales se pueden ver afectadas por el caudal de agua de los ríos y los vientos, entre otros factores. La imposibilidad de realizar la distribución por esta vía, obliga a utilizar camiones, encareciendo la logística y aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero. Cualquier impacto sobre las condiciones de distribución por camión o ferroviaria será también relevante.

En cuanto al transporte de gas, éste es sensible a la temperatura porque afecta la densidad del gas y, en consecuencia, las necesidades de compresión. Si bien hoy día existe una gran capacidad ociosa en el principal gasoducto de importación, podría ser un aspecto a tener en cuenta en un horizonte temporal más largo, en función de cómo evolucionen los diferentes mercados energéticos.

³⁰Tomado de Cronin et al (2018)

6.6.4. Demanda de energía

En términos de demanda de energía, los principales impactos se aprecian por la temperatura y su consecuente demanda para acondicionamiento térmico. Como se puede apreciar en las series históricas, los picos de demanda se registran en el invierno, asociado a las bajas temperaturas, y en el verano, asociado precisamente a las altas temperaturas. Las olas de calor o de frío afectarán las necesidades de energía y, posiblemente, afecten también negativamente la disponibilidad de recursos para la generación, configurando un doble desafío.

En el largo plazo, es de esperar que un aumento de la temperatura promedio reduzca las necesidades de calefacción en el invierno y aumente las necesidades de refrigeración en el verano.

A su vez, mayores temperaturas están asociadas a un mayor uso de agua, tanto para consumo humano como para uso industrial y riego, lo que aumenta el uso de energía para la distribución de agua (bombeo, etc.) y puede generar conflictos en el uso del agua entre los diferentes sectores.

En el caso de la demanda industrial, ésta no es particularmente sensible al cambio climático, ya que la diferencia de temperatura en procesos industriales suele ser mucho más grande que las fluctuaciones de la temperatura del aire (...) Sin embargo, en procesos de enfriamiento continuo relacionados, por ejemplo, al procesamiento y almacenamiento de alimentos, al trabajar con diferencias de temperatura menores son más dependientes de la temperatura exterior (especialmente porque estos procesos suelen intercambiar calor con el exterior) (Schaeffer et al, 2011).

6.6.5. Otras Energías

6.6.5.1. Energías oceánicas (maremotriz, undimotriz y maremotérmica)

Las principales tecnologías asociadas al aprovechamiento del océano como fuente primaria de energía son la maremotriz, que saca provecho del efecto de las mareas, la undimotriz, que aprovecha el movimiento del oleaje y la maremotérmica, que utiliza la diferencia térmica entre las aguas profundas y superficiales para producir energía eléctrica.

De estas tres, la que tiene un mayor desarrollo, en términos de alcanzar la madurez comercial, es la undimotriz. En este caso las variables fundamentales son el oleaje y los vientos (que influye sobre los primeros), el nivel del mar y los eventos extremos que puedan dañar la infraestructura (tormentas, vientos, etc.). Si bien en Uruguay aún no existen instalaciones de este tipo, podría esperarse que se desarrollaran en el marco del horizonte temporal del NAP-E

6.6.5.2. Solar de Concentración

En este caso la radiación solar es la principal variable y, dependiendo de la tecnología, la disponibilidad de agua. Si bien no existen centrales de este tipo en Uruguay, es una posibilidad hacia el futuro y su desarrollo estará seguramente vinculado a los costos relativos respecto a otras tecnologías.

6.6.5.3. Geotermia

En general hay un limitado impacto del cambio climático sobre los recursos y tecnologías geotérmicas. En Uruguay, dada su dotación de recursos, debería considerarse solamente la geotermia de baja entalpía, para uso local de acondicionamiento térmico principalmente. Los

impactos podemos identificarlos más a nivel de la demanda y de la eficiencia en la utilización de los recursos, ambos aspectos vinculados principalmente con la temperatura del aire como variable climática.

6.6.6. Eventos extremos

En el caso de los eventos extremos no siempre es posible distinguir uno de otro, ya que suelen acontecer simultáneamente, por ejemplo una tormenta suele incluir fuertes vientos, precipitaciones y descargas eléctricas. En términos generales, los impactos se dan sobre la infraestructura o sobre la imposibilidad de producir energía en ciertas condiciones climáticas.

En Uruguay, los eventos extremos más relevantes para el sector energía son:

- Inundaciones
- Sequías
- Vientos extremos y tornados
- Precipitaciones extremas
- Tormentas eléctricas
- Granizo
- Marejadas y oleaje extremo
- Olas de calor
- Olas de frío
- Incendios forestales

Se realiza a continuación un breve recorrido de los eventos extremos por tipo de tecnología.

6.6.6.1. Hidroeléctrica

Ante la eventualidad de una inundación las centrales eléctricas pueden tener que retirarse de la operación, perdiéndose temporalmente parte del parque de generación. Además, la presa, las compuertas y las turbinas pueden verse dañadas.

Por otro lado, todo lo que afecte la disponibilidad de agua (olas de calor y sequías prolongadas) tiene un impacto sobre la capacidad de generación.

6.6.6.2. Eólica

Los vientos fuertes (mayores a 20 o 25 m/s) hacen necesario sacar de operación a los aerogeneradores o dañar las infraestructuras.

Por otra parte las tormentas eléctricas pueden generar daños a las palas de los aerogeneradores por el impacto de rayos sobre las mismas.

6.6.6.3. Solar

En este caso, todo lo que pueda dañar la infraestructura deberá ser considerado. Por ejemplo las tormentas, el granizo, o los fuertes vientos pueden considerarse como los escenarios más probables.

6.6.6.4. Petróleo y gas

Las inundaciones (y las precipitaciones extremas) son particularmente riesgosas para las refinerías, obligando a apagar las unidades para evitar grandes incendios³¹. Por otra parte, la escasez de agua puede afectar la operación.

En el caso de Uruguay, todos los factores que afecten la navegabilidad, en particular del Río Uruguay y del Río de la Plata (vientos extremos, oleaje, sequías) son relevantes para la distribución de combustibles.

Por otra parte, todos los fenómenos que tengan la capacidad de anegar las carreteras o el transporte ferroviario (inundaciones, precipitaciones extremas) son relevantes para el envío de combustibles a las plantas del interior y estaciones de servicio.

6.6.6.5. Trasmisión y Distribución Eléctrica

Se deben considerar aquí todos los fenómenos que puedan impactar las líneas de trasmisión y distribución. En particular las tormentas eléctricas y los vientos fuertes que pueden afectar las líneas de trasmisión directamente o las de distribución (ej. caída de árboles). Los incendios forestales son otro factor de riesgo para las líneas.

Por otra parte las olas de calor podrían afectar la eficiencia de las líneas, además de generar una mayor exposición a los incendios forestales. A su vez, las olas de calor generan una mayor demanda de energía, recargando los sistemas de trasmisión y distribución.

Un aspecto transversal y cada vez más vinculado a la trasmisión y distribución tiene que ver precisamente con las redes de telecomunicaciones.

6.6.6.6. Demanda

Como se mencionó en la sección anterior, las olas de calor y de frío serían los eventos extremos a considerar. En el caso de las olas de calor, además se deberá abordar el uso de agua.

6.6.7. Severidad de los impactos

En el resumen anterior, se detalló qué variables climáticas son relevantes a la hora de entender las vulnerabilidades del sistema energético, pero no se puso énfasis sobre la severidad de dichos impactos. En los documentos analizados del Banco Asiático de Desarrollo (ver pág. 18) y en el de la Comisión Europea (ver pág. 19) hacen una aproximación a la severidad o criticidad de los impactos sobre el sistema energético. Sin embargo, este es un aspecto que debe validarse con la realidad local, lo cual excede el alcance del presente documento, y el tema será abordado en entregas posteriores de esta misma consultoría.

A continuación se presenta un cuadro en el cual se resumen los impactos mencionados a lo largo de esta sección.

³¹ Un claro ejemplo es el incendio registrado en la Refinería de La Plata, Argentina, el 2/4/2013 http://diariofull.com.ar/nota/3414/explosion_en_ypf_aquel_de_2_de_abril_para_la_justicia_nadie_fue

6.6.8. Cuadro resumen de vulnerabilidades e impactos de las variables hídricas y climáticas sobre el sector energético

Variable - Recurso/Tecnología	Temperatura	Precipitaciones	Disponibilidad de agua	Vientos (intensidad)	Radiación/Nubosidad	Oleaje	Nivel del Mar
Hidroeléctrica	* En función de cómo afecte la disponibilidad de agua	* En función de cómo afecte la disponibilidad de agua	* Es la variable crítica ya que determina la capacidad de generación				
Eólica	* Puede afectar la densidad del aire			* Determina la capacidad de generación, por lo que es la variable crítica			
Solar PV	* Afecta el rendimiento de los paneles				* La radiación determina la capacidad de generación		
Biomasa (recurso)	* Depende del cultivo, pero son variables críticas para el rendimiento de los mismos	* Depende del cultivo, pero son variables críticas para el rendimiento de los mismos	* Depende del cultivo, pero son variables críticas para el rendimiento de los mismos		* Depende del cultivo, pero son variables críticas para el rendimiento de los mismos		
Petróleo y gas			* Es crítico para la operación de la refinería y para la navegabilidad	* En la exploración offshore, en la operatividad de la boya petrolera y en el transporte fluvial de hidrocarburos		* En la exploración offshore, en la operatividad de la boya petrolera y en el transporte fluvial de hidrocarburos	* En las infraestructuras marítimas y costeras (Refinería y boya petrolera)
Generación Térmica	* Las altas temperaturas afectan la eficiencia del proceso de generación * En función de cómo afecte la disponibilidad de agua	* En función de cómo afecte la disponibilidad de agua	* El agua se utiliza para la refrigeración de las unidades de proceso y, en las centrales a vapor, es parte del proceso de generación.			* En el caso de infraestructuras costeras	* En el caso de infraestructuras costeras
Transmisión y Distribución	* Afecta la eficiencia de la transmisión (pérdidas técnicas)			* Pueden dañar la infraestructura y la operación			
Demanda	* El consumo energético es altamente dependiente de la temperatura (altas y bajas), por las necesidades de acondicionamiento térmico		* Entendido en un sentido más amplio y de cómo se interactúa con otros sectores de uso de agua (productivo, consumo humano)				

6.6.9. Cuadro resumen de los impactos de eventos extremos sobre el sector energético

Recurso/Tecnología	Inundaciones	Olas de Calor y Sequías	Olas de Frío	Vientos Extremos	Precipitaciones extremas	Tormentas Eléctricas y Granizo	Incendios Forestales
Hidro	* Es crítico ya que puede sacar a las centrales de operación y dañar las presas y la infraestructura	* Todo lo que reduzca la cantidad de agua es crítico para la generación hidráulica		* Pueden dañar la infraestructura	* En función de cómo afecte el caudal de los ríos/inundaciones	* Pueden dañar la infraestructura	
Eólica	* En función de su ubicación, podrían verse afectados			* Impactos sobre la infraestructura y pérdida de generación ya que los aerogeneradores deben sacarse de servicio para velocidades superiores a 20-25 m/s		* Pueden dañar la infraestructura	* En función de su ubicación y fundamentalmente de las líneas de transmisión
Solar	* En función de su ubicación, podrían verse afectados	* Las altas temperaturas reducen la eficiencia de los paneles		* Pueden dañar la infraestructura		* Pueden dañar la infraestructura	
Biomasa (recurso)	* Es crítico ya que puede afectar el rendimiento de los cultivos	* Es crítico ya que puede afectar el rendimiento de los cultivos	* Es crítico ya que puede afectar el rendimiento de los cultivos	* Es crítico ya que puede afectar el rendimiento de los cultivos	* Es crítico ya que puede afectar el rendimiento de los cultivos	* Es crítico ya que puede afectar los cultivos	* Es crítico ya que afecta directamente a la biomasa
Petróleo y gas	* Es crítico para la refinería ya que puede generar daños severos, además puede anegar rutas de distribución terrestre			* Puede afectar las operaciones, en particular las que son costa afuera (boya petrolera, navegación)	* Es crítico en la medida en que pueda generar inundaciones, en particular en la refinería y anegando la distribución	* Pueden dañar la infraestructura, en particular los parques de tanques	
Generación Térmica	* Es crítico ya que puede sacar a las centrales de operación	* Las altas temperaturas reducen la eficiencia del proceso					
Transmisión y Distribución	* Afecta sobre todo a la distribución	* Las altas temperaturas aumentan las pérdidas técnicas y sobrecargan el sistema por mayor demanda		* Dañan las líneas, recargando el sistema y exigiendo costosas reparaciones		* Dañan las líneas, recargando el sistema y exigiendo costosas reparaciones	* En función de la ubicación puede dañar las líneas
Demanda		* Aumenta el consumo de energía para acondicionamiento térmico, recargando el sistema	* Aumenta el consumo de energía para acondicionamiento térmico, recargando el sistema				

7. Análisis de las medidas de adaptación del sector energético

Las medidas de adaptación a desarrollar dependerán críticamente de los análisis de vulnerabilidad que se realicen, ya que su objetivo principal es, precisamente, mitigar dichas vulnerabilidades y los riesgos derivados, generando una mayor resiliencia en el sistema energético.

Para diseñar estas medidas se deberá contar entonces con un análisis detallado de dichas vulnerabilidades y realizar una adecuada priorización en función de las probabilidades de ocurrencia, la magnitud de los impactos, el espacio temporal en que se espera que se materialicen las mismas, los costos de adopción (y de no adopción) de las medidas, los beneficios y los objetivos de política.

Todo esto nos lleva a que las medidas de adaptación resultantes serán muy particulares para el país en cuestión, e incluso para cada región dentro de un mismo país, ya que se debe tener en cuenta sus especificidades.

En este capítulo se presentarán, en primera instancia, un breve marco de análisis que facilitará el diseño de las medidas de adaptación. Éste se basa principalmente en los documentos emitidos por el IPCC, UNFCCC, los proyectos o planes de adaptación del sector a los que se tuvo acceso para la elaboración de este informe (Chile, EEUU, Colombia y España) y el libro de Ebinger y Vergara (BM, 2011).

En el anexo correspondiente se presentan una serie de ejemplos de medidas de adaptación tomados de los planes y proyectos de planes de adaptación de EEUU, Colombia, Chile y España y que por lo tanto contribuirán a orientar el diseño de medidas para el NAP-E.

Una de las principales características del sector energético es que requiere de grandes inversiones para desarrollar infraestructuras que permanecen operativas por largos períodos de tiempo. En el caso de las centrales hidroeléctricas, las centrales atómicas, las refinerías o los oleoductos, se pueden superar los 50 años de operación, sin embargo, para otras tecnologías como los parques eólicos o las granjas solares se estiman vidas útiles de entre 20 y 30 años.

A su vez, dado que la producción de energía depende, entre otros factores, del acceso a recursos naturales tales como el agua (como materia prima y para los procesos), a los recursos eólicos, o la radiación solar, así como también del acceso a otras infraestructuras y logística para unir la producción con los mercados, es que suelen ser muy poco flexibles. En otras palabras, no en cualquier lugar se puede colocar una central hidroeléctrica o una central térmica y, luego de construida, difícilmente se podrá modificar su ubicación.

Este hecho hace que sea necesario considerar la variabilidad climática y los efectos del cambio climático sobre las infraestructuras existentes, así como también sobre las inversiones planificadas o a diseñarse. En otras palabras, se debe integrar al cambio climático como una variable más en los análisis de riesgos, en la planificación de inversiones y en sus flujos de fondos, ya que pueden verse significativamente afectados.

El capítulo se divide en tres partes: en la primera se da una mirada general de los diferentes tipos de medidas de adaptación, en la segunda se analizan de forma más concreta cómo han abordado la adaptación los diferentes países seleccionados y, en una última parte, se resumen los rasgos comunes de todos estos planes con el fin de servir de base para la elaboración de las medidas del NAP-E.

7.1. El marco general de las medidas de adaptación

Se presenta a continuación el marco para la elaboración de medidas de adaptación que utilizan algunas de las principales referencias.

7.1.1. Assessment Report nº 5 (IPCC, 2014)

El marco más general de las medidas de adaptación lo provee el 5º Informe de Evaluación del IPCC (AR5, 2014). En el mismo se establece un marco conceptual sobre las necesidades de adaptación de los diferentes sistemas (sociales, biofísicos, institucionales) y se enumeran un menú amplio de medidas de adaptación, clasificadas de la siguiente manera:

Tipos de medida

- **Físicas – estructurales**
 - Ingeniería: obras civiles para lograr infraestructuras más resilientes
 - Tecnológicas: incorporación de tecnología para mejorar la eficiencia, la gestión de los recursos
 - Basadas en ecosistemas: mejor gestión de los ecosistemas
 - Servicios: servicios básicos resilientes (salud, redes de protección, cadenas de suministro de bienes básicos, etc.), un aspecto crítico en coyunturas de desastres climáticos
- **Sociales**
 - Educativas
 - Informativas
 - Comportamentales
- **Institucionales**
 - Económicas
 - Leyes y regulaciones
 - Políticas de gobierno y programas

7.1.2. Ebinger y Vergara (Banco Mundial, 2011)

Ebinger y Vergara (BM, 2011) separan las medidas de adaptación en dos grandes categorías:

- Construcción de capacidad adaptativa
 - se refiere principalmente a las mejoras en el sistema de información y conocimiento y el fortalecimiento institucional
- Despliegue de acciones de adaptación.
 - se refiere a acciones concretas (obras, ingeniería, etc.) para la reducción de riesgos, la gestión y transferencia de riesgos (seguros) y procurar explotar las oportunidades.

Table 4.1. Categories of Adaptation Measures in the Energy Sector

Building adaptive capacity
Improved knowledge system:
Data collecting and monitoring, research, and awareness raising
Supportive framework for action:
Enhancing the capacity of local institutions, working in partnerships, and supportive public governance
Delivering adaptation actions:
Preventing effects or reducing risks:
Relocation of activities
Climate-proofing of infrastructure
Introduction of multiple land-use strategies that account for climate risks
Implementation of emergency, contingency, and disaster planning
Sharing responsibility for losses or risks:
Insurance
Diversification of energy sources
Exploiting opportunities:
Demand-side management
Decentralized energy structure
Urban design and land-use planning

Source: Adapted from UKCIP, 2007.

Cuadro tomado de Ebinger y Vergara (2011; p.55)

7.1.2.1. Construyendo Capacidad Adaptativa

La capacidad adaptativa se puede definir como “la habilidad o potencial de un sistema para responder exitosamente a la variabilidad climática y al cambio climático”.

Ebinger y Vergara (2011) plantean entonces que hay dos aspectos fundamentales que ayudan a construir esta capacidad adaptativa:

- a. Acceso a Información (investigación, recolección de datos, monitoreo y concientización).
- b. Desarrollo institucional (instituciones, alianzas, gobernanza).

Acceso a Información

En cuanto al conocimiento requerido para la elaboración de un Plan se encuentra, primero que nada, la necesidad de expandir el conocimiento sobre los impactos del Cambio Climático sobre el abastecimiento y el consumo de energía (Ebinger y Vergara, 2011).

Para lograr lo anterior, es necesario tener un conocimiento profundo del clima local y las variables climáticas y eventos extremos relevantes, con la mayor resolución posible, mientras

que por otro, la información detallada de todas las infraestructuras y tecnologías utilizadas para la producción y transporte de energía, así como también las características del consumo energético y sus vínculos con otros potenciales impactos transversales (ej. uso del agua o telecomunicaciones).

La generación de modelos climáticos de alta resolución, su actualización y monitoreo, requiere de la recolección de grandes volúmenes de datos hidro-meteorológicos de calidad, de forma de generar pronósticos y modelos de largo plazo. Sostener una red de medición desplegada en todo el territorio implica el desarrollo de estaciones de medición, la compra de instrumental, la calibración y el mantenimiento, un adecuado sistema de almacenamiento y reporte de datos y capacidades instaladas para su análisis y la generación de conocimiento. En otras palabras, se requiere de inversión, infraestructura, presupuesto para su operación, mantenimiento y la coordinación de diversos actores.

Otro aspecto relevante es la sensibilización de los actores con el tema, tanto para facilitar la generación de conocimiento como para la toma de decisiones. En este punto, es importante destacar que dada la complejidad técnica de los análisis climáticos, es necesario adoptar acciones de comunicación que permitan facilitar la percepción de los riesgos por parte de los tomadores de decisión y todas las partes interesadas.

Desarrollo institucional

En cuanto al desarrollo institucional, es claro que todo lo dicho anteriormente requiere de instituciones sólidas que permitan sostener el proceso de elaboración e implementación de un plan de adaptación. Instituciones públicas que lideren el proceso más allá de los períodos electorales, instituciones capaces de generar la información climática requerida y sostener la infraestructura, un sistema que permita coordinar a todos los actores, empresas comprometidas, equipos técnicos de alto nivel e instituciones académicas capaces de generar investigación y conocimiento, son algunos de los actores clave del proceso.

7.1.2.2. Implementación de las acciones de adaptación

En cuanto a la implementación de las acciones de adaptación, Ebinger y Vergara (2011) reconocen tres diferentes tipos:

- a) Prevención de los efectos y reducción de los riesgos
- b) Compartir la responsabilidad por pérdidas y riesgos
- c) Explotar las oportunidades

Prevención de los efectos y reducción de los riesgos

Este primer tipo de medidas se vinculan principalmente a la infraestructura y cómo protegerla ante los riesgos que presenta el cambio climático. Considera que estas respuestas pueden ser de tres tipos: tecnológicas, conductuales o estructurales.

Las tecnológicas se refieren a la adopción de tecnologías nuevas o adaptadas que permitan reducir la vulnerabilidad de los activos y fortalecer su resiliencia. Por ejemplo, protección física, mejoras en el diseño o el despliegue de nuevas tecnologías.

Entre las conductuales, se refieren a cambios en el comportamiento de los gestores de los activos como puede ser la relocación de las plantas, o la implementación de estrategias de operación y mantenimiento adaptadas.

Por último las respuestas estructurales, se ubican todas aquellas acciones de más alto nivel, como el despliegue de incentivos o políticas para internalizar los riesgos de la adaptación, es decir, están más vinculadas a la organización de la cadena de valor.

En última instancia, siempre el objetivo de este tipo de medidas es que los diferentes actores logren internalizar los riesgos del cambio climático a la toma de decisiones, los mismos deben ser parte de la matriz de riesgos de las compañías y, por ende, de la gestión cotidiana de los negocios.

Compartir la responsabilidad por pérdidas y riesgos

En este punto entran principalmente dos aspectos, la capacidad de transferir riesgos a través de un sistema de seguros climáticos y la diversificación de la matriz de abastecimiento energético, como medida de resiliencia ante los fenómenos climáticos.

En el caso de Uruguay, los seguros climáticos son una práctica común en el agro y en la generación eléctrica, en particular para cubrirse ante daños por fenómenos extremos. Por otra parte, también son comunes los seguros ante la variabilidad del precio del petróleo, que si bien no es un aspecto climático per se, se vincula directamente con este tema.

Explotar las oportunidades

Esto se refiere principalmente a sacar ventajas de aquellas situaciones en que las medidas de adaptación permitan mejorar el bienestar en otros aspectos. Por ejemplo, realizar un uso más eficiente del agua o de la energía, resultará en otros beneficios transversales para la sociedad. Aspectos como la generación distribuida, el ordenamiento territorial y la planificación en el uso de la tierra y una planificación integrada del uso de los recursos entran en esta categoría.

7.1.3. Adapting infrastructure to climate change (European Commission, 2013)

El documento de la Comisión Europea (2013), cuyo foco es establecer recomendaciones para que las estructuras de gobernanza de la Unión Europea apliquen para favorecer la implementación de políticas de adaptación al cambio climático en sus países miembro, pone el énfasis en los siguientes aspectos:

- Revisión de estándares técnicos de diseño (en este caso de los Eurocodes) y las guías técnicas de orientación
- Incorporación de evaluaciones de riesgo climático Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA), las primeras pondrán foco precisamente en la variabilidad climática y cómo esta impacta a la infraestructura, mientras que las EIA tradicionalmente tienen el foco en cómo la infraestructura impacta al ecosistema
- Adaptación de la infraestructura a los riesgos (climate “proofing”)
- El rol de los seguros para una adecuada transferencia de riesgos

7.1.4. Energy and Climate Change Adaptation in Developing Countries (EUEI PDF / GIZ. 2017).

El foco del trabajo es establecer una serie de recomendaciones para la adaptación al cambio climático en países en desarrollo, se establecen de forma genérica algunas medidas, coincidentes con los documentos presentados anteriormente pero con diferente énfasis.

Entre ellas destaca:

- Adaptación de las infraestructuras a los riesgos (climate “proofing”), elaboración de evaluaciones de riesgo climático

- Garantizar el acceso universal a la energía como medida de mitigación de la vulnerabilidad ante fenómenos extremos en comunidades
- Diversificación de la matriz
- Eficiencia energética y gestión de la demanda
- Impulsar la generación distribuida

7.1.5. Tipos de medida: Opciones No-regret, low-regret, win-win y la dificultad para la priorización de las medidas

Las medidas de adaptación al cambio climático se deben tomar bajo un alto nivel de incertidumbre, tanto por el conocimiento climático existente, como por la dificultad de modelar hacia adelante los impactos y estimar los costos y beneficios. Una clasificación útil respecto a las medidas de adaptación es precisamente si las mismas son “de no arrepentimiento” (no-regret) de “bajo arrepentimiento” (low-regret) o “ganar-ganar” (win-win).

Las medidas de adaptación de no arrepentimiento son aquellas cuyos beneficios económicos superan a los costos, cualquiera que sea el alcance del cambio climático futuro. Las medidas de adaptación de bajo arrepentimiento son aquellas para las cuales los costos son relativamente bajos y cuyos beneficios bajo el cambio climático futuro proyectado pueden ser relativamente grandes. Las medidas de adaptación ganar-ganar son aquellas que minimizan los riesgos sociales y/o explotan oportunidades potenciales pero tienen a su vez otros beneficios sociales, ambientales y económicos (Ebinger y Vergara, 2011).

El monitoreo y la modelización del clima son, según Ebinger y Vergara (2011), ejemplos de medidas de no arrepentimiento, ya que traen beneficios desde el punto de vista del conocimiento y las posibilidades de tomar mejores decisiones, más allá de cuál sea el clima futuro. La sola variabilidad climática podría justificar la adopción de estas medidas, siendo más compleja la implementación de medidas de adaptación cuyos beneficios están determinados por una situación futura y con alta incertidumbre.

7.1.5.1. La priorización de medidas

Siguiendo con la última frase del apartado anterior, un aspecto muy desafiante es analizar las medidas de adaptación por las metodologías tradicionales de Análisis de Costo Beneficio (ACB) y, más difícil aún, la priorización de las mismas.

El documento sobre vulnerabilidad del sector energético de EEUU (DOE, 2013) plantea cuatro aspectos a considerar para priorizar las vulnerabilidades y, en consecuencia, las medidas de adaptación:

1. Probabilidad de que la vulnerabilidad resulte en una interrupción o daño de importancia nacional o regional sin la adopción de medidas
2. Costos económicos de la interrupción o el daño
3. El marco de tiempo en el cual los impactos dañinos es probable que ocurran
4. Potencial de adaptación, incluyendo el costo de medidas que podrían reducir significativamente los impactos dañinos.

Sin embargo, muchos de estos ítems son difíciles de abordar de forma cuantitativa, dado que muchos beneficios no pueden valuarse correctamente y que los resultados son altamente sensibles a la tasa de descuento—, parece recomendable aplicar abordajes más prácticos y cualitativos (Gutman, 2019).

7.2. Abordaje de las medidas de adaptación en los planes o proyectos de planes de adaptación de EEUU, Colombia, España y Chile

7.2.1. EEUU

Plantean que una mayor resiliencia requerirá mejores tecnologías, políticas, información e involucramiento de las partes interesadas, y en función de estos cuatro ejes plantean sus medidas de adaptación.

Tecnológicas

- Mejora en la eficiencia en el uso de agua en la producción de combustibles, energía eléctrica y bioenergía.
- Mejora en el equipamiento de las redes y su operación para gestionar cargas cambiantes.
- Mejorar la resiliencia de las infraestructuras (climate “proofing”)
- Impulsar una mejor gestión de la demanda

Marco regulatorio

- Que mejoren las políticas de innovación, que establezcan los incentivos adecuados para incorporar tecnologías y diseños más resilientes y los aspectos climáticos permeen en la planificación a diferentes niveles.

Mejoras en el Sistema de información

- Que permitan mejorar la caracterización climática y las vulnerabilidades del sector para una adecuada gestión de estos riesgos.
- Mejorar la recolección de datos y las herramientas y modelos de análisis.

Involucramiento de las partes interesadas

- Lo plantean como un punto relevante del proceso en el que se deben establecer programas de educación, diseminación de información sobre riesgos, vulnerabilidad y la coordinación de todos los actores, tanto del sector público como del sector financiero y de seguros.

7.2.2. Colombia

En el caso de Colombia, el alcance del documento es exclusivamente el sector eléctrico y las medidas que plantea son bien concretas, ya que hace un análisis pormenorizado de los embalses y del sector en general.

Un aspecto que se destaca es la incorporación de los diferentes niveles de decisión para la adopción de medidas, separando el nivel nacional de los niveles regionales y locales.

A nivel nacional, las medidas giran en torno a los siguientes ejes:

- **Optimización en el uso de las fuentes convencionales de energía**
 - Mejora en la eficiencia de los procesos de generación, transmisión y distribución
 - Optimización del mix
- **Diversificación de las fuentes de energía**
 - Incorporación de energías renovables no convencionales
- **Optimización del consumo**
 - Gestión de la demanda, smartgrids, etc.
- **Políticas ambientales**

- Conservación de cuencas y ecosistemas

Las medidas más concretas se pueden consultar en el documento, se dejan en el anexo los cuadros que las sintetizan.

7.2.3. España

En el caso del proyecto del plan de adaptación del sector español, el marco conceptual se basa en los desarrollos de Ebinger y Vergara (2011) y del Asian Development Bank (2012). Las medidas planteadas son genéricas, se definen en línea con la clasificación del IPCC y se abren de la siguiente manera:

- **Medidas estructurales**
 - Información: mejoras en el sistema de información climática y energética
 - Tecnológicas: referidas a mejorar el procesamiento de datos y los modelos de estimación
 - Basadas en ecosistemas: con foco en nivel del mar e infraestructuras
 - Nexos: análisis principalmente las interrelaciones con el sector agropecuario
- **Sociales**
 - Información: política de comunicación
 - Comportamiento: fomentar una cultura empresarial con foco en el largo plazo
 - Económicas: en cuanto a las necesidades financieras de la adaptación
- **Institucionales**
 - Leyes y regulaciones: planificación, precios del CO₂
 - Políticas y programas gubernamentales: sinergias entre mitigación y adaptación.

7.2.4. Chile

El anteproyecto de Plan de Adaptación de Chile plantea, lógicamente, orientaciones preliminares para la estructuración de medidas de adaptación y se elabora en base a los siguientes principios:

- Resiliencia y sustentabilidad de largo plazo, abordando desafíos y oportunidades de la adaptación.
- Territorialidad, considerando tanto la diversidad de impactos del cambio climático como del sector energía a lo largo del territorio nacional.
- Rigurosidad e información precisa, utilizando el mejor conocimiento científico disponible.
- Coherencia y sinergia con la política nacional de energía y con los planes nacionales y sectoriales de cambio climático.
- De racionalidad económica y en consistencia con el principio precautorio.
- Que sea monitoreable y muestre dinamismo y flexibilidad.

El mismo define 5 líneas de acción y 15 medidas de adaptación las cuales son clasificadas como “habilitadoras” (orientadas a la generación de conocimiento), de “acción” (medidas concretas a nivel de ingeniería, etc.) y de “fortalecimiento y coordinación institucional” (referidas al marco regulatorio, la coordinación entre actores, etc.).

Las líneas de acción definidas son las siguientes:

- **Oferta Energética:** “Analizar el comportamiento y disponibilidad de los recursos energéticos frente al cambio climático y llevar la oferta energética a ser más resiliente”.

- Generar información de los impactos, fortalecer el análisis climático detallado geográficamente y analizar el rol de la generación distribuida
- **Transporte de Energía:** “Propender hacia un transporte de energía robusto y sustentable frente al cambio climático”.
 - Resiliencia en el transporte y distribución y redes inteligentes
- **Demanda de Energía:** “Fomentar un confort y una calidad de vida para la población a nivel energético”.
 - Análisis prospectivo de demanda y gestión de la energía
- **Gobernanza:** “Fortalecer la gobernanza para la toma de decisiones en el sector energético que propicien la adaptación del sector al cambio climático”.
 - Fomentar la coordinación con actores públicos a diferentes niveles, entre sectores y territoriales y la cooperación público-privada
- **Transversal:** “Desarrollar actividades transversales que aumenten la resiliencia del sector energético de Chile”.
 - Generar información sobre infraestructuras críticas, eventos extremos, promover la resiliencia energética, integrar el aspecto cambio climático a la planificación energética.

7.3. Rasgos comunes de los planes de adaptación

El análisis del marco analítico presentado y los ejemplos de proyectos de adaptación, nos permite delinear algunos aspectos fundamentales para la elaboración de las medidas:

1. En todos los casos se apunta a mejorar el sistema de información climática y del sistema energético.
2. Las medidas concretas de adaptación son muy específicas para cada país, región y sistema y es muy complejo realizar un análisis costo-beneficio para su priorización.
3. Las medidas de adaptación son también muy específicas en la dimensión temporal, debido a que las vulnerabilidades y los impactos del cambio climático pueden materializarse en el mediano o largo plazo.
4. La propia territorialidad de las medidas implica movilizar actores con diferentes intereses, capacidades y niveles de decisión, lo cual implica un gran esfuerzo en la coordinación.
5. Todos ponen un gran foco en la optimización y la eficiencia energética, así como en el impacto de nuevas tecnologías (smart grids, etc.)
6. Se deben contemplar las cuestiones transversales de las medidas del plan de adaptación, en particular en asuntos como el uso del agua, uso de suelos y las redes de comunicación.
7. Para la implementación de las medidas es necesario hacer un fuerte trabajo en la comunicación y el involucramiento de las partes interesadas, brindando información precisa y adecuada a los diferentes actores.
8. La priorización de medidas es un aspecto sumamente desafiante, debido a la propia incertidumbre propia de los sistemas climáticos y a la imposibilidad de cuantificar y traer al presente la estimación de los beneficios futuros, por lo que necesariamente debe haber un enfoque de evaluación de las medidas con un componente más cualitativo.

8. Hacia una hoja de ruta para la elaboración del NAP-E

Se sintetizan a continuación, de forma genérica, cuáles son las necesidades de información para la elaboración de un Plan de Adaptación del Sector Energía. Si bien las necesidades concretas y las brechas de información y conocimiento se validarán en entrevistas con los diferentes actores del sector energía, del análisis realizado resulta evidente que, como base, se deberá avanzar en la consolidación de la siguiente información:

1. Conocimiento climático, lo que implica una extensa recopilación de datos de calidad en campo sobre diversas variables hidro-meteorológicas y una institucionalidad que permita sostener la generación de series de datos, y garantizar las capacidades para su análisis y actualización periódica.
2. Información sobre la infraestructura energética, aspectos de diseño, indicadores operativos, aporte al abastecimiento energético, etc.
3. Conocimiento de la demanda energética y su proyección, con el mayor nivel de detalle posible, por zona geográfica, por sector, por usos, por fuentes, etc.
4. Conocimiento de las vulnerabilidades del sistema energético actual y proyectado ante la variabilidad y el cambio climático, lo que implica una combinación de los puntos 1; 2 y 3 y un análisis detallado de los impactos en cada punto relevante
5. Desarrollar un sistema de monitoreo con indicadores de monitoreo de la implementación del plan y de la ejecución y eficacia de las medidas de adaptación, lo cual generará nuevas necesidades de información de base.

En base a lo anterior y al análisis realizado en todo el resto del documento, se detallan a continuación algunas actividades clave para la elaboración del NAP-E. Estas actividades no son una serie de pasos que haya que cumplir uno a uno, sino varios frentes en los que hay que avanzar muchas veces en paralelo y que, en muchos casos, ya tienen cierto grado de avance ya que corresponden a la gestión del día a día del sector energético.

- Identificación de la información hidrológica, meteorológica y climática existente en el país
- Identificación del conocimiento hidrológico, meteorológico y climático generado sobre el país
- Identificación y evaluación de vulnerabilidades del sector energético ante la variabilidad climática y el cambio climático
- Identificación de brechas de conocimiento e información para evaluar la vulnerabilidad climática y la priorización de medidas
- Elaboración de los estudios de base y cierre de las brechas de conocimiento
- Entendimiento de la gobernanza de las cadenas de valor energéticas en Uruguay, de la planificación energética y la toma de decisiones.
- Definición de una estrategia de comunicación e involucramiento de las partes interesadas y de difusión del Plan y las medidas.
- Diseño de medidas de adaptación y su correspondiente análisis de costo-efectividad de las medidas
- Implementación de las medidas
- Definición de un sistema de monitoreo, reporte y verificación

Estas actividades, deberán realizarse en consulta permanente con los actores relevantes del sector, los diferentes niveles de decisión del sector público y las empresas. Es importante que

las medidas de adaptación permeen dentro de la estrategia energética del país y de las empresas energéticas, para facilitar así su implementación. Por otra parte, dado el horizonte naturalmente de largo plazo de un Plan de Adaptación, se deberá tener en cuenta los cambios tecnológicos esperados (ej. almacenamiento, tecnologías para gestión de la demanda, etc.) que tienen un alto potencial de modificar la forma en que se abastece y consume la energía y, en consecuencia, plantean oportunidades para una mejor adaptación al cambio climático.

Bibliografía y fuentes consultadas

- ANCAP. Website. Procesos e Infraestructura. Consultado el 14/01/2020. <https://www.ancap.com.uy/innovaportal/v/84/1/innova.front/procesos-e-infraestructura.html>
- ADME website. Información del SCADA, consultado el 13/03/2020 <https://pronos.adme.com.uy/gpf.php>
- ADME, 2019. Informe Anual del Mercado Eléctrico 2018. https://adme.com.uy/db-docs/Docs_secciones/nid_526/Informe_Anual_2018_V8.pdf
- AUDER website. Mapa de parques eólicos, consultado el 13/03/2020. <http://audee.org.uy/>
- Asian Development Bank (ADB). 2012. *Climate risk and adaptation in the electric power sector*. ISBN 978-92-9092-730-3 (Print), 978-92-9092-731-0 (PDF). <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/29889/climate-risks-adaptation-power-sector.pdf>
- Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC). Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, en relación con los efectos de la variabilidad y el Cambio Climático. Hidroelectricidad – Uruguay, Informe Final (Julio C. Patrone), 2014. https://cicplata.org/wp-content/uploads/2019/08/Hidroelectricidad-Uruguay_Julio-Patrone.pdf
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). 2012. *Planes Nacionales de Adaptación - Directrices técnicas para el proceso del plan nacional de adaptación*. <https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/workstreams/national-adaptation-plans-naps/guidelines-for-national-adaptation-plans-naps>
- Cronin J., Anandarajah G., Dessens O. 2018. Climate change impacts on the energy system: a review of trends and gaps. https://www.researchgate.net/publication/326858638_Climate_change_impacts_on_the_energy_system_a_review_of_trends_and_gaps
- Department of Energy (DOE). 2013. *US Energy Sector Vulnerability to Climate Change and Extreme Weather*. <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/07/f2/20130710-Energy-Sector-Vulnerabilities-Report.pdf>
- Dirección Nacional de Energía (DNE) / Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM). 2017. *Mapas Energéticos*. <https://www.miem.gub.uy/energia/mapas-energeticos>
- Dirección Nacional de Energía (DNE) / Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM). 2019. *Balance Energético Nacional 2018*. <https://ben.miem.gub.uy/>
- Ebinger J., Vergara W. 2011. *Climate Impact in Energy Systems – Key issues for energy sector adaptation*. World Bank. ISBN: 978-0-8213-8697-2 / e ISBN: 978-0-8213-8698-9 / DOI: 10.1596/978-0-8213-8697-2. https://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/E-Book_Climate%20Impacts%20on%20Energy%20Systems_BOOK_resized.pdf
- European Commission. 2013. *Adapting infrastructure to climate change*. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. An EU strategy on adaptation to climate change

- EUEI PDF / GIZ. 2017. *Energy and Climate Change Adaptation in Developing Countries*. http://www.euei-pdf.org/sites/default/files/field_publication_file/euei_pdf_2017_energy_and_climate_change_adaptation_in_developing_countries.pdf
- Girardi G., Romero J. y Linares P. 2015. *Informe de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energético Español - Análisis de la influencia del cambio climático en la oferta y la demanda de energía*. Instituto de Investigación Tecnológica de la Universidad de Comillas para la Oficina Española de Cambio Climático/Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. https://www.adaptecca.es/sites/default/files/editor_documentos/informe_adaptacion_sector_energ.pdf
- Gutman, Verónica (2019). Alcances y limitaciones del análisis Costo-beneficio (ACB) para la evaluación de medidas de adaptación al cambio climático. Policy Brief para la Red Regional de Cambio Climático y Toma de Decisiones. Programa UNITWIN de UNESCO, Proyecto LatinoAdapta
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014. 5th Assessment Report (AR5), p.5. ISBN 978-92-9169-143-2. https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
- IPCC, 2014b: Anexo II: Glosario [Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (eds.)]. En: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, págs. 127-141. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- International Energy Agency (IEA). 2015. *Making the energy sector more resilient to climate change*. <https://webstore.iea.org/making-the-energy-sector-more-resilient-to-climate-change>
- Ministerio de Energía de Chile. 2017. *Anteproyecto de Plan de Adaptación al Cambio Climático en el Sector Energía de Chile*. <http://leycambioclimatico.cl/wp-content/uploads/2019/03/Anteproyecto-de-plan-de-adaptaci%C3%B3n-al-CC-energ%C3%ADa.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), 2017. Primera Contribución Determinada a nivel Nacional <https://www.gub.uy/ministerio-vivienda-ordenamiento-territorial-medio-ambiente/politicas-y-gestion/contribucion-determinada-nivel-nacional>
- OLADE (2015). *Adaptation to Climate Change in Colombia's Oil and Gas Industry – Recommendations to promote risk management*
- OLADE. 2016. *Cambio climático y su impacto en el sector energético*. <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0357.pdf>
- Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP), 2019. Presente y futuro de las energías renovables en Uruguay. https://www.opp.gub.uy/sites/default/files/inline-files/12_%20Presente%20y%20futuro%20de%20las%20Energ%C3%ADas%20Renovables%20en%20Uruguay.pdf
- Rosas, F., Trimble, M., Mazzeo, N., Ciganda, A.L., Zurbriggen, C., Santos, P. (2018). “Brechas de conocimiento en adaptación al cambio climático. Informe de Diagnóstico Uruguay”. Red Regional de Cambio Climático y Toma de Decisiones. Programa

- UNITWIN de UNESCO, Proyecto LatinoAdapta.<http://saras-institute.org/wp-content/uploads/2019/06/Informe-Uruguay.pdf>
- Schaeffer et al. (2011). *Energy sector vulnerability to Climate Change: A review*.
https://www.researchgate.net/publication/257176174_Energy_sector_vulnerability_to_climate_change_A_review
 - Smil, Vaclav (2010). *Energy Transitions. History, Requirements, Prospects*. ISBN 978-0-313-38177-5
 - Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). 2013. *Estudio para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector energético colombiano frente al cambio climático*.
 - University of Cambridge / World Energy Council (WEC). 2014. *Cambio Climático: Implicaciones para el sector energético - Hallazgos Claves del Quinto Informe de Evaluación (AR5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.
<https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2014/06/Publicacion-Cambio-Climatico-implicaciones-para-el-sector-energetico-IPCCC-AR5.pdf>
 - UTE website, mapa del Sistema energético de Uruguay. Consultado el 13/03/2020.
<https://portal.ute.com.uy/institucional/infraestructura/fuentes-de-generacion>
 - UTE (2019). Memoria Anual 2018.
<https://portal.ute.com.uy/sites/default/files/generico/MEMORIA%20ANUAL%20DE%20UTE%202018.pdf>
 - UTE (2020). UTE en cifras 2019.
<https://portal.ute.com.uy/sites/default/files/generico/UTE%20en%20Cifras%202019%20TRIPTICO%20%20a%202020-04-16.pdf>
 - World Energy Council (WEC). 2019. *World Energy Scenarios*.https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Scenarios_Report_FINAL_for_website.pdf
 - World Energy Council (WEC). 2019. *World Energy Trilemma Index*.
https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WETrilemma_2019_Full_Report_v4_pages.pdf
 - World Energy Council (WEC). 2019. E-Quality: Basic energy access is not enough!
<https://www.worldenergy.org/impact-communities/innovation/innovation-focus>
consultado el 11 de marzo de 2020.
 - WEC website. Dynamic Resilience to Extreme Weather. Consultado el 13/03/2020.
<https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/dynamic-resilience-framework/extreme-weather>
 - World Meteorological Organization (WMO) website. Essential Climate Variables.
<https://public.wmo.int/en/programmes/global-climate-observing-system/essential-climate-variables>

Anexo I: Glosario de Siglas y Acrónimos

ADB:	Asian Development Bank
ADME:	Administración del Mercado Eléctrico
AR5:	Quinto Informe de Evaluación del IPCC
BEN:	Balance Energético Nacional
BM/WB:	Banco Mundial
CDN / NDC:	Contribución Determinada a nivel Nacional
CIC:	Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata
CMNUCC / UNFCCC:	Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
COP:	Conferencia de las Partes
DINAGUA:	Dirección Nacional de Aguas
DNE:	Dirección Nacional de Energía
DOE:	Departamento de Energía de EEUU
ESMAP:	Programa de Asistencia para la Gestión en el Sector de la Energía (del Banco Mundial)
FSE:	Fondo Sectorial de Energía
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
GW / GWh:	Gigavatio / Gigavatio hora
IDRC:	International Development Research Centre
IEA / AIE:	Agencia Internacional de la Energía
IMFIA:	Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, UDELAR
IPCC:	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático
KTEP:	Kilotonelada Equivalente de Petróleo
kV:	kilovoltio
MGAP:	Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca
MIEM:	Ministerio de Industria, Energía y Minería
MVOTMA:	Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
MW / MWh:	Megavatio / Megavatio hora
NAP / PNA:	Plan Nacional de Adaptación
NAP-E:	Plan Nacional de Adaptación, sector Energía
OLADE:	Organización Latinoamericana de Energía
PNUD:	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SARAS:	South American Institute for Resilience and Sustainability Studies
SIN:	Sistema Interconectado Nacional
UDELAR:	Universidad de la República Oriental del Uruguay
UE / EU:	Unión Europea
UFRJ:	Universidad Federal de Río de Janeiro
UNESCO:	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UPME:	Unidad de Planeación Minero-Energética
UTE:	Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas
WEC:	Consejo Mundial de la Energía
WWF:	World Wildlife Fund

Anexo 2: Tablas de Vulnerabilidad

Tablas Vulnerabilidad de Ebinger y Vergara (2012)

Table 3.2. Energy Sector Vulnerability to Climate Change

Item	Relevant climate impacts			Impacts on the energy sector
	General	Specific	Additional	
Climate change impacts on resource endowment				
Hydropower	Runoff	Quantity (+/-) Seasonal flows high and low flows Extreme events	Erosion Siltation	Reduced firm energy Increased variability Increased uncertainty
Wind power	Wind field characteristics, changes in wind resource	Changes in density, wind speed Increased wind variability	Changes in vegetation (might change roughness and available wind)	Increased uncertainty
Biofuels	Crop response to climate change	Crop yield Agro-ecological zones shift	Pests Water demand Drought, frost, fires, storms	Increased uncertainty Increased frequency of extreme events
Solar power	Atmospheric transmissivity	Water content Cloudiness Cloud characteristics		Positive or negative impacts
Wave and tidal energy	Ocean climate	Wind field characteristics No effect on tides	Strong nonlinearity between wind speed and wave power	Increased uncertainty Increased frequency of extreme events

Climate change impacts on energy supply				
Hydropower	Water availability and seasonality	Water resource variability Increased uncertainty of expected energy output	Impact on the grid Wasting excessive generation Extreme events	Increased uncertainty Revision of system reliability Revision of transmission needs
Wind power	Alteration in wind speed frequency distribution	Increased uncertainty of energy output	Short life span reduces risk associated with climate change Extreme events	Increased uncertainty on energy output
Biofuels	Reduced transformation efficiency	High temperatures reduced thermal generation efficiency	Extreme events	Reduced energy generated Increased uncertainty
Solar power	Reduced solar cell efficiency	Solar cell efficiency reduced by higher temperatures	Extreme events	Reduced energy generated Increased uncertainty
Thermal power plants	Generation cycle efficiency Cooling water availability	Reduced efficiency Increased water needs, for example during heat waves	Extreme events	Reduced energy generated Increased uncertainty
Oil and gas	Vulnerable to extreme events	Cyclones, floods, erosion and siltation (coastal areas, on land)	Extreme events	Reduced energy generated Increased uncertainty

Table 3.2 (continued)

Item	Relevant climate impacts			Impacts on the energy sector
	General	Specific	Additional	
Impacts on transmission, distribution, and transfers				
Transmission, distribution, and transfers	Increased frequency of extreme events Sea level rise	Wind and ice Landslides and flooding Coastal erosion, sea level rise	Erosion and siltation Weather conditions that prevent transport	Increased vulnerability of existing assets
Impacts on design and operations				
Siting infrastructure	Sea level rise Increased extreme events	Flooding from sea level rising, coastal erosion Increased frequency of extreme events	Water availability Permafrost melting Geomorphodynamic equilibrium	Increased vulnerability to existing assets Increased demand for new good siting locations
Downline and system bottlenecks	Extreme weather events	Impacts on isolated infrastructure Compound impacts on multiple assets in the energy system	Energy system not fully operational when community requires it the most	Increased vulnerability Reduced reliability Increased social pressure for better performance
Energy trade	Increased vulnerability to extreme events	Cold spells and heat waves	Increased stress on transmission, distribution, and transfer infrastructure	Increased uncertainty Increased peak demand on energy system
Impacts on energy demand				
Energy use	Increased demand for indoor cooling	Reduced growth in demand for heating Increased energy use for indoor cooling	Associated efficiency reduction with increased temperature	Increased demand and peak demand Increasing transmission and distribution systems
Other impacts				
Cross-sector impacts	Competition for water resources Competition for adequate siting locations	Conflicts in water allocation during stressed weather conditions Competition for good siting locations	Potential competition between energy and nonenergy crops for land and water resources	Increased vulnerability and uncertainty Increased costs

Tablas de Vulnerabilidad y Adaptación – Asian Development Bank (2012)

Table 1 Key Climate Change Impacts and Adaptation—Fossil Fuel Extraction and Transport

Climate Variable	Physical Components	Key Impacts	Adaptation Options
Temperature increase	<ul style="list-style-type: none"> Oil and gas pipelines 	<ul style="list-style-type: none"> Damage by melting permafrost (as soil subsidence threatens structural integrity) 	<ul style="list-style-type: none"> More robust and structurally flexible pipeline designs
Precipitation increase; flooding	<ul style="list-style-type: none"> Coal mining Coal storage Coal transport 	<ul style="list-style-type: none"> Reduced coal quality (higher moisture content of opencast mining) Increased coal availability (e.g., if coal seam fires are extinguished) Reduced output (if floods affect mines) or availability (if floods affect transport) 	<ul style="list-style-type: none"> Build or enlarge reservoirs to reduce flooding risk Build dykes, berms, and spillways Carry out flood hazard assessments Relocate fuel storage away from flood-prone areas
Drought or precipitation decrease	<ul style="list-style-type: none"> Coal and oil Mine air conditioning equipment Drilling equipment 	<ul style="list-style-type: none"> Reduced coal availability (less water for mine air conditioning and operations); higher probability of seam fires Reduced shale oil or gas availability (very large water demands for drilling and removing drilling mud) 	<ul style="list-style-type: none"> Build or enlarge reservoirs to reduce water shortages Develop/reroute water sources
Storm strength and/or frequency increase	<ul style="list-style-type: none"> Coal Oil Mining equipment Oil platforms 	<ul style="list-style-type: none"> Reduced coal production (if storms affect opencast excavation equipment) Reduced oil production (if storms affect coastal or offshore oil platforms) 	<ul style="list-style-type: none"> Improve robustness of designs, particularly offshore Build/improve dykes, berms, and spillways onshore Improve models used to predict storms

Sources: European Union (EU), 2011, *Impacts of Shale Gas and Shale Oil Extraction on the Environment and on Human Health*, European Parliament Directorate-General; Michaelowa et al., 2010, *Use of Indicators to Improve Communication on Energy Systems Vulnerability, Resilience and Adaptation to Climate Change*, In A. Tzoccol (ed.), *Management of Weather and Climate Risk in the Energy Industry*, Dordrecht (The Netherlands); and Neumann, J. and J. Price, 2009, *Adapting to Climate Change: The Public Policy Response; Public Infrastructure*, Resources for the Future Climate Policy Program, June.

Table 2 Key Climate Change Impacts and Adaptation – Thermal Power

Climate Variable	Physical Components	Key Impacts	Adaptation Options
Precipitation increase or decrease	<ul style="list-style-type: none"> Fuel (coal) storage Boiler/furnace Turbine/generator Cooling system 	<ul style="list-style-type: none"> Increase could cause reduced coal quality (and combustion efficiency) due to higher moisture content of coal Decrease could affect availability of freshwater for cooling (all thermal systems) 	<ul style="list-style-type: none"> Protect fuel storage including coal stockpiles Withdraw less water from source and consume less water internally (once-through or recirculating system) Increase volume of water treatment works and/or develop new water sources Redesign cooling facilities (water recovery from condenser and heat exchangers, reduction of evaporative losses, secondary or wastewater usage, construction of dry cooling towers) Restore/afforest/reforest land
Higher air temperature	<ul style="list-style-type: none"> Boiler/furnace Turbine/generator 	<ul style="list-style-type: none"> Lowered generation efficiency Decreased IGCC system efficiency (converting coal to gas) Lowered CCGT efficiency (gas) 	<ul style="list-style-type: none"> Concentrate investment in locations where temperatures are likely to be cooler Decentralize generation
Higher wind speed	<ul style="list-style-type: none"> Buildings, storage, generating plant Air pollution control 	<ul style="list-style-type: none"> Damage to infrastructure Wider pollutant dispersion 	<ul style="list-style-type: none"> Develop and implement higher structural standards for new or renovated buildings
Sea level rise	<ul style="list-style-type: none"> Buildings, storage, generating plant 	<ul style="list-style-type: none"> Increased sea levels and storm surges could damage coastal infrastructure 	<ul style="list-style-type: none"> Develop flood control (embankments, dams, dikes, reservoirs, polders, ponds, relocated flood defense barriers, and higher channel capacity) Construct improved coastal defenses (seawalls and bulkheads) Construct or relocate to less exposed places Raise level of structures Improve drainage and reroute water pipes Protect fuel storage
Extreme events (including flooding)	<ul style="list-style-type: none"> Buildings, storage, generating plant 	<ul style="list-style-type: none"> Hurricanes, tornadoes, ice storms, severe lighting, etc. can destroy infrastructure and disrupt supplies and offshore activities Possible soil erosion and damage to facilities 	<ul style="list-style-type: none"> As above Develop and implement higher structural standards for new or renovated buildings Build concrete-sided buildings instead of metal (more resistant to wind and corrosion)

Note: Integrated gasification combined cycle (IGCC) converts coal to synthetic gas and removes impurities. A combined cycle gas turbine (CCGT) power plant consists of one or more gas turbine generators with systems to recover heat in the form of steam from the turbine exhaust, the steam powering a generator to produce additional electricity.

Table 5 Key Climate Change Impacts and Adaptation—Hydropower

Climate Variable	Physical Components	Key Impacts	Adaptation Options
<ul style="list-style-type: none"> • Precipitation • Temperature • Extreme events 	<ul style="list-style-type: none"> • Dam and other structures (intake, penstock) • Power station (turbines and generators) 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicated below for specific climate changes 	<ul style="list-style-type: none"> • Develop improved hydrological forecasting techniques and adaptive management operating rules • Develop basin-wide management strategies that take into account the full range of downstream environmental and human water uses • Restore and better manage upstream land including afforestation to reduce floods, erosion, siltation, and mudslides • Analysis to estimate likely range of projected climate variations over hydro lifetime • Identify cost-effective designs (new plants) and modifications (existing plants) to deal with specific risks identified for the site
<ul style="list-style-type: none"> • Precipitation (including drought) 	<ul style="list-style-type: none"> • Dam and other structures • Power station 	<ul style="list-style-type: none"> • Changing annual or seasonal patterns can affect river flows and water levels behind dams, either reducing or increasing power output • Siltation can reduce reservoir storage capacity • Increased uncertainty in water flows can affect power output and generation costs 	<ul style="list-style-type: none"> • Increase dam height and/or build small dams upstream (if flow is expected to increase) • Construct or augment water storage reservoirs • Modify spillway capacities and install controllable spillway gates to flush silted reservoirs • Modify number and type of turbines more suited to expected water flow rates • Modify canals or tunnels to handle expected changes in water flows • Optimize reservoir management and improve energy output by adapting to changes in rainfall or river flow patterns
<ul style="list-style-type: none"> • Extreme events (glacier melting, floods) 	<ul style="list-style-type: none"> • Dam and other structures • Power station 	<ul style="list-style-type: none"> • Floods and glacial lake outburst floods can damage or destroy infrastructure 	<ul style="list-style-type: none"> • Design more robust dams and infrastructure for heavier flooding and extreme events • Design for increased flows from glacier melting
<ul style="list-style-type: none"> • Higher air temperature, wind speeds, and humidity 	<ul style="list-style-type: none"> • Dam and other structures 	<ul style="list-style-type: none"> • Can increase surface evaporation, reducing water storage and power output. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construct or augment water storage reservoirs

Table 6 Key Climate Change Impacts and Adaptation—Wind Power

Climate Variable	Physical Components	Key Impacts	Adaptation Options
General	• All	• Those listed below	• Develop meteorology-based weather/ climate forecasting.
Wind speed	• Rotor blades/ shaft • Tower/ foundation • Generator	• Changes in wind speed can reduce generation (turbines cannot operate in very high or very low winds). • Within operational wind speeds, output is greatly affected by wind speed. • Changes in wind patterns and duration affect output (e.g., ability to forecast output).	• Design turbines able to operate with and withstand higher wind speeds, gusts, and direction changes. • Install taller towers to capture stronger winds at higher altitudes. • Choose sites that take into account expected wind speed changes during the lifetime of the turbines. • Consider developing and commercializing vertical axis wind turbines (more output per m ² of land area; can operate in wider range of wind speeds).
Air temperature	• Rotor blades/ shaft • Generator	• Changes in extreme cold periods can affect output (e.g., through turbine blade icing).	• Consider effects of extreme temperatures on turbine and blade selection and operation.
Storm surges	• Tower/foundation	• Damage to offshore wind farms	• Stronger structures
Extreme events	• Rotor blades/ shaft • Tower/ foundation	• Damage infrastructure • Difficult access to offshore locations (e.g., for maintenance)	• Design offshore turbines to withstand expected increases in wind-sea wave forces. • Insure against impact of storms on long-term power yields and damage. • Ensure presence of rapid emergency repair teams.

Table 7 Key Climate Change Impacts and Adaptation—Solar Photovoltaic Power

Climate Variable	Physical Components	Key Impacts	Adaptation Options
General	• All	• Those listed below	• Develop meteorology-based weather/ climate forecasting.
Temperature increases	• Solar PV array • Control system, inverters, cables	• Lowers cell efficiency and energy output • Lowers capacity of underground conductors if high ambient temperature • Increases soil temperature	• Improve airflow beneath mounting structure to reduce heat gain and increase outputs. • Specify heat-resistant PV cells and module components designed to withstand short peaks of very high temperature.
Precipitation increases	• Solar PV array • Control system, inverters, cables • Mounting structure	• Can wash away dust (short term) but reduces panel efficiency (less solar radiation) • Snow accumulation on panel reduces efficiency	• Select appropriate tilt panel angle to clean dust. • Select module surface conducive to self-cleaning. • Choose locations with lower probability of dust, grit, snow if practical.
Wind speed; Turbidity	• Solar PV array • Control system, inverters, cables • Mounting structure	• Increased efficiency and output with cooling effect of wind • Scouring of panel and lower output if air is gritty/dusty	• Design structures to withstand higher winds. • Assure free space (panels & mounting) so snow can slide off panel. • In dry areas, consider panel rinsing system to remove dust and grit.
Cloud cover	• Solar PV array • Control system, inverters, cables • Mounting structure	• Increase lowers efficiency/output • Rapid fluctuations in cloud cover can destabilize grid	• Consider distributed systems (rather than feeding power into single part of the grid) to ameliorate cloud impact. • Site PV systems where expected changes in cloud cover are relatively low. • Consider micro-inverters for each panel (in place of small numbers of large centralized inverters) to improve stability and increase power output.
Extreme events (flood, typhoons, drought)	• Solar PV array • Control system, inverters, cables • Mounting structure	• Can damage systems (e.g., lightning strikes)	• Specify stronger mounting structure • Specify cabling and components that can deal with high moisture content and flooding.

Table 9 Key Climate Change Impacts and Adaptation—Biomass Energy and Biofuels

Climate Variable	Physical Components	Key Impacts	Adaptation Options
Floods/precipitation	<ul style="list-style-type: none"> Biomass supply Turbine/generator 	<ul style="list-style-type: none"> Land degradation/erosion with possibly lower fuel supply and less electricity output 	<ul style="list-style-type: none"> Soil and nutrient management Improved water harvesting and use Resilient ecosystems Use of trees and shrubs in agricultural systems to improve soil fertility and soil moisture through increasing soil organic matter.
Precipitation or temperature changes	<ul style="list-style-type: none"> Biomass supply Turbine/generator Boiler and boiler water treatment system Fuel feed system Ash handling and air pollution control systems Cooling tower 	<ul style="list-style-type: none"> Temperature and rainfall changes could increase or decrease electricity output depending on feedstock productivity. Higher rainfall can increase moisture content of feedstock, lowering energy content. Changing precipitation patterns could affect availability of freshwater for cooling. 	<ul style="list-style-type: none"> Expansion of rainwater harvesting, water storage and conservation techniques, water reuse, desalination, water use and irrigation efficiency, adjustment of planting dates and crop varieties, crop relocation, and improved land management Use of salt-tolerant plants (halophytes) or robust crops with high biological heat tolerance and water stress tolerance. Flood protection improvement Expansion of irrigation systems or improvement of the efficiency of irrigation
Extreme events	<ul style="list-style-type: none"> Feedstock and infrastructure 	<ul style="list-style-type: none"> Possible damage to fuel supplies and generation infrastructure 	<ul style="list-style-type: none"> Increase the robustness of biomass power plants Behavioral adaptation measures including early warning systems for rainfall and temperature anomalies, support for emergency harvesting for an imminent extreme event, and provision of crop insurance systems

Table 12 Impacts of Climate Change on Electricity Transmission and Distribution Networks

Climate Variable	Physical Components	Key Impacts	Adaptation Options	Level of Impact
Wind speed and storms	Wind and storm damage	Overhead lines Pylons	Variable	Variable from moderate to high
	Increasing heat convection	Overhead lines	Continuous	Up to 20% capacity increase for each m/s rise in wind speed
Increasing temperature	De-icing	Transformers	Continuous	-1% load per 1°C rise
	Decreased conductivity	Overhead lines Underground cables	Continuous	Resistance rises -0.4% per 1°C degree rise -0.5 to -1% line load capacity per 1°C rise
	Sag	Overhead lines	50°C	4.5 cm per 1°C rise*
	Thawing permafrost	Substations Pylons	Varies with local conditions	Potential total loss of supply locally
Increasing drought	Moisture migration	Underground cables	>55°C at cable surface	Reduces cable capacity by 29%
	Dry soil movement	Underground cables	Variable	Repair cost roughly \$4,200 per fault
Flooding	Inundation	Substations	Varies with local conditions	Up to 100% loss of supply locally
	Cable breakage	Underground cables	As above	As above

cm = centimeters, m/s = meters per second

*at conductor surface for 35°C ambient temperature and span of 400 meters

Source: European Commission, 2011. *The Impact of Climate Change on Electricity Demand*. www.sderproject.eu

Table 13 Key Climate Change Impacts and Adaptation—Electricity Transmission and Distribution

Climate Variable	Physical Components	Key Impacts	Adaptation Options
Temperature increase	<ul style="list-style-type: none"> • Transmission and distribution cables • Substations (infrastructure, switching gear, etc.) • Transformers 	<ul style="list-style-type: none"> • Can reduce electricity carrying capacity of lines • Can increase losses within substations and transformers. 	<ul style="list-style-type: none"> • Specify more effective cooling for substations and transformers. • Specify certified ICT components that are resilient to higher temperatures and humidity.
Precipitation and flooding	<ul style="list-style-type: none"> • Transmission towers • Distribution cables (if underground) • Substations (infrastructure, switching gear, etc.) • Transformers 	<ul style="list-style-type: none"> • Heavy rains and flooding can undermine tower structures through erosion. • Snow and ice can damage T&D lines through sagging. • Drought can increase dust and lightning damage. • Flooding can damage underground cables and infrastructure in general. 	<ul style="list-style-type: none"> • Build a resilient high-capacity transmission system. • Design improved flood protection measures for equipment mounted at ground level in substations. • Forbid the construction of power lines near dikes and ban "permanent" trees next to existing dikes. • Protect masts, antennae, switch boxes, aerials, overhead wires, and cables from precipitation (water ingress, snow melt); wind; snow (weight); unstable ground conditions (flooding, subsidence); and changes in humidity.
High wind speeds	<ul style="list-style-type: none"> • Transmission and distribution cables • Towers (pylons) and poles 	<ul style="list-style-type: none"> • Strong winds can damage T&D lines. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reinforce existing T&D structures and build underground distribution systems. • Require higher design standards for distribution poles.
Extreme events (flood, typhoons, drought)	<ul style="list-style-type: none"> • Substations (infrastructure, switching gear, etc.) • Control/ICT systems • Transformers 	<ul style="list-style-type: none"> • High temperatures, storms, erosion, or flooding can damage control systems through loss of ICT service or reduced quality of service. 	<ul style="list-style-type: none"> • Increase the system's ability to return to normal operations rapidly if outages do occur. • Change routes of overhead lines along roads away from trees, rigorously prune trees, use covered and/or insulated conductors, and use more underground cables, especially in wooded areas. • Increase decentralized energy generation (with less T&D grid requirements). • Allow increased rerouting during times of disruption. • Include lightning protection (earth wires, spark gaps) in the distribution network. • Design redundancy into ICT systems. • Develop and use "smart transformers" and "smart grids."

ICT = information and communications technology, T&D = transmission and distribution.

Table 14 Key Climate Change Impacts and Adaptation—Electricity End Use

Climate Variable	Physical Components	Key Impacts	Adaptation Options
Temperature, solar radiation, and humidity	<ul style="list-style-type: none"> • Building design 	<ul style="list-style-type: none"> • Increased energy demand: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Higher summer temperatures increase cooling loads. ➢ Colder winter temperatures (which may occur in some locations despite overall warming trend) increase heating loads. 	<ul style="list-style-type: none"> • Require minimum energy performance standards for new commercial buildings and key electricity-using appliances (lighting, air conditioning, refrigeration) with labeling and certification programs for both buildings and key appliances. • Develop legislation and access to finance for energy service companies for efficiency improvements. • Consider mass replacement of incandescent lights with far more efficient compact fluorescent lights, or soon, light-emitting diodes (LEDs). • Adopt ISO 5000, a global energy management standard. • Consider evaporative cooling or absorption chilling systems.
	<ul style="list-style-type: none"> • Air conditioning & heating systems 	<ul style="list-style-type: none"> • As above 	<ul style="list-style-type: none"> • As above: require and enforce minimum energy performance standards.
	<ul style="list-style-type: none"> • Generation and T&D grids 	<ul style="list-style-type: none"> • Increased climate-induced electricity demand requires larger investment in generation and grid systems to cope with increased energy use (MWh) and higher peak demand (MW). 	<ul style="list-style-type: none"> • Increase generation (MWh) and capacity (MW) to meet increased demand. • Improve supply-side efficiency (broad range of generation, transmission, distribution system improvements).

MW = megawatts, MWh = megawatt-hour, T&D = transmission and distribution

Anexo 3: Tablas de Medidas de Adaptación

IPCC Assessment Report nº 5 – Capítulo 14 – Necesidades y Opciones de Adaptación

Table 14-1 | Categories and examples of adaptation options

Category		Examples of options*
Structural/physical	Engineered and built environment	Sea walls and coastal protection structures (5.5.2 and 24.4.3.5; Figure 5-5); flood levees and culverts (26.3.3); water storage and pump storage (Section 23.3.4); sewage works (7.5.2.3); improved drainage (24.4.5.5); beach nourishment (5.4.2.1); flood and cyclone shelters (11.7); building cooler (Section 9.3.5); storm and waste water management (8.2.4.1); transport and road infrastructure adaptation (8.3.3.6); floating houses (8.3.3.4); adjusting power plants and electricity grids (19.2.2; Table 19-2)
	Technological	New crop and animal varieties (7.5.3.1, 7.5.3.3, 7.5.3.3; Box 9-3; Table 9-7); genetic techniques (27.3.4.2); traditional technologies and methods (7.5.2, 27.3.4.2, 28.2.6.1, and 29.0.2.1); efficient irrigation (10.3.6 and 22.4.5.7); Box 20-9; water saving technologies (24.4.1.5 and 26.3.3) including rainwater harvesting (8.3.3.4); conservation agriculture (9.4.3.1 and 22.4.5.7); food storage and preservation facilities (22.4.5.7); hazard mapping and monitoring technology (15.3.2.3 and 28.4.1); early warning systems (7.5.1.1, 8.1.4.2, 8.3.3.3, 11.7.3, 15.4.3.2, 18.6.4, 22.2.3.1, 22.3.5.3, and 22.4.5.2); building insulation (8.3.3.3); mechanical and passive cooling (8.3.3.3); renewable energy technologies (20.7.2); second-generation biofuels (27.3.6.2)
	Ecosystem-based [†]	Cross-Chapter Box CC-1A; Ecological restoration (5.5.2, 5.5.7, 9.4.3.3, and 27.3.2.1); Box 15-1) including wetland and floodplain conservation and restoration; increasing biological diversity (26.4.3); afforestation and reforestation (Box 22-2); conservation and replanting mangrove forest (15.3.4 and 23.7.2); bushfire reduction and prescribed fire (Section 24.4.2.4; Box 26-2); green infrastructure (e.g., shade trees, green roofs) (8.2.4.5, 8.3.3, 11.7.A, and 23.7.4); controlling overfishing (28.2.5.1 and 30.6.1); fisheries co-management (9.4.3.4 and 27.3.3.1); assisted migration or managed translocation (8.4.2.4, 24.4.2.5, 24.4.3.5, and 25.6.2.3); ecological corridors (4.4.2.4); ex situ conservation and seed banks (4.4.2.5); community-based natural resource management (CBNRM) (22.4.5.6); adaptive land use management (Section 23.6.2)
	Services	Social safety nets and social protection (Box 13-2; 8.3, 17.5.1, and 22.4.5.2); food banks and distribution of food surplus (26.6.2.1); municipal services including water and sanitation (3.5.2.3 and 8.3.3.4); vaccination programs (11.7.1); essential public health services (11.7.2) including reproductive health services (11.9.2) and enhanced emergency medical services (8.3.3.8); international trade (8.1, 9.4, and 23.9.2)
Social	Educational	Awareness raising and integrating into education (11.7, 15.2, and 22.4.5.5); gender equity in education (Box 9-2); extension services (9.4.4); sharing local and traditional knowledge (12.3.4 and 28.4.1) including integrating into adaptation planning (28.6.2.1); participatory action research and social learning (22.4.5.3); community surveys (Section 8.4.2.2); knowledge-sharing and learning platforms (8.3.3.2, 8.4.2.4, 15.2.4.2, and 22.4.5.4); international conferences and research networks (8.4.2.5); communication through media (22.4.5.5)
	Informational	Hazard and vulnerability mapping (11.7.2, 8.4.1.5); early warning and response systems (15.4.2.3 and 22.4.5.2) including health early warning systems (11.7.3, 23.5.1, 24.4.6.5, and 26.6.3); systematic monitoring and remote sensing (15.4.2.1 and 28.6); climate services (2.3.3) including improved forecasts (27.3.4.2); downscaling climate scenarios (8.4.1.5); long-term data sets (28.6.2); integrating indigenous climate observations (22.4.5.4, 25.8.2.1, and 28.2.6.1); community-based adaptation plans (5.5.1.4 and 24.4.6.5) including community-driven skills upgrading (8.3.2.2) and participatory scenario development (2.4.4.5)
	Behavioral	Accommodation (5.5.2); household preparation and evacuation planning (27.7.3); retreat (5.5.2) and migration (26.6.2.4), which has its own implications for human health (11.7.4) and human security (12.4.2); soil and water conservation (23.6.2 and 27.3.4.2); livelihood diversification (7.5.1.1, 7.5.2, and 22.4.5.2); changing livestock and aquaculture practices (7.5.1.1); crop-switching (22.3.4.1); changing cropping practices, patterns, and planting dates (7.5.1.1.1, 23.6.1, 28.5.4, and 27.3.4.2; Table 24-2); silvicultural options (25.7.1.2); reliance on social networks (Section 23.6.2.2)
Institutional	Economic	Financial incentives including taxes and subsidies (Box 8-4; 8.4.3 and 17.5.6); insurance (8.4.2.3, 13.3.2.2, 15.3.4.6, 17.5.1, 26.7.4.3, and 29.6.2.2; Box 25-1) including index-based weather insurance schemes (9.4.2 and 22.4.5.2); catastrophe bonds (8.4.2.3 and 10.7.5.1); revolving funds (8.4.3.1); payments for ecosystem services (9.4.3.3 and 23.6.2; Table 27-7); water tariffs (8.3.3.4.1 and 17.5.3); savings groups (8.4.3 and 11.7.4; Box 9-4); microfinance (Box 8-3; 22.4.5.2); disaster contingency funds (22.4.5.2 and 26.7.4.3); cash transfers (Box 13-2)
	Laws and regulations	Land zoning laws (22.4.4.2 and 23.7.4); building standards (8.3.2.2, 10.7.5, and 22.4.5.7); easements (27.3.3.2); water regulations and agreements (26.3.4 and 27.3.1.2); laws to support disaster risk reduction (8.3.2.2); laws to encourage insurance purchasing (10.7.6.2); defining property rights and land tenure security (22.4.5 and 24.4.6.5); protected areas (4.4.2.1); marine protected areas (Box CC-CR Chapter 6; 23.6.5 and 27.3.3.2); fishing quotas (23.9.2); patent pools and technology transfer (15.4.3 and 17.5.5)
	Government policies and programs	National and regional adaptation plans (15.2 and 22.4.4.2; Box 23-1) including mainstreaming climate change; sub-national and local adaptation plans (15.2.1.3 and 22.4.4.4; Box 23-1); urban upgrading programs (8.3.2.2); municipal water management programs (8.3.3.4; Box 25-1); disaster planning and preparedness (11.7); city-level plans (8.3.3.3 and 27.3.5.2); Boxes 26-3 and 27-1); district-level plans (26.3.3); sector plans (26.5.4), which may include integrated water resource management (8.6.3 and 23.7.2); landscape and watershed management (8.4.2.3); integrated coastal zone management (2.4.3, 5.5.4.1, and 21.7.1); adaptive management (2.2.1.3 and 5.5.1.4; Box 5-2); ecosystem-based management (8.4.2.7); sustainable land management (2.3.4); fisheries management (7.5.1.1.3 and 30.6.2.3); and community-based adaptation (5.5.4.1, 8.4, 15.2.2, 21.3.2, 22.4.5, 24.5.2, 29.6.2.2, and 29.6.2.3; Tables 5-4 and 8-4; FAQ 15.1)

Notes: These adaptation options should be considered overlapping rather than discrete, and are often pursued simultaneously as part of adaptation plans. Examples given can be relevant to more than one category.

*A number of these would fall under the term "green infrastructure" in some European Commission documents (European Commission, 2008).

[†]WGI 4A5 section containing representative sample of adaptation options.

Informe de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energético Español - Análisis de la influencia del cambio climático en la oferta y la demanda de energía (2015)

D. Giuliano Girardi, D. José Carlos Romero y Dr. Pedro Linares

Preparado por el IIT para la Oficina Española de Cambio Climático/Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Tabla 26. Análisis de adaptación para oferta y demanda energética ante el cambio climático (ámbito global)

ÁMBITO	MEDIDAS DE ADAPTACIÓN
DEMANDA	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aumentar la generación (REH) y la capacidad instalada (REI) ➤ Mejorar la eficiencia energética del suministro energético ➤ Mejorar la eficiencia en el uso final de las edificaciones, instalaciones, dispositivos y maquinaria ➤ Reducir la necesidad de refrigeración, aumentar la eficiencia de enfriamiento y disminuir las ganancias de calor (GTC) ➤ Emplear tecnologías de almacenamiento de energía que ayuden a aplazar la curva de demanda ➤ Usar estándares mínimos de eficiencia energética de los nuevos edificios comerciales ➤ Lograr el etiquetado y la certificación de una amplia gama de aparatos eléctricos ➤ Desarrollar incentivos y programas de apoyo a la financiación para las empresas de servicios energéticos ➤ Establecer normas mínimas para los materiales eléctricos industriales ➤ Considerar programas voluntarios para la sustitución masiva de las luces fluorescentes, y la sustitución de equipos refrigeradores industriales por modelos más eficientes
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Diseñar puentes, ríos y estueros ante inundaciones y otros fenómenos extremos ➤ Aumentar altura de la presa para evitar incrementos excesivos de flujo ➤ Construir o aumentar las depósitos de almacenamiento de agua ➤ Restaurar y administrar mejor las tierras aguas arriba ➤ Construir pequeñas presas en las cuencas superiores si se esperan aumentos de flujo significativos ➤ Adaptar o ampliar la capacidad instalada para acomodar un aumento de régimen de flujo ➤ Modificar canales y curvas que obstruyen los flujos de agua ➤ Modificar las capacidades de los abederos o instalar compuertas controlables ➤ Modificar el número y tipo de turbinas para adaptarse a los cambios de agua espaciales ➤ Mejorar la integración regional a través de conexiones de transmisión ➤ Realizar estudios de probabilidad de impacto del cambio climático desagregado por cuencas ➤ Identificar diseños rentables (nuevas plantas) y modificaciones (plantas existentes) para hacer frente a los riesgos específicos identificados para cada sitio ➤ Identificar complementariedades operacionales con otras cuencas (por ejemplo, gestión) ➤ Desarrollar nuevas medidas de protección hidroeléctrica y normas de funcionamiento de gestión adaptativa
OFERTA	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Desarrollar estrategias de gestión en toda la cuenca que tengan en cuenta toda la gama de los usos del agua ambiental y humana aguas abajo ➤ Diseñar las plantas que pueden operar a velocidades y flujos de agua superiores ➤ Diseñar complementos espaciales para turbinas en zonas con cambios espaciales en el potencial ➤ Diseñar turbinas offshore que aprovechen los aumentos previstos de fuerza de las olas y el viento en alta mar ➤ Diseñar torres más altas para aprovechar al mayor potencial eólico en zonas altas ➤ Considerar el desarrollo y comercialización de aerogeneradores de eje vertical ➤ Considerar los efectos de las temperaturas extremas altas y bajas en la turbina ➤ Implementar refugios pasivos y activos para reducir la formación de hielo ➤ Desarrollar métodos de gestión capaces de integrar un aumento significativo de energía eólica en la red ➤ Incorporar las variables de adaptación en las estrategias de elección de nuevas ubicaciones para plantas eólicas ➤ Asegurar la presencia de equipos de respuesta rápida de emergencia ➤ Desarrollar sistemas de seguros para posibles daños en la potencia eólica a largo plazo
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Diseñar estructuras de soporte para las instalaciones de turbinas eólicas para soportar vientos de tormenta ➤ Especificar estructuras de montaje capaces de soportar ráfagas de viento fuerte, así como características de turbulencia y los campos de viento para alturas permitidas de turbulencia ➤ Especificar los componentes de las células fotovoltaicas resistentes al calor y diseñar soluciones capaces de soportar picos cortos de muy alta temperatura ➤ Usar diseños que mejoren el flujo de aire por debajo de las estructuras de montaje fotovoltaicas ➤ Operar por encima de superficie rugosa en zonas donde se prevén un aumento de la capa de nieve ➤ Cuando se espere un aumento de la intensidad en la capa de nieve, considerar micro-inversiones para cada panel para mejorar la estabilidad y aumentar la potencia de salida ➤ Considerar sistemas de limpieza que mejoren la estabilidad de la red ➤ Diseñar sistemas solares de seguimiento para CSP especialmente robustos ante fuertes vientos ➤ Usar los sistemas de seguimiento en zonas con riesgo de huracanes (CSP) ➤ Considerar refrigeración por aire forzado y líquida en zonas donde se espere un aumento de temperatura (CSP) ➤ Usar refrigeración por aire en zonas donde se espere menor disponibilidad de agua (CSP) ➤ Usar calentadores de tubería de agua que no sufran de problemas de temperatura ambiente ➤ Desarrollar métodos de medición climática basados en datos meteorológicos ➤ Disponer de equipos de respuesta rápida que permitan el funcionamiento de los sistemas tras fenómenos extremos ➤ Ampliar los sistemas de riego o mejorar la eficiencia de riego existente para contrarrestar los efectos de las sequías ➤ Utilizar turbinas convencionales si no hay disponibilidad de recursos técnicos especializados ➤ Proteger tanto las instalaciones mediante la construcción de diques y mejorar el drenaje ➤ Ampliar la recolección de aguas pluviales, las técnicas de almacenamiento y conservación del agua, la reutilización del agua y la desalinización ➤ Mejorar la gestión del suelo y de riego ➤ Aumentar la robustez de las plantas de energía de biomasa ➤ Realizar prácticas de conservación de la humedad del suelo para mejorar la fertilidad del suelo ➤ Realizar, cuando sea posible, los cultivos en zonas con menor riesgo de inundaciones y tormentas ➤ Implementar sistemas de alerta temprana de las fuertes inundaciones y los incendios de biomasa ➤ Apoyar la recolección de emergencia de la biomasa en caso de un evento extremo inusual ➤ Preparar planes de emergencia de seguridad de cosechas ➤ Mejorar el control de plagas y enfermedades vinculadas al cambio climático ➤ Mejorar la gestión de los ecosistemas
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Diseñar dispositivos capaces de resistir olas extremas ➤ Para los sistemas de energía, utilizar diseños orientados en la dirección de las olas en lugar de a través del frente de ola, para reducir la vulnerabilidad a las tormentas severas ➤ Considerar alternativas de protección contra las tormentas ➤ Mejorar los diseños de tuberías de aguas profundas para soportar mayores tormentas 	

ÁMBITO	MEDIDAS DE ADAPTACIÓN
OFERTA	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Garantizar que las estructuras con los cables de tensión de las torres sean capaces de soportar vientos de tormenta ➤ Especificar estructuras de montaje capaces de soportar ráfagas de viento fuerte, así como características de turbulencia y los campos de viento para alturas permitidas de turbulencia ➤ Especificar los componentes de las células fotovoltaicas resistentes al calor y diseñar soluciones capaces de soportar picos cortos de muy alta temperatura ➤ Usar diseños que mejoren el flujo de aire por debajo de las estructuras de montaje fotovoltaicas ➤ Operar por encima de superficie rugosa en zonas donde se prevén un aumento de la capa de nieve ➤ Cuando se espere un aumento de la intensidad en la capa de nieve, considerar micro-inversiones para cada panel para mejorar la estabilidad y aumentar la potencia de salida ➤ Considerar sistemas de limpieza que mejoren la estabilidad de la red ➤ Diseñar sistemas solares de seguimiento para CSP especialmente robustos ante fuertes vientos ➤ Usar los sistemas de seguimiento en zonas con riesgo de huracanes (CSP) ➤ Considerar refrigeración por aire forzado y líquida en zonas donde se espere un aumento de temperatura (CSP) ➤ Usar refrigeración por aire en zonas donde se espere menor disponibilidad de agua (CSP) ➤ Usar calentadores de tubería de agua que no sufran de problemas de temperatura ambiente ➤ Desarrollar métodos de medición climática basados en datos meteorológicos ➤ Disponer de equipos de respuesta rápida que permitan el funcionamiento de los sistemas tras fenómenos extremos ➤ Ampliar los sistemas de riego o mejorar la eficiencia de riego existente para contrarrestar los efectos de las sequías ➤ Utilizar turbinas convencionales si no hay disponibilidad de recursos técnicos especializados ➤ Proteger tanto las instalaciones mediante la construcción de diques y mejorar el drenaje ➤ Ampliar la recolección de aguas pluviales, las técnicas de almacenamiento y conservación del agua, la reutilización del agua y la desalinización ➤ Mejorar la gestión del suelo y de riego ➤ Aumentar la robustez de las plantas de energía de biomasa ➤ Realizar prácticas de conservación de la humedad del suelo para mejorar la fertilidad del suelo ➤ Realizar, cuando sea posible, los cultivos en zonas con menor riesgo de inundaciones y tormentas ➤ Implementar sistemas de alerta temprana de las fuertes inundaciones y los incendios de biomasa ➤ Apoyar la recolección de emergencia de la biomasa en caso de un evento extremo inusual ➤ Preparar planes de emergencia de seguridad de cosechas ➤ Mejorar el control de plagas y enfermedades vinculadas al cambio climático ➤ Mejorar la gestión de los ecosistemas
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Diseñar dispositivos capaces de resistir olas extremas ➤ Para los sistemas de energía, utilizar diseños orientados en la dirección de las olas en lugar de a través del frente de ola, para reducir la vulnerabilidad a las tormentas severas ➤ Considerar alternativas de protección contra las tormentas ➤ Mejorar los diseños de tuberías de aguas profundas para soportar mayores tormentas

ÁMBITO	MEDIDAS DE ADAPTACIÓN
OFERTA	<p>Plantas termoeléctricas</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Desarrollar e implementar otras tecnologías estructurales para edificios nuevos o renovados ➤ Dotar a edificios nuevos por construcciones de tecnología de fachada de ventis, ya que son más resistentes al viento y a la corrosión ➤ Cerrar el nivel de los edificios ➤ Donde es probable que aumenten los inundaciones, implementar flujos y presas de contención ➤ Construir mejoras en las defensas costeras (diques y mangroves) ➤ Mejorar el drenaje ➤ Proteger los tanques de combustible ➤ Cambiar el sistema de refrigeración de un solo paso a otros de circuito cerrado ➤ Reforzar las instalaciones de refrigeración: usar refrigeradores de calor por condensación, reducir las pérdidas por evaporación, aumentar el uso secundario de aguas residuales y construir torres de enfriamiento de agua ➤ Aumentar el volumen de tratamiento de agua ➤ Instalar torres de refrigeración adicionales y modificar las entradas de agua de refrigeración en lugares críticos ➤ Utilizar cuando sea posible sistemas secos o de refrigeración híbrida ➤ Desarrollar bombas e intercambiadores de calor más eficientes ➤ Elegir mejores lugares (lugares menos expuestos) para construir nuevas centrales térmicas ➤ Formular estrategias a largo plazo para responder a las perturbaciones relacionadas con el clima
	<p>Extracción y procesamiento de combustibles fósiles</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Construir o ampliar reservas de agua para reducir el riesgo de inundaciones en áreas críticas mientras tanto nuevas como existentes ➤ Construir edificios robustos ante inundaciones ➤ Considerar la refrigeración por aire como una alternativa a la refrigeración por agua ➤ Construir o mejorar diques y aliviaderos en tierra ➤ Construir o ampliar las reservas de agua ➤ Desarrollar e integrar las fuentes de agua ➤ Mejorar la robustez de los diques, especialmente en alta mar, ante las subidas de las tormentas ➤ Usar a cabo instalaciones periódicas del riesgo de inundación ➤ Mejorar los métodos utilizados para producir toronento
	<p>Transmisión, distribución y transferencia de electricidad</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Reforzar las estructuras de T & D existentes e construir sistemas de distribución adicionales ➤ Donde se espera un aumento de tormentas eléctricas, evitar protección contra rayos ➤ Construir sistemas de refrigeración más eficientes para subestaciones y transformadores ➤ Mejorar los diseños de las medidas de protección contra maltrataros en los subestaciones ➤ Desarrollar redes inteligentes ➤ Reducir la presión en la red a través de generación y distribución de energía descentralizada

Anteproyecto de Plan de Adaptación al Cambio Climático en el Sector Energía de Chile (2017) - CHILE

Tabla 17. Lista de medidas de adaptación priorizadas para la elaboración de fichas

Ficha	Medida
LA1. Oferta: Analizar el comportamiento y disponibilidad futura de los recursos energéticos frente al cambio climático y llevar la oferta energética a ser más resiliente al cambio climático	
1	Generar información a nivel regional del impacto del cambio climático en la disponibilidad y comportamiento de los recursos energéticos de biomasa, viento y energía solar (H).
2	Promover y fortalecer análisis geográficamente más detallados respecto de las proyecciones de impactos del cambio climático sobre la hidroelectricidad, considerando condiciones medias y condiciones extremas (H).
3	Realizar un análisis sobre el rol de la generación distribuida en el mejoramiento de la resiliencia de los sistemas eléctricos frente a los impactos de eventos extremos producto del cambio climático (H).
LA2. Transporte de Energía: Propender hacia un transporte de energía robusto y sustentable frente al cambio climático	
4	Integrar criterios de adaptación y resiliencia en las normas de distribución eléctrica y fomentar las redes inteligentes (FCI).
Ficha	Medida
LA3. Demanda de energía: Fomentar un confort y una calidad de vida para la población a nivel energético	
5	Realizar un estudio de proyección de la demanda energética por diferentes usos, incorporando la variable de cambio climático (H).
6	Implementar capacidades en gestión de la energía para la industria (Ax).
7	Implementar programas de mejoramiento de la eficiencia energética en el sector público para reducir demandas energéticas por temperaturas extremas (Ax).
LA4. Gobernanza: Fortalecer la gobernanza para la toma de decisiones en el sector energético que propicien la adaptación del sector al cambio climático	
8	Fomentar la coordinación de actores públicos a nivel inter e intra sectorial en los distintos niveles territoriales, para impulsar la adaptación al cambio climático del sector energético (FCI).
9	Fomentar la cooperación público-privada en la generación, intercambio y difusión sobre los impactos del cambio climático y medidas de adaptación en el sector energético (FCI).
LA5. Transversal: Desarrollar actividades transversales que aumenten la resiliencia del sector energético de Chile	
10	Generar información sobre la infraestructura eléctrica crítica vulnerable a eventos climáticos extremos y análisis de posibles medidas de adaptación (H).
11	Generar información sobre el impacto de eventos extremos como marejadas, aluviones e inundaciones sobre el transporte y almacenamiento de combustible, identificando medidas de adaptación (H).
12	Fortalecer la capacidad de gestión y respuesta ante eventos extremos que afectan al sector energético (Ax).
13	Promover la resiliencia energética al cambio climático a nivel local, mediante la inclusión de análisis de riesgo climático en comuna energética (FCI).
14	Integrar los impactos del cambio climático en la planificación energética de largo plazo y en los procesos de expansión de la transmisión eléctrica (H).
15	Contribuir a la inclusión del análisis del impacto de cambio climático en la evaluación de proyectos energéticos en el marco del Sistema de Evaluación Ambiental (SEIA) (H).

Ejemplo de ficha de medida de adaptación

5. Fichas de Medidas de Adaptación

LA1. Oferta Energética: Analizar el comportamiento y disponibilidad de los recursos energéticos frente al cambio climático y llevar la oferta energética a ser más resiliente al cambio climático.

Ficha 1	
Medida	Generar información a nivel regional del impacto del cambio climático en la disponibilidad y comportamiento de los recursos energéticos como biomasa, viento y energía solar
Tipo de medida	Medida habilitadora
Línea de acción	LA1: Oferta Energética
Objetivo	Generar información respecto a los recursos energéticos que sirva de base para la toma de decisiones en el sector energético.
Descripción	<p>Se han detectado importantes brechas de información en el comportamiento (y aprovechamiento) que tendrán los recursos energéticos tales como viento, la biomasa y la energía solar frente a impactos del cambio climático como una menor disponibilidad de agua, eventos extremos como la sequía, o una mayor radiación solar.</p> <p>Esta información es clave para planificar el desarrollo energético del país y adaptar la infraestructura de generación existente en base a los recursos analizados.</p>
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1) Definir recursos y áreas prioritarias a investigar y establecer los estudios necesarios a llevar a cabo 2) Desarrollar estudios para proyectar la disponibilidad y comportamiento de los recursos energéticos como biomasa, viento y energía solar
Plazos	5 años
Indicador de seguimiento	1) Estudios realizados
Responsables	Ministerio de Energía (MdE).
Colaboradores	Academia, CONAF, Ministerio del Medio Ambiente, sector privado, entre otros.
Otros aspectos relevantes	-

Estudio para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector energético colombiano frente al cambio climático (2013) - COLOMBIA

Elaborado para UPME por las consultoras ACON y OPTIM

Tabla 31. Resumen Medidas de adaptación

Grupo de Política	Componente de Política	Programa	Acciones/Medida	Entidad responsable	Meta	Plazo
ENERGETICO	Optimización del Uso de las Fuentes Convencionales de Energía (9.2.1.2.)	1. Eficiencia en la Generación	Mantener y profundizar el sistema de incentivos económicos del mercado de electricidad gestado por las Leyes 142 y 143 de 1993 y sus normas reglamentarias.	MME UPME CREG	Decretos MME regulaciones CREG	Permanente
			Ajuste precio tasas de uso de agua	MADS	Decreto	1 año
			Cuidado Ecológico	MADS	Decreto	1 año
			Regulación emisiones	MADS	Decreto(s)	Permanente
		2. Eficiencia en la Transmisión	Mantener y profundizar el sistema de incentivos económicos del mercado de electricidad gestado por las Leyes 142 y 143 de 1993 y sus normas reglamentarias.	MME UPME CREG	Decreto(s)	Permanente
			Mantenimiento actualizado de Planes de Reducción de Pérdidas.	Empresas Superintendencia	Planes	Permanente
			Mantenimiento actualizado de los límites de pérdidas aceptables.	Empresas Superintendencia	Resolución CREG	Permanente
		3. Aumento en la Capacidad de Generación con Fuentes	Implementación Plan Energético Nacional 2006-2025	MME	Las metas del Plan	Permanente
			Implementación del Plan de Expansión de Referencia 2013-2025	MME		Permanente
			Considerar de forma explícita en los planes de expansión en generación y transmisión de energía eléctrica, los riesgos asociados al cambio climático.	MME UPME CREG	Planes	Permanente
			Desarrollar una infraestructura suficiente para el transporte de gas natural.	MME	Infraestructura suficiente	Permanente
			Que el ENFCC que reportan los generadores sea el más conservador posible: utilizando la hidrología más crítica; y (en las térmicas) la garantía física del combustible se base en contratos.	Empresas UPME	ENFCCs conservadores	Permanente
			Remover el límite de 18.9 MW para acceso de FVCE al SIN			
4. Cambios regulatorios	Tarifa diferenciada para un mercado de energía de FNCE	MME UPME CREG	Resolución CREG	1 año		

Grupo de Política	Componente de Política	Programa	Acciones/Medida	Entidad responsable	Meta	Plazo		
			Facilitar la entrada al SIN de proyectos de cogeneración y/o autogeneración de pequeña y mediana capacidad.	MME UPME CREG	Resolución CREG	1 año		
			Diseñar un Cargo por Confianza que reconozca la naturaleza y la temporalidad de las fuentes no convencionales de energía.	MME UPME CREG	Resolución CREG	1 año		
			Rediseñar el sistema de subsidios a los combustibles para la generación con fuentes fósiles de energía en ZNI para que esos mismos recursos permitan transitar gradualmente hacia FNCE en las ZNI	MME UPME CREG	Resolución CREG	1 año		
		5. Energía Solar	Las mismas acciones del Programa 4			Las mismas entidades, metas y plazos del Programa 4		
			Construcción de base de información pública sobre oferta de energía solar en Colombia	IPSE IDEAM UPME	Base pública de información para toma de decisiones de inversión	Permanente		
			Adelantar los programas de investigación sobre energía solar previstos en el Plan de Ciencia Tecnología e Innovación para el Desarrollo de la Energía Sustentable.	COLCIENCIAS UPME MME	Tecnologías solares adecuadas para condiciones locales	Permanente		
		6. Energía Eólica	Las mismas acciones del Programa 4			Las mismas entidades, metas y plazos del Programa 4		
			Construcción de base de información pública sobre oferta de energía solar en Colombia	IPSE IDEAM UPME	Base pública de información para toma de decisiones de inversión	Permanente		

Grupo de Política	Componente de Política	Programa	Acciones/Medida	Entidad responsable	Meta	Plazo
			Adelantar los programas de investigación sobre energía eólica previstos en el Plan de Ciencia Tecnología e Innovación para el Desarrollo de la Energía Sustentable.	COLCIENCIAS UPME MME	Tecnologías eólicas adecuadas para condiciones locales	Permanente
		7. PCHs	Elevar el límite de 10 MW para conectarse al SIN sin necesidad de ofertar en el mercado mayorista.	MME UPME CREG	Resolución CREG	1 año
		6. Biomasa	Las mismas acciones del Programa 4	Las mismas entidades, metas y plazos del Programa 4		
			Promoción Diesel orgánico (Jatropha etc.) y Biogas para generación en ZNI	IPSE UPME CREG	Una planta piloto biogás. Una planta piloto biodiesel (Jatropha), en ZNI	2 años
			Promoción Plantaciones forestales dedicadas para producción de biomasa en ZNI	IPSE MADS CAR's	500 has plantación para biomasa en ZNI	2 años
			Adelantar los programas de investigación sobre generación con biomasa previstos en el Plan de Ciencia Tecnología e Innovación para el Desarrollo de la Energía Sustentable.	COLCIENCIAS UPME MME	Tecnologías solares adecuadas para condiciones locales	Permanente
		9. Geotérmica	Las mismas acciones del Programa 4	Las mismas entidades, metas y plazos del Programa 4		
			Construcción de base de información pública sobre oferta de energía geotérmica en Colombia	IPSE IDGAM UPME	Base pública de información para toma de decisiones de inversión	Permanente

Grupo de Política	Componente de Política	Programa	Acciones/Medida	Entidad responsable	Meta	Plazo
			Adelantar los programas de investigación geotermia previstos en el Plan de Ciencia Tecnología e Innovación para el Desarrollo de la Energía Sustentable.	COLCIENCIAS UPME MME	Tecnologías geotermia adecuadas para condiciones locales	Permanente
	Optimización del Consumo de Electricidad (§ 2.4.3.)	10. Consumo Eficiente Sector Residencial	De acuerdo con lo previsto por el PROURE: mejoramiento de la eficiencia energética: viviendas energéticamente eficiente, reemplazo de bombillas incandescentes, charaterización de neveras.	MME	400 Viviendas de Interés Social Energéticamente eficientes	2 años
			Aumento en la cobertura del servicio gas natural domiciliario para desplazar calentadores eléctricos	MME	600.000 calentadores a gas.	2 años
			Introducir cambios regulatorios que incentiven al micro generación a nivel de hogares con tecnología fotovoltaica.	MME UPME CREG	10 MW de energía ahorrados.	2 años
			Optimización de la distribución de subsidios entre los estratos 1, 2, 3.	MME UPME CREG	Ahora 1% en el consumo domestico de electricidad	2 años
			Adopción del Reglamento técnico de etiquetado-RETIQ	MME UPME CREG	100% de los electrodomésticos con etiquetado RETIQ	5 años
		11. Consumo Eficiente Sector Industrial	De acuerdo con lo previsto por el PROURE: mejoramiento de la eficiencia energética: optimización de la cadena de frío; reemplazo de luminarias, optimización de procesos de combustión, de motores convencionales, cogeneración y autogeneración; uso eficiente de la energía en Pequeñas y Medianas Empresas, renovación tecnológica para la optimización del uso de calderas, programas de gestión integral de energía en empresas.	MME UPME CREG	Metas del PROURE	5 años

Grupo de Política	Componente de Política	Programa	Acciones/Medida	Entidad responsable	Meta	Plazo
			Adelantar los programas de investigación sobre eficiencia energética en el sector industrial previstos en el Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo de la Energía Sustentable	COLCIENCIAS UPME MME	50% de las industrias con tecnologías energéticas eficientes	5 años
			Adopción del Reglamento técnico de etiquetado-RETIQ	UPME	Reglamento adoptado	1 año
		11. Autogeneración	De acuerdo con lo previsto por el PROURE: mejoramiento de la eficiencia energética; fomento reconversión energética y uso eficiente y sostenible de edificaciones, caracterización y gestión de indicadores, actualización y reconversión tecnológica del alumbrado público, y sustitución de equipos de refrigeración, eficiencia energética en iluminación en entidades públicas (centros hospitalarios y colegios)	MME UPME CREG	Metas del PROURE	5 años
			Facilitar la entrada al SIN de proyectos de cogeneración y/o autogeneración de pequeña y mediana capacidad.	MME UPME CREG	Resolución CREG Aumento de la oferta del SIN en 175 MW	1 año
		12. Cargo por Contabilidad	Rediseñar el Cargo por Contabilidad de manera que cada usuario pueda, de acuerdo con sus propias condiciones (aversión al riesgo, costos de desabastecimiento etc.) optar por la inclusión, o no, de este cargo en su tarifa	MME UPME CREG	Resolución CREG	1 año
			Adopción del Reglamento técnico de etiquetado-RETIQ	MME UPME CREG	Resolución CREG	1 año

Grupo de Política	Componente de Política	Programa	Acciones/Medida	Entidad responsable	Meta	Plazo
AMBIENTAL	Políticas Ambientales (9.2.1.4)	13. Conservación de Cuencas y Ecosistemas	Dar continuidad y profundizar el desarrollo de las siguientes políticas: Política para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, Política para la Conservación de Áreas Naturales y la Biodiversidad, Fortalecimiento del Sistema Nacional y de los Sistemas Regionales de Áreas Protegidas, Plan Nacional de Restauración y las Políticas de Ordenamiento Territorial.	MADS	Políticas en marcha en cuencas relevantes al sector eléctrico	Permanente
			Adoptar e implementar una política de conservación de bosques que genere los incentivos económicos necesarios para promover la conservación de ecosistemas y cuencas estratégicas en áreas privadas y comunitarias.	MADS	Política adoptada por el CONPES	1 año
		14. Agenda Regulatoria	Mantener actualizada la agenda regulatoria en temas relativos a la calidad del aire, el caudal Ambiental y las tasas de uso de agua.	MADS	Políticas ambientales actualizadas	permanente
	15. Fortalecimiento Institucional		Mantener un proceso continuo de fortalecimiento de autoridades ambientales nacionales y regionales para asegurar la eficiencia y pertinencia de la regulación ambiental aplicable al sector.	MADS	Autoridades ambientales fortalecidas	Permanente
Fortalecer en el DEAM, y fomentar en el sector privado, la capacidad para capturar, procesar, analizar, interpretar y difundir información climática útil para el diseño de medidas de adaptación a nivel local.			MADS IDEAM	Información meteorológica suficiente para decisiones de adaptación	Permanente	

