



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY

**CONVENIO ENTRE  
LA UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA-FACULTAD DE INGENIERÍA  
ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE USINAS Y TRASMISIONES ELECTRICAS (UTE)  
PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PRONÓSTICO DE ENERGÍA EÓLICA EN RED**

En la ciudad de Montevideo, el día dieciocho de abril del año dos mil doce; entre: **POR UNA PARTE:** La Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (en adelante UTE), representada en este acto por el Dr. Ing. Gonzalo Casaravilla y el Cr. Carlos Pombo en sus respectivas calidades de Presidente de Directorio y Gerente General, constituyendo domicilio en la calle Paraguay 2431, 9° Piso; y **POR OTRA PARTE:** la Universidad de la República-Facultad de Ingeniería, en adelante UDELAR-FING, representada en este acto por el Dr. Rector Rodrigo Arocena, con sede en esta ciudad y domicilio en la calle 18 de Julio 1824, celebran el presente convenio que se registrá por las cláusulas que a continuación se estipulan:

**PRIMERO: ANTECEDENTES**

- Convenio UTE-FING "Cuantificación del Potencial Eólico del Uruguay aplicable a la generación eléctrica en gran escala".
- Convenio con Programa de Energía Eólica MIEM-DNETN 2007, actualización del mapa eólico a nivel nacional.
- Proyecto ANII FSE PR\_FSE\_2019\_29 Desarrollo de herramientas de Predicción, de corta y muy corta duración (2 a 48 horas) de la Generación de Energía Eléctrica de origen eólico.



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY

## SEGUNDO: OBJETO

El presente acuerdo tiene por objeto establecer las condiciones para la cooperación que se brindarán las partes en la ejecución del proyecto de puesta en funcionamiento, instrumentación y sostenimiento en el tiempo de los Pronósticos Numéricos Operativos de toda generación de Energía Eólica instalada en el territorio nacional. La instrumentación y sistematización de los pronósticos se desarrollará de acuerdo al estado del arte mundial, presentándose detalles técnicos y antecedentes del grupo de trabajo en el Anexo del presente convenio.

La Facultad de Ingeniería se compromete a Desarrollar, mejorar y suministrar a UTE herramientas para llevar adelante el pronóstico operativo de la velocidad, dirección de viento y de la generación eléctrica por los parques eólicos instalados en el territorio nacional por un lapso de 3 años, de acuerdo al detalle indicado en el ANEXO.

UTE podrá utilizar las herramientas resultantes de este convenio para la estimación de la generación eólica de los parques que se instalen en el territorio uruguayo, así como de aquellos parques que UTE instale o sea propietario total o parcial fuera del territorio nacional.

La Facultad de Ingeniería, en el marco del presente convenio, realizará la contratación de un profesional o estudiante avanzado, quien tendrá vínculo laboral con la Facultad de Ingeniería y cuyos servicios serán aplicados específicamente al apoyo a la implementación del proyecto en instalaciones de UTE, de acuerdo a lo que se detalla en el ANEXO.

La Facultad de Ingeniería se compromete a desarrollar actividades que se establecen en la propuesta de trabajo que se adjunta y que forma parte de este documento. En el ANEXO se presenta el plan de trabajo y cronograma, documento que forma parte del presente convenio.



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY

### **TERCERO: PLAZO Y MONTO DEL CONVENIO**

Sujeto a lo previsto en el presente, UTE se compromete a pagar a la Facultad de Ingeniería de UDELAR \$U 4.650.000 (cuatro millones seiscientos cincuenta mil pesos uruguayos), a lo largo de tres años, dicho monto está compuesto por \$U 3.450.000 (tres millones cuatrocientos cincuenta mil pesos uruguayos) asociados a las componentes del proyecto detalladas en el texto, y \$U 1.200.000 (un millón doscientos mil pesos uruguayos) asociados a la contratación de una persona egresada o estudiante avanzado de la Licenciatura de Ciencias de la Atmósfera por un período de dos años. La Facultad de Ingeniería será responsable de todos los pagos que correspondan a dicha persona por concepto de su vínculo laboral correspondiente a este convenio, incluidos honorarios y cargas sociales.

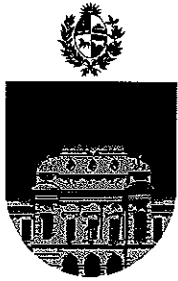
La Facultad de Ingeniería asume la obligación de ejecutar en tiempo y forma el Proyecto, así como cumplir con el cronograma de hitos del mismo, y acepta que el Monto Financiado será integrado por UTE en desembolsos que se realizarán en los plazos indicados en el anexo siempre que además se constate el cumplimiento del avance correspondiente al hito respectivo.

### **CUARTO: CONTRAPARTES DE EJECUCIÓN**

Se designarán dos funcionarios de UTE y dos de FING, como contrapartes para facilitar y coordinar las actividades de ejecución de los estudios específicos que se soliciten en el marco del presente Convenio, la designación se realizará respectivamente por FING y UTE en profesionales competentes en las áreas de estudio.

### **QUINTO: PRÓRROGAS**

El presente convenio podrá ser prorrogado con una antelación de por lo menos 30 (treinta) días antes del vencimiento del plazo original o ampliando su monto, una vez que se haya



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY

abonado por UTE el 90% del monto máximo establecido, por acuerdo de partes. Las prórrogas o ampliaciones, serán por un plazo y un monto máximo iguales a los establecidos en el artículo tercero, y podrán realizarse hasta en dos instancias consecutivas.

#### **SEXTO: RESCISIÓN**

En caso de incumplimiento constatado cualquiera de las partes podrá rescindir el presente convenio comunicándolo con una antelación de 30 (treinta), días.

#### **SÉPTIMO: PUBLICACIÓN DE RESULTADOS**

Los trabajos académicos relacionados con la actividad de este convenio podrán publicarse en ámbitos científico-técnicos, mencionando los autores, instituciones participantes, el título de la actividad o proyecto y que se hacen en el contexto del presente convenio.

#### **OCTAVO: PROPIEDAD INTELECTUAL**

Para el caso de que en cualquiera de las fases a que refiere este Convenio se produjera un resultado que pueda ser objeto de propiedad intelectual, la titularidad de la misma corresponderá a ambas partes en régimen de condominio. El régimen de condominio implica que ninguna de las partes contratantes puede utilizar dichos resultados sin el consentimiento de la otra. Oportunamente se acordará la participación que cada una de las partes tendrá en los gastos devengados por el trámite de protección así como en los resultados económicos que se obtengan de la explotación de los derechos de propiedad intelectual. Asimismo, la Universidad de la República se registrará por lo dispuesto por la Ordenanza de los Derechos de la Propiedad Intelectual aprobada por el Consejo Directivo Central con fecha 8 de marzo de 1994 y sus modificativas. Los autores tendrán derecho a



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY

que su nombre figure en el título de propiedad que se obtenga y en toda otra ocasión en que se haga alusión al resultado protegido.

#### **NOVENO: CONFIDENCIALIDAD**

La información que en el marco del presente convenio se intercambien entre las partes será de carácter confidencial. Las partes se comprometen a no divulgarlas ni utilizarlas para otro fin sin el previo consentimiento de la otra parte.

En señal de conformidad se firman dos ejemplares originales del mismo tenor en el lugar y fecha arriba indicados.

Dr. Rodrigo Arocena  
Rector  
UDELAR

Dr. Ing. Gonzalo Casaravilla  
Presidente  
UTE

Dr. Ing. Héctor Cancela  
Decano  
Facultad de Ingeniería

Cr. Carlos Pombo  
Gerente General  
UTE

## ANEXO

### 1.- Antecedentes

En base a las experiencias en la Facultad de Ingeniería en las áreas de ingeniería del viento y energía eólica (por ejemplo, UTE-FING Cuantificación del Potencial Eólico del Uruguay aplicable a la generación eléctrica en gran escala) y en el desarrollo y usos de modelos numéricos de atmósfera (por ejemplo, colaboración con los proyectos NASA CAN 2145/041 y NOAA Grant NA030AR4310095), se presentó la propuesta Desarrollo de Herramientas de Predicción de Corta y muy Corta Duración al Fondo Sectorial de Energía implementado por ANII, UTE, ANCAP y la Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear del Ministerio de Industria, Minería y Energía. El proyecto propuesto fue aprobado para su financiamiento en 2009, y se encuentra actualmente avanzado en su ejecución.

Como resultado de este proyecto, se logró implementar, de manera diaria, automática, un pronóstico de campo de velocidades de viento en el Parque Eólico Emanuelle Cambilargiu, así como un pronóstico de potencia generada por cada aerogenerador de dicho parque, incluyendo intervalos de confianza. El pronóstico es para valores medios horarios de viento y potencia y abarca desde las 9:00 horas de cada día hasta una semana después. Se hace disponible hacia las 15:00 horas de la víspera de este período de pronóstico.

La sistematización de los cálculos se realiza en el Cluster de Computadoras de la Facultad de Ingeniería. Mediante procesamiento en paralelo de las simulaciones numéricas se logró implementar los procesos en los tiempos requeridos para su valor práctico, y se determinaron diferentes procedimientos de respaldo al proceso de cálculo y transmisión de datos.

### 2.- Introducción

En el Uruguay se ha comenzado a explotar el recurso eólico a gran escala con vistas a la generación de energía eléctrica. A la fecha la explotación del recurso eólico se reduce a unas pocas experiencias entre las cuales se destaca el parque eólico Emanuelle Cambilargiu ubicado en la Sierra de los Caracoles, Departamento de Maldonado propiedad de la UTE..

Sin embargo, recientes licitaciones concluidas para la compra de energía eléctrica de origen eólico, así como nuevas licitaciones que se encuentran en proceso este año, llevarán a que la

energía eólica tenga una fuerte presencia como energía primaria en la producción de energía eléctrica en el Uruguay.

La energía eólica presenta fluctuaciones significativamente diferentes a las de otras fuentes energéticas que se encuentran en explotación hasta ahora en Uruguay como son la hidráulica y la térmica. Mientras que la energía térmica no presentaría fluctuaciones en el tiempo y la hidráulica presentaría fluctuaciones anuales o a lo sumo mensuales, la energía eólica presenta fluctuaciones horarias, semanales y hasta mensuales, siendo las fluctuaciones mayores en plazos horarios. Esta peculiaridad de la energía eólica implica que la generación de energía eléctrica basada en esta fuente de energía primaria pueda pasar de valores elevados a valores nulos en horas, no sólo debido a una disminución de la velocidad del viento sino también a un incremento de la misma. Por este motivo disponer de información sobre la generación futura (pronósticos) resulta una importante herramienta para la gestión del Despacho Nacional de Cargas de UTE.

A partir de la visualización del espectro de potencia de la fluctuación de la velocidad del viento, obtenido a partir de mediciones tomadas en largos periodos de tiempo, mensuales, anuales o de varios años, se identifican intervalos de frecuencia en los cuales, dicha fluctuación tendría elevados tenores de energía, incluso pudiéndose identificar picos espectrales, mientras que existen intervalos de frecuencia en los cuales no habría energía en el espectro. Esto llevaría a plantear la posibilidad de pronosticar la forma en la cual evolucionaría el viento en el tiempo. Además, la mencionada peculiaridad del viento permitiría visualizar la utilización de diferentes metodologías a los efectos de desarrollar el pronóstico con diferentes horizontes temporales.

En la medida en que el desarrollo de pronósticos del recurso eólico sea viable, tendría vinculado varios beneficios, como ser una gestión del despacho más eficiente y lograr optimizar el uso de la energía hidroeléctrica y térmica, de tal forma de bajar el tiempo de uso de las unidades de mayores costos variables. Asimismo, la realización de pronóstico permitiría evaluar el efecto que tendría sobre el mismo diferentes condiciones de funcionamiento de los parques eólicos.

### 3.- **Objetivo**

Desarrollar, mejorar, suministrar a UTE herramientas para llevar adelante el pronóstico operativo de la velocidad, dirección de viento y de la generación eléctrica por parques eólicos instalados en el territorio nacional por un lapso de 3 años. Se pretende que:

- UTE pueda replicar en instalaciones propias las corridas realizadas por los modelos que actualmente cuenta FING y las versiones subsiguientes que estén cubiertas por los desarrollos planteados en el presente convenio para obtener las previsiones antes citadas adecuadas a las necesidades operativas.
- Una vez finalizado el presente convenio, UTE deberá disponer de fuentes de la herramienta informática
- Una vez finalizado el presente convenio, UTE deberá poder:
  - operar correctamente las herramientas suministradas,
  - detectar y resolver inconvenientes informáticos, y
  - tener la suficiente capacidad técnica como para poder incorporar nuevas instalaciones o prestaciones.
- En consonancia con lo anterior las herramientas suministradas deberán contar con un ámbito informático de prueba y fuera de la operativa diaria que permita realizar pruebas de nuevas versiones, entrenamiento de personal y estudios particulares.
- Desarrollar un ámbito de trabajo conjunto UTE-FING para la mejora continua de la herramienta en términos de bajar la incertidumbre, lograr la transferencia de conocimiento y tecnología, identificando nuevas aplicaciones.
- Generar ámbitos de participación con otros actores como ser; la Dirección Nacional de Meteorología (DNM) y los diferentes generadores privados como forma de promover la importancia de las previsiones identificando otras posibles aplicaciones de utilidad para todos los involucrados.

Se pretende además que UTE, de forma independiente y con el objetivo de obtener una medida de los servicios disponibles y la calidad de los mismos, contrate durante un período de prueba los servicios de previsiones de una o más firmas de reconocida trayectoria. Los resultados de las citadas previsiones serán compartidos con FING y se utilizarán como base de comparación para la evaluación de la herramienta suministrada por FING.



#### **4.- Etapas del convenio**

##### **4.1.- Etapa 1, Puesta en funcionamiento de corridas en modalidad de espejo para el parque Emanuele Cambilargiu**

Suministrar a UTE los requerimientos mínimos y el apoyo técnico necesario para poder cumplir con los objetivos planteados en el convenio. Se entiende como requerimientos:

- Las especificaciones técnicas del cluster necesario para poder implantar la operativa planteada.
- Se realiza el proceso de selección de la persona presupuestada en el presente convenio en conjunto UTE-FING
- Las especificaciones técnicas de la conexión informática, entre otras, que hagan posible recabar la información necesaria para ejecutar las corridas así como para poder intercambiar información entre UTE y FING (generación por parque ejecutada, datos meteorológicos de torres representativas).
- Aquella información necesaria para la retroalimentación del modelo disponible en UTE que no presenten problemas de confidencialidad
- El apoyo técnico necesario para la instalación y puesta a punto tanto del cluster como de la instalación y puesta en operación de los programas correspondientes.
- La documentación referida al desarrollo conceptual de la herramienta suministrada y sus programas fuentes.
- Una primera etapa formativa abarcando los siguientes temas:
  - Desarrollo conceptual de los fenómenos involucrados
  - Aplicación a los modelos de previsión
  - Representación y utilización en la herramienta suministrada
  - Formación específica a nivel de programación, la que se realizará a través de la instalación del programa, cursillo formal, resolución de problemas planteados en la operativa normal, ajuste del formato de las salidas a las necesidades operativas y de las interfases que permitan intercambiar la información necesaria entre UTE y FING.

- Informe detallando las actividades realizadas, las dificultades encontradas y el cumplimiento de los objetivos de la presente etapa, el que se realizará en conjunto entre FING y UTE.

Al finalizar esta etapa el sistema de pronósticos deberá estar instalado y funcionando normalmente según los requerimientos del convenio (de acuerdo al informe de cierre de la etapa).

#### **4.2.- Etapa 2, Pronósticos operativos en modalidad de espejo UTE-FING en el 100 % de los parques instalados**

Se generaran pronósticos operativos en modalidad de espejo UTE-FING en el 100% de los parques instalados.

En una primera instancia, se generarán pronósticos operativos de potencia generada automáticamente de acuerdo al siguiente esquema:

- Diariamente se obtendrán por parte de UTE y FING y antes de las 10 horas las previsiones de velocidad y dirección de viento y de potencia generada con discretización horaria para las 120 horas siguientes

El esquema antedicho de pronósticos podrá modificarse a solicitud de UTE en función de los impactos que se prevean ocurran en la operativa del despacho de la generación eólica.

La presente etapa se cerrará mediante informe que contenga; archivos con las previsiones realizadas, las medidas reales de potencia y parámetros de viento, estadísticas de desvíos, detalle de actividades realizadas con sus dificultades y la confirmación de las actividades realizadas.

#### **4.3.- Etapa 3, estudios complementarios y mejoras**

A lo largo del presente convenio y a los efectos de mejorar la herramienta desarrollada al momento de la firma del mismo y como forma de generar nuevos subproductos de interés de UTE, se plantean las siguientes tareas y líneas de investigación:

#### **4.3.1.- Recalibración de un modelo estadístico de corrección de errores sistemáticos a partir de información histórica**

Se utilizará la información de la generación de energía eléctrica de los parques eólicos instalados, así como las salidas del modelo de atmósfera regional para el cálculo en forma periódica de los parámetros estadísticos de un modelo estadístico de corrección de errores sistemáticos de los pronósticos.

#### **4.3.2.- Incorporar información satelital de uso del terreno actualizada**

A los efectos de la utilización de grillas con mayores niveles de resolución se plantea incorporar al modelo regional información satelital actualizada respecto al uso del suelo. Se tomará como referencia la información contenida en GlobalCover2009.

#### **4.3.3.- Analizar variación día a día de la incertidumbre**

Se estimará para cada día la incertidumbre en el pronóstico considerando la desviación estándar de resultados públicamente disponibles de conjuntos de varios pronósticos globales.

#### **4.3.4.- Análisis de estacionalidad de parámetros del modelo estadístico de corrección de errores sistemáticos (MOS)**

En la medida que se generen series históricas de larga duración de pronósticos se analizará la estacionalidad de los parámetros del modelo estadístico de corrección de errores sistemáticos.

#### **4.3.5.- Generar modelo de pronóstico con modelo regional que incluya resolución de vórtices de gran escala dentro de la capa límite**

A los efectos de evaluar la posibilidad de mejorar la calidad de los pronósticos se plantea incorporar la modelación utilizando dentro del modelo regional la capacidad de simular los procesos de turbulencia en la capa límite incluyendo el cálculo explícito de los vórtices turbulentos de mayor escala, recalibrando el modelo MOS.

#### **4.3.6.- Analizar costo-beneficio de cálculo de incertidumbre en base a conjuntos de pronósticos**

Se plantea realizar corridas de conjuntos de pronósticos (ensembles) a los efectos de evaluar el costo-beneficio comparado con la aplicación de técnicas de menor costo de cálculo computacional.

#### **4.3.7.- Presentación de otras variables de pronóstico de interés**

Generar información histórica de pronóstico de otras variables de interés a los efectos de generar condiciones para el desarrollo de nuevas utilidades de pronóstico.

#### **4.3.8.- Analizar posibilidad de asimilación de datos generados a partir de radares regionales**

La asimilación de datos de radares regionales potencialmente generaría oportunidades de mejorar significativamente la calidad de los pronósticos. Se evaluará a tales efectos la posibilidad de concretar la incorporación de esta información.

Por cada uno de los puntos a estudiar y/o implementar se tendrá:

- Un informe que evalúe la mejora planteada para la obtención de los pronósticos concluyendo si es recomendable incorporar mejoras a la herramienta en uso.
- Implementación de la mejora en la herramienta, cuando la evaluación sea positiva.
- Talleres formativos y/o seminarios para cada uno de los diferentes ítems.

El informe deberá contar con: descripción del fundamento teórico del desarrollo planteado, estudios realizados, comparación con la situación base, conclusión y recomendación para su implementación en la herramienta y en caso de ser necesario resultados de la implantación.

#### **4.4.- Etapa 4, evaluación final y cierre del convenio**

Como última etapa, UTE realizará una evaluación final del presente convenio desde, al menos, los siguientes puntos de vista:

- Desarrollo y resultado global del convenio.
- Operabilidad de la herramienta.
- Precisión de la misma, en comparación con los primeros resultados y con resultados a nivel internacional.
- Al final del convenio y luego de realizadas las acciones e inversiones necesarias correspondientes al convenio, se evaluarán las capacidades de pronóstico disponibles por UTE, contrastando los pronósticos operativos propios con los brindados por otros servicios de calidad reconocida.

El resultado de esta evaluación podrá ser presentado en un seminario de cierre del convenio.

**5.- Hitos, cronograma de actividades y pagos correspondientes**

Las actividades comprendidas en el presente convenio corresponden al siguiente detalle de hitos:

Hito 1. Firma del Convenio. Pronósticos operativos de viento y potencia en el parque Emanuele Cambilargiu disponibles.

Hito 2. Se instrumentan pronósticos operativos en el Despacho Nacional de Cargas de UTE, en espejo a los que al presente se desarrollan de manera automática en el cluster de FING del parque Emanuele Cambilargiu, implementando un minicluster local en red con el cluster de FING. Se realiza la contratación del recurso humano presupuestado.

Se analizará la posibilidad de instrumentar un tercer sistema como respaldo en un servidor remoto contratado.

Hito 3. Se tienen automatizados y disponibles los pronósticos de campo de velocidades en todos los horizontes temporales, hasta una semana, en todos los sitios donde se tengan proyectados parques eólicos en los sistemas de simulación en red implementados. Todos los pronósticos serán generados en modalidad de espejo.

Hito 4. Se presentan análisis respecto a mejoras.

Hito 5. Se actualizan herramientas de cálculo disponible de acuerdo a los resultados del hito 4.

Hito 6. Se cierra proyecto presentando el Informe correspondiente y realizando un seminario sobre el mismo.

El cronograma de pagos en pesos uruguayos se detalla en la planilla siguiente:

HITOS	FECHA PREVISTA	GASTO POR		
		MONTO CONVENIO	PERSONAL CONTRATADO	CONCEPTO DE TOTAL
1	a la firma del convenio	1360000		1360000
2	a los 6 meses de la firma del convenio	340000	600000	940000
3	a los 18 meses de la firma del convenio	270000	300000	570000
4	a los 24 meses de la firma del convenio	980000	0	980000
5	a los 24 meses de la firma del convenio	230000	300000	530000
6	a los 30 meses de la firma del convenio	270000	0	270000
TOTALES		3450000	1200000	4650000

Los pagos se efectuarán en los plazos indicados en la columna FECHA PREVISTA siempre que se constate el cumplimiento de la totalidad de las actividades que constituyen el hito respectivo a conformidad de UTE.

Los pagos correspondientes al personal contratado que se realicen se ajustarán en siguientes pagos en la medida que se constate o no su ejecución. Las partes de común acuerdo podrán acordar el eventual reemplazo o reposición del personal contratado en caso de renuncia.

**6.- Contratación de recursos humanos asociados a la implementación**

En el marco de la implementación del convenio se ha presupuestado la contratación de una persona egresada o estudiante avanzada de la Licenciatura de Ciencias de la Atmósfera por un período de dos años, el cual inicialmente tendrá una instancia formativa en la FING durante tres meses y posteriormente cumplirá sus tareas en dependencias del Despacho Nacional de Cargas de UTE.

Se conformará en conjunto entre UTE y FING un tribunal que definirá el proceso y la selección de dicha persona.

1.	Antecedentes .....	6
2.	Introducción .....	6
3.	Objetivo .....	8
4.	Etapas del convenio .....	9
4.1.	Etapa 1, Puesta en funcionamiento de corridas en modalidad de espejo para el parque Emanuelle Cambilargiu .....	9
4.2.	Etapa 2, Pronósticos operativos en modalidad de espejo UTE-FING en el 100% de los parques instalados .....	10
4.3.	Etapa 3, estudios complementarios y mejoras .....	10
4.4.	Etapa 4, evaluación final y cierre del convenio .....	12
5.	Hitos, cronograma de actividades y pagos correspondientes. ....	13
6.	Contratación de recursos humanos asociados a la implementación. ....	14

Three handwritten signatures in black ink are located on the left side of the page. The top signature is a stylized 'E', the middle one is a more complex cursive signature, and the bottom one is a shorter, simpler signature.