



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°4: ESTUDIOS RECOMENDADOS PARA EL NAP-E

JULIO DE 2020

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

Informe N°4: Estudios Recomendados para el NAP-E

Julio de 2020

Autor:

Pablo Ignacio Ferragut Varela, consultor nacional PNUD Uruguay.

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

1.	Introducción	7
2.	Estudios Recomendados	9
2.1.	Estudios Recomendados	12
2.1.1.	Disponibilidad de agua y ocurrencia de sequías	13
2.1.2.	Vientos.....	14
2.1.3.	Radiación Solar	14
2.1.4.	Aumento del Nivel del Mar y el Oleaje	15
2.1.5.	Aumento de la temperatura, ocurrencia e intensidad de olas de calor/frío	15
2.1.6.	Impacto de los Eventos Climáticos Extremos.....	16
2.1.7.	Nuevas tecnologías energéticas	18

1. Introducción

El presente Informe tiene como finalidad identificar una serie de estudios a realizar para cerrar brechas de información y conocimiento, procurando que sean de utilidad para el diseño, priorización e implementación de medidas de adaptación al Cambio Climático en el sector energético de Uruguay. El mismo se desarrolla en el marco de las actividades preparatorias para la elaboración del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, sector energía (NAP-E).

La elaboración del NAP-E y la evaluación e implementación de las medidas de adaptación, requieren de la realización de una serie de estudios que permitan evaluar las vulnerabilidades y cuantificar los riesgos del sistema energético nacional ante el Cambio Climático y la Variabilidad Climática. Estos estudios requieren de complejos sets de datos que no siempre están disponibles en los sistemas de información de las instituciones dedicadas a recopilarlas. Uno de los aspectos más complejos es que para evaluar variaciones climáticas de largo plazo, es necesario contar con series largas y uniformes que permitan cubrir una amplia extensión geográfica, lo cual implica contar con instrumental, estaciones de medición y técnicos en diferentes puntos del territorio nacional. Por otra parte, la tecnología necesaria (satélites, radares, instrumental específico, etc.) no siempre está disponible en los períodos necesarios o incluso al día de hoy, a nivel internacional, existen carencias para la medición y entendimiento de algunos fenómenos climáticos. En otro sentido, el interés para el cual haya sido diseñada y dimensionada una determinada red de medición, puede no coincidir exactamente con las necesidades del sistema energético (ej. altura de medición del viento), representando otro desafío para la realización de los estudios. Del lado del sistema energético, también se requiere de información detallada que permita evaluar los impactos climáticos en la infraestructura y la planificación energética.

Hechas las salvedades anteriores, Uruguay ha avanzado en la realización de estudios de caracterización y proyecciones climáticas de algunas variables, en el marco del desarrollo de los diferentes Planes de Adaptación sectoriales (NAP-Agro; NAP-Costas y NAP-Ciudades), lo cual constituye una buena base de conocimiento para avanzar hacia las necesidades del NAP-E.

Fuentes

La información para la realización de este Informe fue obtenida principalmente a través de las entrevistas realizadas a investigadores y expertos del sector energético, sector público y académico entre los meses de febrero y mayo de 2020. Dichas entrevistas fueron debidamente resumidas en el Informe N°2 “Resumen de Entrevistas con Actores Clave – Vulnerabilidades, Información Climática y Lecciones Aprendidas de los NAPs”, realizado también en el marco de esta consultoría de la etapa preparatoria para la elaboración del NAP-E. Además de las entrevistas y la consulta directa a expertos, los Talleres Sectoriales realizados en mayo y junio de 2020 (resumidos en el Informe N°3 “Resumen de Talleres Sectoriales”) y la propia investigación del consultor, permitieron complementar los datos obtenidos de forma directa por los medios mencionados.

Este Informe se construye sobre los Informes precedentes, buscando identificar los estudios que sería recomendable profundizar o realizar en el marco de la planificación de la adaptación al Cambio Climático del sector energía en Uruguay. En el Informe N°1 “Sistematización de antecedentes sobre adaptación al cambio climático – vulnerabilidades, medidas de adaptación y necesidades de información” se puede encontrar mayor información sobre el sistema energético uruguayo y un mayor detalle de los impactos del Cambio Climático sobre el sector energía, mientras que los Informes N°2 “Resumen de entrevistas con actores clave – vulnerabilidades, información climática y lecciones aprendidas de los NAPs” y N°3 “Resumen de

Talleres Sectoriales” realizan una síntesis del proceso de consulta sobre vulnerabilidades e información y conocimiento climático en Uruguay.

Enfoque

Ebinger y Vergara (Banco Mundial, 2011), plantean que existen dos grandes categorías en las medidas de adaptación, por un lado aquellas que buscan mejorar la capacidad adaptativa del sistema, mientras que por otro está el despliegue de acciones de adaptación concretas (obras, etc.). Dentro de la primera categoría, se incluye la mejora del sistema de conocimiento climático y energético, ya que éste constituye la base sobre la cual luego se diseñan y evalúan las medidas.

Los mismos autores, plantean que hay dos corrientes de información requeridas: la primera se refiere al sector energético en sí mismo, mientras que la segunda se refiere a todo lo relacionado a información climática, meteorológica y ambiental relevante para entender los riesgos sobre el sistema energético.

Por otra parte, se debe mencionar que los riesgos a los que un sistema se verá expuesto se irán modificando en el tiempo, en función de las nuevas condiciones que se vayan verificando (climáticas, de infraestructura o de demanda) y las decisiones que se tomen, así como también la posibilidad de evaluarlos, a medida que la ciencia vaya avanzando en su capacidad de analizar y entender el clima y su variabilidad en el largo plazo y se vaya acumulando mayor información y conocimiento en Uruguay. Es decir que se debe mantener un enfoque dinámico ya que siempre se deberá estudiar si las nuevas inversiones o condiciones del sector energético, generan una mayor vulnerabilidad o resiliencia del sistema ante el Cambio Climático. Es decir, que si bien este tipo de estudios se recomiendan al día de hoy, será necesario actualizarlos e incluir criterios de Adaptación al Cambio Climático en las futuras inversiones y decisiones de planificación energética, lo cual generará, lógicamente, necesidad de nuevos estudios.

Finalmente, el Plan de Adaptación deberá desarrollar un proceso continuo de evaluación de riesgos ante el Cambio Climático y de diseño e implementación de medidas para minimizarlos.

Esquema del Sistema Energético Uruguayo

Se presenta a continuación en la Fig. 1 el Esquema del Sistema Energético Uruguayo ante el Cambio Climático, una representación conceptual del mismo en el que se deja constancia de la categorización realizada para el análisis, tanto desde el punto de vista de las cadenas de valor energéticas, como desde el lado de las variables hidrológicas, meteorológicas y climáticas.

Figura 1: Esquema del Sistema Energético Uruguayo

Fuente: Elaboración propia



2. Estudios Recomendados

En esta sección se presentan una serie de estudios recomendados para poder planificar el diseño y la evaluación de medidas de adaptación en el sector energético uruguayo. Cada uno de estos estudios tiene una muy breve justificación, por más información pueden consultarse los Informes N°1; 2 y 3 de la etapa preparatoria.

Si bien se enumeran una serie de estudios, no se establece ningún orden de prioridad sobre los mismos, ya que esto deberá surgir de un análisis ponderado de riesgos que considere, de la forma más precisa posible, las probabilidades de ocurrencia y potenciales impactos del Cambio Climático sobre el sistema energético, el sistema socioeconómico, las infraestructuras, el medio ambiente y las personas, priorizando aquellos que tengan mayor probabilidad ocurrencia y mayor impacto esperado. De hecho, resulta crítico avanzar desde la Matriz de Vulnerabilidades definida, hacia una evaluación de riesgos climáticos del sistema en su conjunto. Los estudios recomendados a continuación permitirían una mejor evaluación de dichos riesgos.

Por otra parte, estos estudios son simplemente una guía indicativa para la elaboración de términos de referencia concretos sobre cada uno de ellos, pudiendo incluso encontrarse sinergias o nuevos enfoques y aspectos a estudiar.

Si bien en este capítulo se presentan los estudios que se consideran relevantes, no se realiza una estimación de los costos de realización, lo cual deberá ser valorado oportunamente para obtener los recursos para su desarrollo e implementación.

Conocimiento Climático-Energético en Uruguay

Se presenta a continuación la Fig. 2 “Matriz de correlación entre variables climáticas, eventos extremos y los principales impactos en el sistema energético uruguayo”. Un símbolo de “+” indica que si la variable aumenta tiene un impacto positivo sobre el ítem considerado, mientras que un símbolo de “-” indica una correlación negativa; si aparecen los dos símbolos es que no es posible indicar el efecto neto ya que existen impactos en las dos direcciones. En el caso de que diga “NA” es que no se identificó un impacto significativo.

Fig. 2: Matriz de correlación entre variables climáticas, eventos extremos y los principales impactos en el sistema energético uruguayo

		Variables Climáticas							Eventos Extremos								
		Aumento de Temperatura	Precipitaciones	Disponibilidad de agua	Viento	Radiación	Aumento del Nivel del Mar	Oleaje	Inundaciones	Sequías	Olas de Calor	Olas de Frio	Vientos Extremos	Precipitaciones Extremas	Caída de Rayos	Granizo	Incendios Forestales
Recurso / Generación Eléctrica	Hidroeléctrica	-	+	+	NA	NA	NA	NA	-	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Eólica Onshore/Offshore*	NA	NA	NA	+	NA	-	-	NA	NA	NA	NA	-	NA	-	NA	NA
	Solar PV	-	NA	NA	NA	+	NA	NA	NA	NA	-	NA	-	-	-	-	NA
	Térmica Fósil***	-	NA	+	NA	NA	-	NA	-	-	-	NA	NA	-	NA	NA	NA
	Térmica Biomasa (Recurso)**	+	+	+	NA	+	NA	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Producción de Combustibles	Térmica Biomasa (Generación)***	-	NA	+	NA	NA	NA	NA	-	-	-	NA	NA	-	NA	NA	NA
	Terminal de Importación de Crudo	NA	NA	NA	-	NA	-	-	NA	NA	NA	NA	-	NA	NA	NA	NA
	Producción de Biocombustibles	+	+	+	NA	+	NA	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Transporte de Energía	Refinería de La Teja	-	NA	+	NA	NA	-	NA	-	NA	NA	NA	-	-	-	NA	NA
	Eléctrica	-	NA	NA	-	NA	NA	NA	-	NA	-	NA	-	NA	-	NA	-
Demanda de Energía	Combustibles	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-	-	NA	NA	-	-	NA	NA	NA
	Eléctrica	+/-	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	+	+	NA	NA	NA	NA	NA
	Combustibles	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-	+	NA	NA	NA	NA	NA

* Los impactos de Aumento del Nivel del Mar y Oleaje son exclusivos para la Eólica Offshore

** Si bien una mayor radiación y disponibilidad de agua se corresponden generalmente con un mayor crecimiento de biomasa, esto también depende del tipo de cultivo

*** Una mayor disponibilidad de agua no implica mayor generación, pero sí la escasez de agua puede restringir la generación, por eso se marca una correlación positiva

Fuente: Elaboración propia

En términos generales, los impactos del Cambio Climático sobre el sector energético no están evaluados en Uruguay, aunque sí existe un buen conocimiento de la gestión de la variabilidad climática en algunas variables, dada la gestión del mix energético de los últimos 40 años (basado en hidroeléctrica) y a la presencia de una alta proporción de energías renovables no gestionables (eólica y solar).

En el marco del desarrollo de los Planes de Adaptación sectoriales (NAP-Agro, NAP-Costas y NAP-Ciudades), se realizaron una serie de estudios sobre las variables climáticas, tanto de caracterización y análisis de datos históricos, como de proyección de escenarios de Cambio Climático.

Las variables estudiadas y proyectadas en escenarios de cambio climático han sido la temperatura, las precipitaciones, oleaje y nivel del mar.

Por otra parte, se realizó la caracterización de los vientos regionales y su vínculo con fenómenos costeros (oleaje y nivel del mar).

En la Fig. 3: Estudios realizados en el marco de NAP-Agro, NAP-Costas y NAP-Ciudades se listan los estudios realizados por los diferentes Planes de Adaptación sectoriales.

Si bien estos estudios constituyen una muy buena base de conocimiento y han permitido desarrollar capacidades en el sistema de investigación uruguayo, el interés de los mismos era analizar los impactos focalizados sobre la faja costera o la producción agropecuaria, por lo que en ningún caso se estudió el impacto sobre la infraestructura o el abastecimiento energético.

El único estudio que se identificó sobre impactos del Cambio Climático en el sector energía en Uruguay, está vinculado al Proyecto Modernización del Complejo Hidroeléctrico Binacional Salto Grande¹ y sobre el cual se definió el plan de inversiones para la actualización de la central.

Por otra parte, existen una serie de estudios sobre algunas de las variables mencionadas (ej. mapa solar, mapa eólico, vientos extremos, sistemas de alerta temprana de inundaciones, etc.) pero que se realizaron sobre la situación y variabilidad actual, por lo que no contienen proyecciones bajo escenarios de Cambio Climático. En cuanto al sistema de información climática, las principales carencias se encontraron en lo que refiere a observación, registro y análisis de los eventos climáticos extremos. Un mayor detalle de esto puede encontrarse principalmente en el Informe N°2, aunque algunas breves menciones se establecen en la justificación de cada uno de los estudios recomendados en este Informe.

Una última mención viene asociada a que el hecho de generar este tipo de estudios y fortalecer las capacidades de los investigadores e instituciones relacionadas de evaluar las amenazas climáticas, es considerada en sí misma una medida de adaptación “no-regret”, ya que la inversión que debe realizarse está muy por debajo de las ganancias potenciales que permite obtener.

¹ No se tuvo acceso al estudio, los documentos públicos sobre el proyecto están disponibles en la web del Banco Interamericano de Desarrollo (<https://www.iadb.org/es/project/RG-L1124>)

Fig 3. Estudios Realizados en el marco de NAP-Agro, NAP-Costas y NAP-Ciudades

- Alonso R, Jackson M, Santoro P y Solari S 2019. Validación de los vientos de reanálisis para la generación de hindcasts de oleaje y nivel del mar en la costa uruguaya. Producto realizado en el marco del Plan Nacional de Adaptación Costera y el Plan Nacional de Adaptación en Ciudades, Convenio MOVOTMA - Facultad de Ingeniería, 64 pp. Financiado por los proyectos PNUD URU/18/002 y AECID-ARAUCLIMA 2016.
- Alonso R y Solari S 2019. Hindcast de oleaje para la costa uruguaya. Producto realizado en el marco del Plan Nacional de Adaptación Costera y el Plan Nacional de Adaptación en Ciudades, Convenio MOVOTMA - Facultad de Ingeniería, 23 pp. Financiado por los proyectos PNUD URU/18/002 y AECID-ARAUCLIMA 2016.
- 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 MOVOTMA – Facultad de Ciencias, 71 pp. Financiado por los proyectos PNUD-URU/16/G 34 y AECID-ARAUCLIMA 2016.
- Barreiro M, Arizmendi F, Trinchín R 2019 (b). Variabilidad observada del clima en Uruguay. Producto realizado en el marco del Plan Nacional de Adaptación Costera y el Plan Nacional de Adaptación en Ciudades, Convenio MOVOTMA – Facultad de Ciencias, 52 pp. Financiado por los proyectos PNUD URU/18/002 y AECID-ARAUCLIMA 2016.
- Barreiro M, Arizmendi F, Trinchín R 2019 (c). Proyecciones del clima sobre Uruguay. Producto realizado en el marco del Plan Nacional de Adaptación Costera y el Plan Nacional de Adaptación en Ciudades, Convenio MOVOTMA – Facultad de Ciencias, 31 pp. Financiado por los proyectos PNUD-URU/16/G 34 y AECID-ARAUCLIMA 2016.
- Barreiro M, Arizmendi F, Trinchín R, Montesino Y y Santana R 2020. Variabilidad de vientos regionales y relación con lluvias en Montevideo y nivel del mar en la costa. Convenio MOVOTMA – Facultad de Ciencias, 30 pp. Financiado por los proyectos PNUD-URU/16/G 34 y AECID-ARAUCLIMA 2016.
- Bentancur, V. y Molinari, M. (2019). Proyecciones climáticas mediante reducción estadística de escala para Uruguay. Montevideo: PNA-Agro (MGAP-FAO-PNUD).
- Chreties C 2019. Hindcast de caudales en cuencas costeras de Uruguay. Producto realizado en el marco del Plan Nacional de Adaptación Costera y el Plan Nacional de Adaptación en Ciudades, Convenio MOVOTMA - Facultad de Ingeniería, 6 pp. Anexos precipitaciones y caudales. Financiado por los proyectos PNUD URU/18/002 y AECID-ARAUCLIMA 2016.
- Fossati M y Solari S 2019. Dinámica del Río de la Plata y de la costa oceánica. Simulación retrospectiva del nivel del mar, corrientes y oleaje. Producto realizado en el marco del Plan Nacional de Adaptación Costera y el Plan Nacional de Adaptación en Ciudades, Convenio MOVOTMA - Facultad de Ingeniería, 32 pp. Financiado por los proyectos PNUD URU/18/002 y AECID-ARAUCLIMA 2016.
- Solari S y Fossati M 2019. Resumen de datos granulométricos en la costa de Uruguay. Producto realizado en el marco del Plan Nacional de Adaptación Costera y el Plan Nacional de Adaptación en Ciudades, Convenio MOVOTMA - Facultad de Ingeniería, 5 pp. Financiado por los proyectos PNUD URU/18/002 y AECID-ARAUCLIMA 2016.
- Proyecciones de cambio climático del oleaje y residuo del nivel del mar en Uruguay (realizado por la Universidad de Cantabria)
- Solari S, Alonso R y Fossati M 2019. Impacto del cambio climático en las inundaciones costeras y erosión debido a tormentas. El caso de estudio de la playa Charrúa de la ciudad de Juan Lacaze.

2.1. Estudios Recomendados

A la hora de estudiar el impacto del Cambio Climático y la Variabilidad Climática sobre el sistema energético, debemos diferenciar al menos dos etapas. Por un lado, se debe establecer el escenario climático para las variables relevantes que ya fueron definidas anteriormente (ej. temperatura, precipitaciones, radiación solar, disponibilidad de agua, etc.), mientras que por otro se debe incorporar esta información climática a los sistemas de gestión, pronóstico y planificación energética de muy corto, corto, mediano y largo plazo. Esto es lo que permitirá establecer diferentes escenarios de riesgo climático para el sistema energético y tomar medidas de adaptación en consecuencia. Por otra parte, establecer los escenarios climáticos e incorporarlos a la planificación energética permitirá no solamente entender el sistema energético actual, sino también evaluar su expansión y los proyectos de inversión.

El riesgo deberá evaluarse en al menos dos dimensiones: sobre el sistema en su conjunto y sobre los diferentes componentes de las cadenas de valor energéticas, ya que las medidas de adaptación resultantes para minimizar uno y otro tipo de riesgo pueden ser sustancialmente diferentes.

En la Fig. 4 se listan los estudios que se recomienda realizar, brindándose una breve justificación de los mismos en los apartados subsiguientes. El listado no representa un orden de prioridad, sino que esto deberá surgir de un proceso de reflexión y consulta, basados en la Matriz de Vulnerabilidades construida en la etapa preparatoria y disponible en los Informe N°2 y N°5. Una última mención se refiere a que el foco de los estudios aquí listados está puesto en el sistema energético actual, pero se deberá mantener una línea de estudios sobre nuevas tecnologías (ver apartado 2.1.7) y cómo estas pueden afectar a la Adaptación.

Figura 4: Estudios Recomendados

Amenaza/Variable Climática	Enfoque de los Estudios Recomendados
Disponibilidad de Agua y Ocurrencia de Sequías	Aportes al Río Negro y Generación Hidroeléctrica
	Ocurrencia e intensidad de de sequías, generación hidroeléctrica e impacto sobre el abastecimiento energético
	Potencial impacto sobre actividades intensivas en uso de agua (Generación Térmica Fósil y Refinación)
Vientos	Dinámica e intensidad de los vientos y su impacto en la generación eólica
Radiación Solar	Impacto sobre la generación solar fotovoltaica
Aumento del Nivel del Mar y el Oleaje	Operabilidad de la Boya Petrolera
	Impacto sobre las infraestructuras costeras existentes (Refinería de La Teja, Central Térmica de Punta del Tigre) y futuras
Aumento de la temperatura y ocurrencia e intensidad de olas de calor/frío	Impactos sobre la Demanda y el Abastecimiento Energético
	Actualización del Balance de Energía Útil
Impacto de Eventos Extremos (vientos, descargas eléctricas, precipitaciones y granizo)	Impactos de la caída de rayos, granizo y vientos extremos sobre los Parques Eólicos, Granjas Solares y la Trasmisión y Distribución Eléctrica
	Impactos de la caída de Rayos y Granizo sobre los Parques Eólicos, las Granjas Solares y la Trasmisión y Distribución Eléctrica
	Precipitaciones extremas e inundaciones sobre la Refinería o la Central Punta del Tigre y otras infraestructuras vulnerables

2.1.1. Disponibilidad de agua y ocurrencia de sequías

La generación hidroeléctrica tiene un rol central en el sistema energético uruguayo, tanto por la proporción que representa de la generación total, como por su capacidad de almacenamiento en los embalses, lo que permite respaldar a la generación de energías renovables no gestionables (ej. solar y fotovoltaica). Sin embargo, dado que depende críticamente de las precipitaciones, es un recurso altamente variable año a año. Un año de baja disponibilidad de agua o sequía para la generación hidroeléctrica provoca grandes impactos sobre el sistema de abastecimiento y las cuentas nacionales, dado que debe ser sustituida por fuentes más caras como la generación térmica-fósil o la importación de energía eléctrica.

La capacidad instalada total es de 1.538 MW; de los cuales 945 MW corresponden a la Represa Binacional de Salto Grande² y 593 MW corresponden a las tres centrales ubicadas sobre el Río Negro (Rincón del Bonete -152 MW-; Baygorria -108 MW- y Constitución -333 MW-)

No se identificaron estudios de evaluación del impacto del Cambio Climático en los aportes hídricos para la cuenca del Río Negro, por lo que sería relevante avanzar en esa dirección. Tampoco se han identificado estudios recientes de cómo el sistema energético actual (con un mayor componente de energías renovables, otras opciones para la generación fósil y una mayor interconexión) puede responder ante la ocurrencia de sequías, el cual es un fenómeno recurrente en el país.

En el caso del Río Uruguay, Salto Grande comunicó que ha definido su Plan de Inversiones para la actualización de la central por 80 millones de dólares, basados en una serie de estudios realizados a través de una cooperación técnica con el BID, en la cual se tuvieron en cuenta diferentes escenarios de Cambio Climático³.

El potencial hidroeléctrico en Uruguay ya ha sido desarrollado en una gran proporción, no identificándose otras cuencas relevantes para este tipo de estudios. En el caso de la hidroeléctrica de pequeña escala, un estudio realizado por la Facultad de Ingeniería de la UDELAR a través del Fondo Sectorial de Energía (PROYECTO PR_FSE_2009_1_08), estimó que los costos de generación a pequeña escala eran relativamente altos si bien se identificó la posibilidad de sinergias con represas para riego⁴.

En función de los estudios realizados para NAP-Agro, NAP-Costas y NAP-Ciudades, es de esperar que las precipitaciones aumenten en un futuro, aunque también la ocurrencia de extremos, por lo cual se hace crítico conocer cómo afectará esto a los aportes hídricos al Río Negro y el impacto sobre la generación y el despacho de energía hidroeléctrica.

Además de los impactos sobre la generación hidroeléctrica, será conveniente evaluar si la generación eléctrica térmica y la refinación de hidrocarburos, ambas intensivas en el uso de agua y críticas para el sistema energético uruguayo, podrían verse afectadas en un futuro.

Por otra parte, en todos los estudios que se realicen sobre disponibilidad de agua, deberá darse una mirada transversal respecto al uso de agua para otros fines y posibles conflictos, así como también a fenómenos asociados como la floración de cianobacterias, fenómeno presente en situaciones de estiaje en el Río Negro que se exacerba en casos de particular estrés hídrico, lo

²La central hidroeléctrica de Salto Grande tiene una capacidad total de 1890 MW, pero el 50% corresponde a Uruguay y el otro 50% a Argentina.

³Los documentos del proyecto están disponibles en: <https://www.iadb.org/en/project/RG-L1124>

⁴https://www.miem.gub.uy/sites/default/files/generacion_hidroelectrica_en_pequena_escala.pdf

cual puede redundar en potenciales limitaciones en las reservas de agua a partir de la definición de “caudales ecológicos”.

Uruguay posee una buena base de datos pluviométrica e hidrológica (INUMET/DINAGUA/UTE/Salto Grande), con series largas y controladas, que permitirían avanzar en la realización de este tipo de estudios. Por otra parte, dado que las sequías son fenómenos que generan fuertes pérdidas al sector agropecuario, de particular relevancia tanto en Uruguay como en Argentina, existen varios estudios al respecto (aunque con otros fines) y potenciales sinergias con otros sectores de actividad. En el marco de los talleres sectoriales se informó que investigadores de INUMET están trabajando en el Centro Regional del Clima para el sur de Sudamérica (CRC-SAS) y que existe interés en profundizar en esta temática.

2.1.2. Vientos

La energía eólica constituye hoy día aproximadamente un 40% de la generación eléctrica total en valores anuales. Existen más de 40 parques eólicos operativos distribuidos en todo el territorio nacional, aunque principalmente en la zona sur y sureste del país. La potencia instalada total es de 1.511 MW.

Siendo otro de los pilares de la generación eléctrica total, sería necesario evaluar si este recurso podría verse modificado por el Cambio Climático, afectando el potencial de generación o el factor de carga de los parques existentes.

En cuanto a disponibilidad de datos, en Uruguay existe una importante red de medida que se desplegó para evaluar el recurso eólico (UTE) y como parte de la operativa habitual todos los parques eólicos realizan mediciones de velocidad de viento y la reportan a ADME, sin embargo, estos datos comenzaron a recopilarse en la primera década del 2000 por lo que no existen series largas. INUMET posee series más largas pero con mediciones a 10 metros de altura, cuando la altura relevante para la generación eléctrica ronda los 100 metros. Por otra parte, Uruguay desarrolló su mapa eólico en el año 2009.

2.1.3. Radiación Solar

Uruguay posee actualmente 248 MW de potencia instalada en generación solar fotovoltaica, principalmente en el noroeste del país. Si bien en 2019 la generación solar fotovoltaica representó solamente el 3% de la generación eléctrica total, se estima que por su complementariedad con otras fuentes y potencial de desarrollo para la microgeneración, la misma tiene una buena perspectiva de crecimiento en Uruguay. Por otra parte, este estudio sería relevante para lo que es la energía solar térmica o incluso la tecnología solar de concentración.

En cuanto a estudios realizados, Uruguay desarrolló la segunda versión del mapa solar (<http://les.edu.uy/online/msuv2/>) publicada en 2017 y que está hecha a base de medidas de radiación en tierra y datos de satélite.

En cuanto a fuentes de datos, el Laboratorio de Energía Solar (LES) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (UDELAR) posee una red de medida con 8 puntos de medición que permiten una buena cobertura de todo el territorio nacional. Sin embargo, las series de datos no tienen más de 10 años de historia, lo que representa una dificultad para la realización de este tipo de estudios. Este tipo de estudios es complejo, aunque desde el LES se informó que hay antecedentes de estudios realizados en Brasil.

2.1.4. Aumento del Nivel del Mar y el Oleaje

Boya Petrolera

Todo el petróleo crudo que ingresa al país se recibe a través de Terminal del Este en José Ignacio, Maldonado. Allí se encuentra una monoboya, ubicada a unos 3 kilómetros de la costa, unida al terminal de almacenamiento a través de un oleoducto submarino.

La variabilidad climática genera dificultades para las operaciones de descarga, provocando esperas en los buques, con importantes costos asociados. A su vez, se generan frecuentemente roturas y daños sobre la infraestructura por cuestiones climáticas, registrándose habitualmente pequeños derrames operativos y un mayor desgaste de los componentes.

Los vientos severos y el oleaje son los principales fenómenos que afectan a la infraestructura.

En cuanto a conocimiento ya generado, los estudios realizados por NAP-Costas sobre oleaje y vientos serán de mucha utilidad, así como el trabajo realizado por el IMFIA en cuanto a vientos extremos. En cuanto a la disponibilidad de información, en la propia Boya se cuenta con instrumental para medir oleaje y vientos, pero dichos datos no han sido utilizados para estudios académicos, por lo que existe una buena oportunidad de generar sinergias e integrar esa información, siendo además ANCAP, un ente autónomo, el operador de esa infraestructura.

Infraestructuras Costeras

El aumento del nivel del mar puede generar daños sobre cualquier infraestructura costera. En el caso de Uruguay, dos infraestructuras críticas se encuentran precisamente en zonas bajas de la costa: la Refinería de La Teja, en la cual se produce la gran mayoría de los combustibles que se consumen en el país, está ubicada en la Bahía de Montevideo y parte de la construcción está en terreno ganado al mar; por otro lado la Central Térmica de Punta del Tigre, en el departamento de San José, constituye el principal respaldo térmico del país.

Los estudios publicados en el marco del NAP-Costas constituyen la base para la realización de esta investigación, la cual debería analizar los riesgos que el aumento del nivel del mar, en diferentes escenarios de Cambio Climático, podría traer para estas infraestructuras, y plantear diferentes opciones de adaptación.

A su vez, los impactos de estas variables deberán ser considerados para los proyectos de inversión que eventualmente se desarrollen en zonas costeras o de aguas someras, como podrían ser la eólica offshore o la energía undimotriz.

2.1.5. Aumento de la temperatura, ocurrencia e intensidad de olas de calor/frío

Demanda de Energía

La temperatura es una variable que afecta fuertemente a la demanda energética, principalmente a nivel residencial. Esto se debe a que algunos de los principales usos de la energía a nivel residencial son, precisamente, el acondicionamiento térmico (calefacción y enfriamiento) y el calentamiento de agua.

Los picos de consumo eléctrico se dan precisamente durante los días más fríos del invierno y durante las tardes más calurosas del verano, alcanzando niveles muy similares de demanda que rondan los 2.100 MW de potencia instantánea requerida.

Por otra parte, los energéticos utilizados como combustible para calefacción tienen su zafrada durante los meses de invierno. Los principales combustibles utilizados para estos fines son la leña, el gas natural, el GLP y el fuel-oil.

Al momento no se han realizado estudios de cómo el aumento gradual de la temperatura y la ocurrencia de olas de calor y frío pueden afectar la demanda de diferentes energéticos y el estrés que esto podría generar sobre el sistema de abastecimiento.

Al dar la mirada desde el lado de la demanda, es necesario abrir lo más posible la información por variables socioeconómicas, ya que los impactos no son neutrales, afectando de mayor manera a la población más vulnerable. Por este motivo es que se recomienda también la **actualización del Balance de Energía Útil**. Uruguay realizó su balance de energía útil en el año 2006 y al momento solo ha actualizado el del sector industrial cuya actualización 2016 quedaría publicada en el correr del año, por lo que sería altamente recomendable avanzar en esta dirección.

Desde la DNE se informó que se está avanzando con el fin de incorporar una mayor información energética dentro de la Encuesta Continua de Hogares (ECH) que lidera el Instituto Nacional de Estadística (INE). Integrar más esta información tiene como ventaja que permite cruzar de forma directa datos socioeconómicos. Este tipo de informes además permiten mejorar la aplicación de políticas de eficiencia energética, que puede considerarse en sí misma una medida de mitigación y adaptación.

Abastecimiento de Energía

Las altas temperaturas afectan la capacidad de generación térmica, el rendimiento de los paneles fotovoltaicos, de las líneas de transmisión y distribución eléctrica y de las subestaciones. Este aspecto podría afectar la capacidad de respuesta del sistema, en particular en situaciones como olas de calor, en temporadas de sequía, siendo un factor adicional de estrés a una demanda incrementada por las necesidades de acondicionamiento térmico.

La temperatura es una variable que cuenta con buenos registros en Uruguay y para la cual, como se mencionó, se han generado estudios de su aumento histórico (+0.8°C respecto al promedio 1961-1980) y su proyección hacia adelante bajo escenarios de Cambio Climático.

Se debería evaluar este riesgo para comprender sus posibles impactos y necesidades de adaptación.

2.1.6. Impacto de los Eventos Climáticos Extremos

Se espera que el Cambio Climático genere modificaciones en la frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos extremos, los cuales deberán entenderse localmente.

Como se puede ver con más detalle en el Informe N°2, es mucho más complejo poder generar proyecciones de cómo serán estas modificaciones, por un lado porque son fenómenos muchas veces puntuales, lo que los hace más difíciles de capturar, y por otro porque no siempre está presente la tecnología y el instrumental para poder observar estos fenómenos o no existen series largas.

Dicho lo anterior, en este punto se deberá avanzar tanto en intentar comprender cómo la frecuencia e intensidad de estos fenómenos podrá verse afectada en el futuro, así como también

tener una mejor observación y comprensión de estos fenómenos en la variabilidad climática actual.

El objetivo final debe ser comprender cómo pueden verse afectadas las infraestructuras por distintos fenómenos y generar una mayor resiliencia, tanto en las infraestructuras (*climate-proofing*) como en el sistema en su conjunto y en su capacidad de recuperación ante una crisis como por ejemplo la interrupción del suministro.

Por otra parte, los fenómenos climáticos extremos deben entenderse de manera integral ya que suelen generar situaciones de emergencia que afectan a otros sectores críticos que se interrelacionan con el sistema energético, en particular el de las telecomunicaciones. En este sentido, un impacto sobre el abastecimiento de energía eléctrica puede desencadenar la caída de los servicios de telecomunicaciones (que deben ser energizados y cuentan con capacidad de almacenamiento por un tiempo limitado), precisamente en momentos en que son absolutamente críticos para gestionar una crisis climática.

Caída de Rayos, Granizo y Vientos Extremos

La caída de rayos afecta principalmente a los parques eólicos, las granjas solares y las líneas de transmisión y distribución, siendo un fenómeno altamente frecuente en Uruguay. El granizo por su parte afecta principalmente a las granjas solares ya que pueden dañar los módulos. En este caso no existiría información suficiente como para generar estudios que permitan proyectar si estos fenómenos tendrán una mayor probabilidad de ocurrencia e intensidad en el futuro. La forma en que se observan y registran actualmente, el hecho de que sean muy localizados geográficamente y que no se cuenta aún con instrumental (ej. radar meteorológico) como para poder observar mejor las tormentas, hacen necesario buscar otras alternativas para evaluar las medidas de adaptación.

En este punto se debería avanzar en mejorar la calidad de la observación de estos fenómenos y conocer mejor los incidentes que se tienen actualmente, los costos y dificultades que generan y si la infraestructura actual es resiliente a los mismos, así como también incorporar estos riesgos en la estrategia de transferencia y cobertura de riesgos, en la evaluación de inversiones y en el diseño de las infraestructuras existentes y futuras.

Los vientos extremos pueden generar daños sobre cualquier infraestructura, siendo este fenómeno de particular relevancia por su potencial impacto sobre las líneas de transmisión y distribución, los parques eólicos, los parques solares, la Boya Petrolera de José Ignacio y, eventualmente, sobre cualquier construcción alta como la Refinería de La Teja.

Si bien existen algunos estudios sobre el tema, esta rama de conocimiento es aún incipiente en Uruguay y existen ciertas carencias en el instrumental de medición y en los datos históricos, dificultando la capacidad de generar proyecciones bajo escenarios de Cambio Climático, aunque se cuenta con una mejor red de medida desde la instalación de la red de medición de UTE y los parques eólicos.

Se deberá profundizar en el conocimiento de este fenómeno y estudiar el nivel de exposición o protección de las infraestructuras más relevantes (líneas de transmisión y distribución), así como también revisar los estándares para el diseño, operación y mantenimiento.

Precipitaciones extremas

Las precipitaciones extremas pueden generar diversos impactos sobre el sector energético, afectando las infraestructuras, la caminería o generando inundaciones que provocan cortes de rutas (distribución de combustibles) y necesidad de desconexión de servicios por criterios de seguridad.

Como se mencionó anteriormente, en el marco del NAP-Costas y NAP-Agro se han estudiado la variabilidad de las precipitaciones en Uruguay con datos históricos y sus proyecciones a largo plazo bajo distintos escenarios de Cambio Climático. En Uruguay se espera un aumento del nivel de precipitaciones y de la cantidad de días con lluvias fuertes. En base a esta información sería relevante estudiar qué tan preparadas están las principales infraestructuras para soportar este tipo de eventos. Por ejemplo, se debería estudiar cuáles son los umbrales que soportan los sistemas de desagüe de la Refinería de La Teja o la Central Térmica de Punta del Tigre y sus sistemas de respuesta ante emergencias. Por otra parte, cadenas de valor como la forestal podrían verse muy afectadas por este fenómeno, ya que las actividades se detienen cuando las lluvias superan aproximadamente los 15 mm en un día.

2.1.7. Nuevas tecnologías energéticas

Actualmente existen muchas alternativas energéticas en desarrollo a nivel mundial, cuya adopción en nuestro país podría contribuir a los objetivos de mitigación y adaptación al Cambio Climático.

La Agencia Internacional de la Energía, en su estudio “Energy Technologies Perspectives”⁵, publicado en julio de 2020, identifica a las siguientes cuatro tecnologías como de mayor potencial de desarrollo en fase comercial en el corto plazo: Hidrógeno; Baterías y Almacenamiento de Energía Eléctrica; Captura, Utilización y Almacenamiento de Carbono (CCUS) y Bioenergía.

Si bien no se definen aquí estudios concretos, todos los que tengan como finalidad evaluar el potencial de los recursos naturales, la prueba en terreno de nuevas tecnologías energéticas o un uso más eficiente de la energía son relevantes para la Adaptación al Cambio Climático.

⁵ <https://webstore.iea.org/energy-technology-perspectives-2020-special-report-on-clean-energy-innovation>

