

## DATOS GENERALES DE LA SOLUCIÓN

### DATOS GENERALES DE LA SOLUCIÓN

#### Título

Cuantificación de incertidumbre e identificación de eventos extremos en escenarios de producción renovable generados.

**Duración de la propuesta:** 12 Meses

**Departamentos donde se desarrollará:** Montevideo

**Tipo de innovación que implica el proyecto:**

- Innovación en producto/servicio

### RESUMEN PUBLICABLE

La generación de electricidad mediante fuentes renovables es la alternativa de producción que el país ha privilegiado en su actual matriz energética. El cambio climático podría poner en peligro la estrategia energética del país, ya que podrían darse condiciones donde una o más fuentes primarias escaseen y también induciendo intermitencias mayores a las deseadas en la producción de electricidad. Este proyecto propone cuantificar las incertidumbre en la generación de energía renovable en el contexto de los escenarios de cambio climático. En última instancia se pretende generar herramientas estadísticas que permitan calibrar las probabilidades de observar eventos extremos en la generación de energía a partir de fuentes renovables, así como describir su duración en intensidad esperada.

### ÁREAS

**Sector/Núcleo de problemas y oportunidades:** Energía

**Áreas tecnológicas a priorizar:** Otra

**Especifique el área:** Métodos estadísticos para ciencia de datos

## **DESAFÍO**

**Nombre del desafío:** Generación de escenarios de generación renovable para la simulación de la operación en Uruguay: impacto del cambio climático de los recursos meteorológicos asociados

## **ORGANIZACIONES INVOLUCRADAS**

**Institución proponente:** Universidad de la República / Área Social y Artística / Instituto de Estadística, Facultad de Ciencias Económicas y de Administración

**Sector:** Sector Educación Superior/Público

**Departamento:** Montevideo

**País:** Uruguay

**Ciudad:** Montevideo

**Dirección:** Gonzalo Ramirez 1926

**Teléfono:** 24118839

**Email:** ignacio.alvarez@fcea.edu.uy

**Web:** www.fcea.udelar.edu.uy

## **RECURSOS HUMANOS**

**Responsable técnico-científico:** Ignacio ALVAREZ CASTRO

**Documento:** Cédula de Identidad 28131388

**Organización:** Universidad de la República / Área Social y Artística / IESTA

**Sector Organización:** Sector Educación Superior/Público

**País Organización:** Uruguay

**Dedicación al proyecto (horas semanales):** 10      **Meses de participación en el proyecto:** 12

**Descripción de las tareas a desarrollar en el proyecto:** responsable

**Investigador:** Jairo Cugliari

---

**Documento:** Cédula de Identidad 29532864

**Organización:** Universidad Luminere, Lyon 2

**País Organización:** Francia

**Dedicación al proyecto (horas semanales):** 5      **Meses de participación en el proyecto:** 12

**Descripción de las tareas a desarrollar en el proyecto:** Participación en todas las etapas del proyecto: planificación, búsqueda y selección de los modelos, manejo de los datos climáticos y de generación, implementación de modelos estadísticos y métodos para extremos. Tutoría del trabajo del estudiante de informática.

**Investigador:** Leonardo Fabian MORENO ROMERO

---

**Documento:** Cédula de Identidad 29167081

**Organización:** Universidad de la República / Área Social y Artística / IESTA, FCEA, Udelar

**Sector Organización:** Sector Educación Superior/Público

**País Organización:** Uruguay

**Dedicación al proyecto (horas semanales):** 5      **Meses de participación en el proyecto:** 12

**Descripción de las tareas a desarrollar en el proyecto:** Participación en los aspectos estadísticos de la estimación de extremos multivariantes e inferencia conforme.

---

**Responsable económico y financiero: Ignacio ALVAREZ CASTRO**

---

**Documento:** Cédula de Identidad 28131388

**Organización:** Universidad de la República / Facultad de Ciencias Económicas y de Administración / IESTA

**Sector Organización:** Sector Educación Superior/Público

**País Organización:** Uruguay

**Dedicación al proyecto (horas semanales):** 1      **Meses de participación en el proyecto:** 12

**Descripción de las tareas a desarrollar en el proyecto:** Gestión administrativa de los fondos del proyecto.

---

**Responsable por la ejecución: Ignacio ALVAREZ CASTRO**

---

**Documento:** Cédula de Identidad 28131388

**Teléfono:** 092107576

**Email:** ignacio.alvarez@fcea.edu.uy

**Organización:** Universidad de la República / Facultad de Ciencias Económicas y de Administración / IESTA

**Sector Organización:** Sector Educación Superior/Público

**País Organización:** Uruguay

**Dedicación al proyecto (horas semanales):** 5      **Meses de participación en el proyecto:** 12

**Descripción de las tareas a desarrollar en el proyecto:** Monitorear la ejecución de las actividades y gastos de dinero del proyecto.

---

**Investigador a contratar**

---

**Perfil:**Estudiante avanzado o recientemente recibido de Licenciatura en Estadística

**Dedicación al proyecto (horas semanales):** 20      **Meses de participación en el proyecto:** 12

**Descripción de las tareas a desarrollar en el proyecto:** Manejo de datos climáticos e implementación de modelos estadísticos.

---

**Investigador a contratar**

---

**Perfil:** Estudiante avanzado de informática

**Dedicación al proyecto (horas semanales):** 35

**Meses de participación en el proyecto:** 4

**Descripción de las tareas a desarrollar en el proyecto:** Implementar los aspectos de ingeniería de datos del proyecto. Manejo, preparación de los datos climáticos proyectados, los datos históricos de generación y recursos primarios.

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO I

#### Antecedentes del proponente de la solución:

El Instituto de Estadística (IESTA) de la Facultad de Ciencias Económicas y Administración se encarga de la formación de Licenciado en Estadística, y se ocupa tanto de la investigación en estadística tanto para problemas académicos como aplicados.

El equipo de trabajo tiene formación estadística pero con especialización en la aplicación de métodos estadísticos en problemas relevantes para este proyecto. En particular han sido responsables de proyectos financiados por ANII en predicción de consumo eléctrico y modelos para entender impacto de cambio climático en olas de temperatura extrema.

En primer término el proyecto ANII-FSE 10886 “Modelos de previsión de demanda de corto plazo” (2014) en el que se propusieron un conjunto de modelos de predicción puntual adaptados a las necesidades del Despacho de Cargas de UTE, en particular se utiliza una resolución temporal horaria. Los modelos fueron implementados en la biblioteca enercast del software estadístico R (<https://github.com/cugliari/enercast>). Por otro lado, el proyecto ANII-FSDA 144032 “Modelado de temperaturas extremas en Uruguay”, donde se implementaron métodos para imputar valores faltantes en las series históricas de temperatura diaria, y la utilización de las series con trayectorias simuladas para la identificación y caracterización de olas de temperatura extremas. Los productos resultado del proyecto se pueden encontrar disponibles y abiertos ([https://github.com/nachalca/statClima\\_FSDA](https://github.com/nachalca/statClima_FSDA))

#### Descripción del proyecto:

Introducción.

La generación de electricidad mediante fuentes renovables es la alternativa de producción que el país ha privilegiado en su actual matriz energética. Las fuentes renovables usadas en el país inducen producciones intermitentes, en función de la disponibilidad del recurso primario. Es necesario un conocimiento profundo de las fuentes generadoras para poder anticipar la disponibilidad del recurso. Con ello se logra un mejor nivel de optimización del mix productivo, lo que conduce a una disminución de los costos productivos, una mejor planificación de los programas de mantenimientos, reduciendo los momentos de indisponibilidad.

El cambio climático podría poner en peligro la estrategia energética del país, ya que podrían darse condiciones donde una o más fuentes primarias escaseen, induciendo intermitencias mayores a las deseadas en la producción de electricidad. Al mismo tiempo, también podría ocurrir que los recursos primarios puedan generar situaciones de sobredisponibilidad. A modo de ejemplo, en la descripción del desafío se menciona el aumento en la frecuencia de sequías de gran magnitud en Uruguay y la región, esto tiene un impacto negativo directo sobre la producción de energía hidráulica pero también puede traer condiciones donde la generación eólica y/o solar se beneficien. Es relevante poder cuantificar el impacto y la incertidumbre de este tipo de eventos sobre el global de energía de fuentes renovables.

Este proyecto propone cuantificar las incertidumbres en la generación de energía renovable en el contexto de los escenarios de cambio climático sugeridos en CIMP6 (Coupled Model intercomparison Project). En última instancia se buscan eventos extremos en la generación de energía a partir de fuentes renovables, y disponibilizar herramientas estadísticas que permitan calibrar las probabilidades de observar dichos eventos, así como describir su duración en intensidad esperada. El objetivo general de la propuesta es entonces obtener herramientas que permitan asignar probabilidades de ocurrencia a eventos extremos y caracterizar su ley estocástica al menos parcialmente.

Etapas del proyecto.

El proyecto puede dividirse en tres etapas que se conectan con objetivos específicos del proyecto. En primer lugar, en base a datos históricos de generación de energías por fuentes renovables (solar, eólica, hidráulica) y de recursos primarios (viento, lluvia, radiación, temperatura) se debe calibrar un modelo estadístico para pasar de los recursos primarios a la generación global por fuentes renovables. En segundo lugar, utilizando las trayectorias simuladas de recursos primarios provistas por CIMP6 bajo diferentes escenarios de cambio climático, se pueden obtener trayectorias

simuladas de generación de electricidad. Finalmente, se pueden estimar extremogramas y curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para caracterizar los eventos extremos en las series de generación futura. En lo que sigue se describen cada una de estas etapas.

En primer lugar, se deben obtener datos históricos de generación de energía y recursos primarios para establecer un modelo predictivo de la generación de cada fuente. La literatura científica e industrial es abundante en este tema, teniendo hoy un conocimiento profundo de los fundamentos que explican la disponibilidad del recurso. Proponemos utilizar métodos basados en modelos físicos existentes, por ejemplo las opciones asociadas al proyecto PRONOS (<https://pronos.adme.com.uy/>) así como una aproximación de tipo aprendizaje automático (e.g. aplicando h2o en forma semiautomática (Ledell y Poirier (2020)) para construir el modelo predictivo. Para este paso intermedio, los datos históricos de generación serán pedidos a UTE.

Las series de recursos primarios proyectadas por CIMP6, son el producto de la implementación de modelos climáticos globales. Dichas series no son aptas para ser utilizadas con objetivos en escala nacional o regional, principalmente porque la resolución de las series es muy gruesa y por el sesgo en la representación del clima local. De esta forma, un segundo aspecto del proyecto es adaptar las series de recursos primarios de forma de poder utilizarlas para obtener series de generación de energía. Esto consiste en aplicar una reducción de escala (downscaling) para llevarla a una resolución más fina (regional, diaria, etc).

La reducción de escala puede realizarse basada en modelos climáticos regionales (dynamical downscaling), basada en modelos estadísticos entrenados con datos históricos (statistical downscaling) o combinando ambas técnicas en metodologías híbridas. En los últimos años, se ha puesto mucho esfuerzo en métodos estadísticos para la reducción de escala, debido a su bajo costo computacional y la capacidad de corregir los sesgos en el modelado del clima local (Bedia, et al., (2020) ).

Existen varias herramientas computacionales disponibles para realizar la reducción de escala. Si bien tendremos una parte del proyecto destinada a revisar estas metodologías y definir la que mejor se adapte a las necesidades del proyecto concreto, hay al menos 2 bibliotecas de R que pueden funcionar de opciones de base. Por un lado, la biblioteca climateR (Ilturbide, et al. (2019) ) que consiste en un conjunto de paquetes de R diseñados para el acceso y post-procesamiento de datos climáticos incluyendo corrección de sesgo y reducción de escala, entre otras cosas

(<https://github.com/SantanderMetGroup/climate4R>). Una segunda biblioteca de base es ClimDown (<https://github.com/pacificclimate/ClimDown>) producida por el Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC) with support from Environmental and Climate Change Canada. Esta alternativa implementa una reducción de escala híbrida, combinando modelos basados en la construcción de analogos y el mapeo de percentiles (Hiebert et al., (2018) ). Adicionalmente, es posible explorar otras metodologías que utilizan resultados recientes en multiresolución

Por último, la aplicación del modelo predictivo a las series proyectadas de recursos primarios nos permite obtener trayectorias futuras de generación. El conjunto de trayectorias de producción puede permitir evaluar la incertidumbre de la predicción, en particular estimando la ley predictiva subyacente (objetivo inferencial). Nos proponemos caracterizar estos eventos extremos con curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) la cuales son muy utilizadas en varias aplicaciones de ingeniería (Ouali y Cannon, (2018) ) y pueden ser estimadas con distintos métodos estadísticos (Huard, Mailhot, & Duchesne, (2010); Ouali y Cannon, (2018)). Las IDF es una herramienta que busca caracterizar el fenómeno relacionando tres aspectos: la intensidad, la duración y la frecuencia con que se observa. Estas son de una gran utilidad para modelar eventos extremos en general bajo hipótesis de estacionariedad de los eventos, es decir, la distribución de estos no presentan grandes cambios en el tiempo. Sin embargo, si estos extremos van cambiando temporalmente, por ejemplo por efecto del cambio climático, estas curvas pueden subestimar dichos fenómenos. Por tanto será necesario adaptar estas curvas a paradigmas más generales donde la no estacionariedad sea plausible, ver por ejemplo Cheng, L., & AghaKouchak, A; (2014). Por otro lado, estas herramientas deben ser adaptadas al caso multivariado, como en Davis, Mikosch & Cribben, (2011) para el caso del extremograma.

En este marco es necesario el ajuste de la distribución de valores extremos. La teoría de valores extremos, si bien se ha desarrollado a lo largo del último siglo, ha estado muy activa en las últimas tres décadas. El principal interés radica en modelar las colas de la distribución. Las aplicaciones de dicha teoría abarcan diversas ramas de las ciencias además de los eventos climáticos (por ejemplo la ingeniería, la oceanografía, el medio ambiente, la hidrología, las finanzas, por citar algunas). Uno de los objetivos principales es la extrapolación de la información, para poder así inferir resultados en zonas extremas donde se encuentran pocos o ningún valor de la muestra. En el proyecto se modelizan los extremos mediante dos metodologías conocidas: El métodos de bloques y el método del umbral. Luego de calibrados los parámetros de las distribución generalizada de valores extremos (o generalizada de Pareto para el método del umbral) marginalmente es posible la modelización en el caso multivariado, o más aún en general en el campo de extremos. En este último caso el ajuste se realizará mediante los denominados procesos máx-estables.



También una posible alternativa para la modelización multivariada del fenómeno a explorar es la utilización de cópulas (Patton (2013)), y en particular cópulas extremas.

La construcción de bandas de predicción para las trayectorias es también un objetivo del proyecto. Uno de los problemas desafiantes es el poder brindar, además de una predicción puntual de la salida, un intervalo (para salidas escalares) o un conjunto de predicción (para salidas) . Es decir, un conjunto (si la salida es un escalar un intervalo) que contenga a la salida con determinada confianza. En general los métodos están diseñados para brindar un a predicción puntual, y los conjuntos de predicción son elaborados mediante bootstrap o en algún caso específico mediante la distribución asintótica del estadístico.

En la última década, siguiendo la línea de los trabajos de {vovk2005,vovk2009} fue introducido en la comunidad estadística por {lei2013}, con un exponencial progreso en los últimos años el concepto de “inferencia conformal”, ver por ejemplo los trabajos de {lei2014,chernozhukov2018,romano2019,foygel2021}. Esta metodología permite la construcción de bandas de confianza para muestras finitas, a una cobertura determinada, libre de supuestos sobre la distribución conjunta de las variables de entrada y salida, y pidiendo hipótesis más débiles que la independencia de los valores observados (es necesario sólo la intercambiabilidad de los datos). En particular trabajos recientes permiten, bajo este procedimiento, la construcción de bandas de confianza para series temporales.

Objetivos de la propuesta.

El objetivo general de la propuesta es cuantificar la incertidumbre sobre eventos extremos en la generación de energía a partir de fuentes renovables. Para esto es necesario dar algunos pasos intermedios, que dan lugar a objetivos específicos del proyecto. Más concretamente se pueden distinguir tres objetivos específicos en la propuesta, que se describen a continuación.

Un primer objetivo específico, consiste en construir series de recursos primario con resolución fina. Para esto debemos comparar métodos de reducción de escala y corrección de sesgo, obtener series proyectadas de recursos primarios con resolución fina para cada uno de los escenarios de cambio climático. Adicionalmente se pretende implementar una herramienta computacional para actualizar las series proyectadas a escala reducida.

Como segundo objetivo, nos proponemos calcular las series de generación de energía por fuente y por escenario. En base a los recursos primarios proyectados construir series de generación de energía y cuantificar incertidumbre con bandas de confianza asociadas

Finalmente, el tercer objetivo específico es utilizar los insumos generados en los pasos previos para caracterizar eventos extremos en la generación de energía eléctrica. Buscaremos calibrar leyes probabilísticas para eventos extremos multivariados y obtener de curvas IDF estimadas en cada escenario. Caracterización de eventos extremos en 20 años bajo cada escenario. A su vez, se pretende implementar una herramienta computacional que calcule la probabilidad de evento extremo en próximos 90 Días

---

**Mérito Innovador:**

En Uruguay y la región existen ejemplos de aplicación de técnicas de reducción de escala, tanto estadístico como dinámico. Aunque no con la completitud que se pretende lograr en la solución a este desafío, es decir, series para todos los recursos primarios y todos los escenarios de cambio climático. Sin embargo la cuantificación de la incertidumbre asociada a las proyecciones no es tan frecuente, incorporar elementos de inferencia conformal para construir bandas de confianza al menos en algún horizonte temporal es novedoso para las aplicaciones regionales. Otro aspecto poco frecuente es la caracterización de eventos que se proponen aquí. Obtener distribuciones de probabilidad para eventos extremos multivariados y poder cuantificar probabilidades de ocurrencia de dichos eventos. Así como también la utilización de curvas IDF para series de energía eléctrica y los recursos primarios.

---

**Viabilidad técnica:**

Los productos del proyecto se vinculan directamente con los objetivos del desafío, otorgando respuesta específica a lo allí planteado (proporcionar series de generación de energía proyectada) y también a otros aspectos relevantes que no se mencionan explícitamente, como la calibración de incertidumbre en las proyecciones y los escenarios de eventos extremos. El principal riesgo del proyecto es poder obtener los datos adecuados en tiempo, y la búsqueda de los integrantes de equipo a contratar. Ambos aspectos pueden retrasar el inicio del trabajo efectivo en las tareas del proyecto.

---

**DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO II**

---

**Impacto de la Solución:**

Desde el punto de vista del Instituto de Estadística de Facultad de Ciencias Económicas y Administración el principal impacto es la consolidación de grupos de trabajo en métodos estadísticos aplicados a problemas climáticos y de energía. El usuario de los productos del proyecto podrá disponer de las series de energía proyectadas y herramientas para asignar probabilidades de ocurrencia a eventos extremos en base a dichas series proyectadas.

---

**Viabilidad legal y ambiental (si corresponde):**

no corresponde

---

**Capacidad del equipo de trabajo:**

Jairo Cugliari es Dr en Estadística y profesor de la universidad Lumière Lyon 2, Francia. Desde el trabajo en su tesis doctoral, su principal área de especialización es la modelización y predicción de demanda de energía eléctrica. Ha publicado varios artículos académicos sobre el tema (Antoniadis et al, 2013, 2014, 2015, Cugliari y Poggi, 2018), trabajó en el grupo de previsión de corto plazo de Electricité de France (EDF), fué responsable científico del proyecto ANII-FSE 10886 de especial interés para este proyecto (ver arriba) y participó en los proyectos ANII FSDA 144032 y FSE 10764 (modelos para aportes de agua en las 3 represas del sistema uruguayo) . Recientemente, ha trabajado en la predicción de generación eléctrica a partir de recursos renovables (Nagbe et al, 2017).

Ignacio Alvarez-Castro es Dr en estadística y profesor adjunto del Instituto de Estadística (IESTA) de FCEA, UdelAR. Su área de especialización es estadística Bayesiana, ha participado en múltiples investigaciones aplicadas en diversas disciplinas, como experto en estadística aplicada. Fue responsable científico del proyecto ANII FSDA 144032 de especial interés para este proyecto (ver antecedentes de la institución proponente).

Leonardo Moreno es Dr en estadística y profesor adjunto del Instituto de Estadística (IESTA) de FCEA, UdelAR. Su área de especialización es estadística no paramétrica y estadística de extremos, ha participado también en múltiples investigaciones aplicadas en diversas disciplinas. Su maestría fue realizada sobre la modelización de campos espaciales extremos mediante la utilización de los procesos máx-estables. También ha dirigido diversas tesis de estudiantes en esta última temática.

---

**Plan de Trabajo:**

En el proyecto se avanzará en dos carriles en paralelo: por un lado los aspectos computacionales para la implementación de los métodos estadísticos de reducción de escala de las series de recursos primarios, y por otro lado el estudio de leyes para extremos multivariados.

Durante el primer mes se espera completar el equipo de trabajo con los investigadores a contratar, en los primeros dos meses se pretende obtener los datos necesarios para el proyecto (algunos de ellos ya están disponibles). En el primer trimestre se avanzará en la revisión de métodos estadísticos de reducción de escala y su aplicación, y por otro lado en la revisión de metodologías para la caracterización probabilística de extremos multivariados.

En el segundo trimestre se espera contar con al menos una implementación de series de recursos primarios a escala reducida, y al mismo tiempo avanzar en los modelos para vincular recursos primarios con series de generación de energía. Hacia la mitad del proyecto nos proponemos realizar unas jornadas sobre métodos estadísticos aplicados a reducción de escala.

Durante el tercer trimestre se implementaran estimaciones para distribuciones de extremos y obtener probabilidades de eventos de interés. Sobre el final del trimestre se espera comenzar con la estimación de bandas de confianza para las series proyectadas en base a inferencia conformal, y la estimación de curvas IDF. En paralelo, pensamos trabajar en una herramienta computacional para implementar la reducción de escala en forma amigable.

En el último trimestre del proyecto se concretan las estimaciones de probabilidades de ocurrencia para eventos extremos de interés, y realizaremos los informes de todo lo acumulado.

## PLAN DE TRABAJO

| Actividad/Mes                                     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| Obtener los datos ...                             | X | X | X |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Revisión Downscaling estadístico ...              | X | X | X |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Modelos predictivos para series de generación ... |   |   | X | X | X | X |   |   |   |    |    |    |
| Series a escala reducida ...                      |   |   |   | X | X | X |   |   |   |    |    |    |
| Revisión extremos ...                             |   |   |   | X | X | X |   |   |   |    |    |    |
| Series de energía proyectadas ...                 |   |   |   |   | X | X | X | X |   |    |    |    |
| Curvas IDF ...                                    |   |   |   |   |   |   | X | X | X |    |    |    |
| Estimación eventos extremos ...                   |   |   |   |   |   |   | X | X | X |    |    |    |
| Bandas de confianza ...                           |   |   |   |   |   |   |   | X | X | X  |    |    |
| Resultados de eventos extremos ...                |   |   |   |   |   |   |   |   |   | X  | X  | X  |

## Descripción de las actividades:

| Actividad | Mes<br>inicio/fin | Es hito | Descripción | Observaciones |
|-----------|-------------------|---------|-------------|---------------|
|-----------|-------------------|---------|-------------|---------------|

|   |     |    |  |
|---|-----|----|--|
| Obtener los datos                             | 1/3 | NO | Obtener los datos históricos de de recursos primarios y de generación de energía, así como las series proyectadas de recursos primarios en los escenarios de cambio climático. |
| Revisión Downscaling estadístico              | 1/3 | NO | Revisar técnicas recientes para reducción de escala y la disponibilidad de implementación.   |
| Modelos predictivos para series de generación | 3/6 | NO | Revisión y estimación de modelos para vincular recursos primarios con la generación.   |
| Series a escala reducida                      | 4/6 | SI | Obtener series de escala reducida en cada escenario de cambio climático.   |
| Revisión extremos                             | 4/6 | NO | Revision de métodos para modelar extremos  |
| Series de energía proyectadas                 | 5/8 | SI | Obtener series de generación futura en cada escenario de cambio climático.   |
| Curvas IDF                                    | 7/9 | NO | Estimación de curvas IDF   |

|                                |       |    |   |
|--------------------------------|-------|----|---|
| Estimación eventos extremos    | 7/9   | NO | Estimar al menos un modelo para extremos multivariados.   |
| Bandas de confianza            | 8/10  | NO | Implementar métodos de inferencia conformal para bandas de confianza de las series y las curvas IDF.                      |
| Resultados de eventos extremos | 10/12 | SI | Estimar probabilidades de eventos extremos y caracterizar los patrones de extremos en cada escenario de cambio climático. |

## OBJETIVOS

**Objetivo General :**

Cuantificar la incertidumbre sobre eventos extremos en la generación de energía a partir de fuentes renovables. Esto consiste en obtener proyecciones en la generación y su incertidumbre asociada, la variabilidad de curvas IDF y probabilidades de ocurrencia para eventos extremos en la generación.

**Objetivos específicos**

| Nº | Objetivo específico  | Resultado esperado              | Observaciones |
|----|--|---------------------------------|---------------|
| 1  | Series de recursos primarios a escala reducida. Se relevan alternativas de downscaling híbrido o estadístico y se aplicara alguna de las herramientas disponibles a los datos de clima global producidos por IPCC en cada escenario de cambio climático. | Datos con series proyectadas.   |               |
| 2  | Calcular las series de generación de energía por fuente y por escenario. En base a los recursos primarios proyectados construir series de generación de energía y cuantificar incertidumbre con bandas de confianza asociadas.                           | Datos de generación proyectada. |               |



- |   |  |  |
|---|--|--|
| 3 | Probabilidad de eventos extremos en la generación de energía. En base a la caracterización de la distribución aleatoria de extremos multivariados se calibran probabilidades de eventos extremos de distinto tipo en cada escenario de cambio climático. | Tabla con eventos extremos y sus probabilidades asociadas. |
|---|--|--|

## IMPACTO AMBIENTAL

**Impacto ambiental:** No requiere Autorización Ambiental Previa

## IMPACTOS ESPERADOS

### Impacto N° 1

---

#### **Impacto:**

El sector energético uruguayo ha mostrado importante crecimiento en los últimos años, tanto en la generación como en la demanda, y al mismo tiempo hubo importantes exportaciones de energía que significaron ingresos de divisas muy relevantes a nivel nacional. Contar con herramientas para tomar mejores decisiones en materia energética es clave para continuar y con el crecimiento del sector. Un desafío que presentan las fuentes renovables de energía es justamente su mayor variabilidad al depender

directamente de factores climáticos y de corto plazo.

Los productos que surgen a partir de la realización de esta propuesta son: las series a escala reducida de recursos primarios y generación de energía; medidas para cuantificar la incertidumbre de las series proyectadas; y probabilidades de ocurrencia de eventos extremos en la generación de fuentes renovables. Adicionalmente nos proponemos disponibilidad herramientas para actualizar los resultados en el futuro.

Estos productos pueden mejorar el manejo de los recursos y ayudar en la toma de decisiones de la matriz energética del país.

**Beneficiarios potenciales:**

El beneficiario directo son los agentes principales del sector de energía eléctrica (UTE, ADME, MIEM).

**Cuantificación del impacto:**

El mejor funcionamiento del sector energético tiene impacto directo sobre el crecimiento global, tener alternativas de manejo que permitan reducir el costo de la energía es fundamental para el crecimiento de los demás sectores productivos.

**Observaciones:**

PRESUPUESTO POR RUBRO

| Adecuación edilicia |                                |  |               |       |
|---------------------|--------------------------------|--|---------------|-------|
| Descripción         | costo con cargo al<br>proyecto |  | Otros aportes | Total |
| Total UYU:          |                                |  |               | 0     |

| Equipamiento laboratorio |          |      |                                |               |       |
|--------------------------|----------|------|--------------------------------|---------------|-------|
| Descripción              | Cantidad | Tipo | costo con cargo al<br>proyecto | Otros aportes | Total |
| Total UYU:               |          |      |                                |               | 0     |

| Otros equipos |          |      |                                |  |               |       |
|---------------|----------|------|--------------------------------|--|---------------|-------|
| Descripción   | Cantidad | Tipo | costo con cargo al<br>proyecto |  | Otros aportes | Total |
| Total UYU:    |          |      |                                |  |               | 0     |

Material bibliográfico

| Descripción                            | Cantidad | costo con cargo al<br>proyecto | Otros aportes | Total  |
|--|----------|--------------------------------|---------------|--------|
| Libros técnicos vinculados al proyecto | 4        | 25.000                         | 0             | 25.000 |
| Total UYU:                             |          |                                |               | 25.000 |

**Materiales e insumos**

| Descripción | Cantidad | costo con cargo al<br>proyecto | Otros aportes | Total |
|-------------|----------|--------------------------------|---------------|-------|
| Total UYU:  |          |                                |               | 0     |

**Software y licencias**

| Descripción | Cantidad | costo con cargo al<br>proyecto | Otros aportes | Total |
|-------------|----------|--------------------------------|---------------|-------|
| Total UYU:  |          |                                |               | 0     |

**Personal técnico**

| RRHH                   | Rol                            | costo con cargo al<br>proyecto | Otros aportes | Total   |
|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|---------|
| Ignacio ALVAREZ CASTRO | Responsable técnico-científico | 0                              | 150.000       | 150.000 |
| Jairo Cugliari         | Investigador                   | 0                              | 75.000        | 75.000  |

|   |                          |         |         |                  |
|---|--------------------------|---------|---------|------------------|
| Leonardo Fabian MORENO ROMERO   | Investigador             | 0       | 75.000  | 75.000           |
| a contratar / Estudiante avanzado o recientemente recibido de Licenciatura en Estadística | Investigador a contratar | 400.000 | 0       | 400.000          |
| a contratar / Estudiante avanzado de informática  | Investigador a contratar | 0       | 400.000 | 400.000          |
| <b>Total UYU:</b>   |                          |         |         | <b>1.100.000</b> |

**Consultores**

| RRHH              | Rol | costo con cargo al proyecto | Otros aportes | Total    |
|-------------------|-----|-----------------------------|---------------|----------|
| <b>Total UYU:</b> |     |                             |               | <b>0</b> |

**Capacitación**

| RRHH              | Rol | Organización | Descripción | Duración | costo con cargo al proyecto | Otros aportes | Total    |
|-------------------|-----|--------------|-------------|----------|-----------------------------|---------------|----------|
| <b>Total UYU:</b> |     |              |             |          |                             |               | <b>0</b> |

**Servicios**

| Descripción | Duración | Proveedor | costo con cargo al proyecto | Otros aportes | Total |
|-------------|----------|-----------|-----------------------------|---------------|-------|
|-------------|----------|-----------|-----------------------------|---------------|-------|

|            |   |
|------------|---|
| Total UYU: | 0 |
|------------|---|

**Viáticos y estadías**

| RRHH                             | Rol                               | Destino  | Duración | costo con cargo al<br>proyecto | Otros aportes | Total   |
|----------------------------------|-----------------------------------|--|----------|--------------------------------|---------------|---------|
| Ignacio ALVAREZ<br>CASTRO        | Responsable<br>técnico-científico | Conferencia académica                              | 7        | 50.000                         | 0             | 50.000  |
| Jairo Cugliari                   | Investigador                      | Montevideo. Curso<br>corto y trabajo<br>presencial | 15       | 80.000                         | 0             | 80.000  |
| Leonardo Fabian<br>MORENO ROMERO | Investigador                      | Conferencia académica                              | 7        | 40.000                         | 0             | 40.000  |
| Total UYU:                       |                                   |  |          |                                |               | 170.000 |

**Protección propiedad intelectual**

| Descripción | costo con cargo al<br>proyecto | Otros aportes | Total |
|-------------|--------------------------------|---------------|-------|
| Total UYU:  |                                |               | 0     |

**Otros costos**

| Descripción | Cantidad | costo con cargo al<br>proyecto | Otros aportes | Total |
|-------------|----------|--------------------------------|---------------|-------|
| Total UYU:  |          |                                |               | 0     |

### Imprevistos

| Descripción                                      | costo con cargo al<br>proyecto | Otros aportes | Total  |
|--|--------------------------------|---------------|--------|
| Diferencia de cambio y otros gastos no previstos | 40.000                         | 0             | 40.000 |
| Total UYU:                                       |                                |               | 40.000 |

### Gastos de administración

| Descripción            | costo con cargo al<br>proyecto | Otros aportes | Total  |
|------------------------|--------------------------------|---------------|--------|
| Gestión administrativa | 50.000                         | 0             | 50.000 |
| Total UYU:             |                                |               | 50.000 |

### Pasajes

| RRHH | Rol | Destino | Duración | costo con cargo al<br>proyecto | Otros aportes | Total |
|------|-----|---------|----------|--------------------------------|---------------|-------|
|------|-----|---------|----------|--------------------------------|---------------|-------|

|                                  |                                   |  |    |         |   |         |
|----------------------------------|-----------------------------------|--|----|---------|---|---------|
| Ignacio ALVAREZ<br>CASTRO        | Responsable<br>técnico-científico | Conferencia académica                              | 7  | 100.000 | 0 | 100.000 |
| Leonardo Fabian<br>MORENO ROMERO | Investigador                      | Conferencia académica                              | 7  | 100.000 | 0 | 100.000 |
| Jairo Cugliari                   | Investigador                      | Montevideo. Curso<br>corto y trabajo<br>presencial | 15 | 120.000 | 0 | 120.000 |
| Total UYU:                       |                                   |  |    |         |   | 320.000 |



## TOTALES POR RUBRO

| Rubro                               | costo con cargo al<br>proyecto | Otros aportes  | Total            |
|-------------------------------------|--------------------------------|----------------|------------------|
| Adecuación edilicia                 | 0                              | 0              | 0                |
| Equipamiento laboratorio            | 0                              | 0              | 0                |
| Otros equipos                       | 0                              | 0              | 0                |
| Material bibliográfico              | 25.000                         | 0              | 25.000           |
| Materiales e insumos                | 0                              | 0              | 0                |
| Software y licencias                | 0                              | 0              | 0                |
| Personal técnico                    | 400.000                        | 700.000        | 1.100.000        |
| Consultores                         | 0                              | 0              | 0                |
| Capacitación                        | 0                              | 0              | 0                |
| Servicios                           | 0                              | 0              | 0                |
| Viáticos y estadías                 | 170.000                        | 0              | 170.000          |
| Protección propiedad<br>intelectual | 0                              | 0              | 0                |
| Otros costos                        | 0                              | 0              | 0                |
| Imprevistos                         | 40.000                         | 0              | 40.000           |
| Gastos de administración            | 50.000                         | 0              | 50.000           |
| Pasajes                             | 320.000                        | 0              | 320.000          |
| <b>Total UYU</b>                    | <b>1.005.000</b>               | <b>700.000</b> | <b>1.705.000</b> |

### Especificar las otras fuentes de financiamiento con las que cuenta este proyecto:

El trabajo de los investigadores es aportado por sus instituciones: FCEA y Lyon 2. Adicionalmente, el pasante de informática también es financiado con fondos de Lyon 2.

**CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN**

| Rubro                    | Trimestre 1       | Trimestre 2       | Trimestre 3       | Trimestre 4       |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Personal técnico         | 100.000,00        | 100.000,00        | 100.000,00        | 100.000,00        |
| Viáticos y estadías      | 0,00              | 80.000,00         | 45.000,00         | 45.000,00         |
| Pasajes                  | 0,00              | 120.000,00        | 100.000,00        | 100.000,00        |
| Material bibliográfico   | 10.000,00         | 15.000,00         | 0,00              | 0,00              |
| Imprevistos              | 10.000,00         | 10.000,00         | 10.000,00         | 10.000,00         |
| Gastos de administración | 12.500,00         | 12.500,00         | 12.500,00         | 12.500,00         |
| <b>Total UYU:</b>        | <b>132.500,00</b> | <b>337.500,00</b> | <b>267.500,00</b> | <b>267.500,00</b> |

**DOCUMENTOS ADJUNTOS**

Carta aval (aval)

CV (cv-alvarez)

CV (cv-moreno)

CV (cv-cugliari)

**Exportador de : FSE\_S\_2022\_1**