

INFORME COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

Pronóstico Centralizado de Generación Eólico y Solar Fotovoltaico.

Departamento Pronósticos

octubre - 2023

Contenido

Introducción.....	3
Metodología general y datos de entrada.....	4
Evaluación periódica de los pronósticos disponibles.....	9

Introducción.

En el marco de las iniciativas realizadas por el Coordinador Eléctrico Nacional, para cumplir con una operación segura y a mínimo costo del Sistema Eléctrico, se ha implementado un pronóstico centralizado de generación renovable variable, en particular para centrales eólicas y fotovoltaicas conectadas al Sistema de Transmisión. Este pronóstico centralizado cumple con lo especificado en el Reglamento de la Coordinación y Operación del Sistema Eléctrico Nacional¹. En este contexto, el Coordinador tiene el apoyo de la información enviada por los coordinados de las respectivas centrales y dos empresas líderes a nivel internacional en la elaboración de pronósticos de generación para centrales eólicas y fotovoltaicas.

El presente documento describe el proceso realizado para obtener el pronóstico centralizado de generación del Coordinador.

¹ Decreto Supremo 125 publicado el 20 de diciembre de 2019

Metodología general y datos de entrada

La metodología aplicada en el proceso de Pronóstico Centralizado de generación del Coordinador se basa en un modelo de combinación de múltiples pronósticos de producción o generación renovable variable, denominados “**pronósticos fuentes**”. El equipo técnico encargado lo realiza periódicamente y consiste en seleccionar el pronóstico que presente mejor desempeño (a partir de un cálculo de indicadores) entre la información disponible, pudiendo ser el pronóstico enviado por el coordinado (según las obligaciones que se encuentran indicadas en el Título 7-3 de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio), el proveedor externo o el sistema experto. El pronóstico seleccionado incluye las limitaciones y mantenimientos programados, procurando la minimización de las desviaciones. Finalmente, es utilizado para las respectivas etapas del proceso de programación de la operación de corto plazo (PCP).

A continuación, se detalla las tres predicciones disponibles para determinar el pronóstico centralizado de cada central.

- **Pronóstico de coordinado:** Es aquel pronóstico de producción de energía que debe considerar la disponibilidad de generación, incluyendo recurso primario variable con sus limitaciones, desconexiones programadas, mantenimientos de las instalaciones (incluyendo transformadores elevadores), mantenimientos asociados a la transmisión y variables que afecten a las inyecciones de energía. Cabe destacar, que no se deben considerar en el pronóstico los efectos de las reducciones de generación instruidas por el CEN para garantizar una operación segura y a mínimo costo, según la norma vigente.

Para el proceso de la Programación de la Operación de Corto Plazo, se utilizan los pronósticos con horizonte de 240 horas, los cuales se visualizan en la Tabla N°1:

Tipo de archivo	Horario de entrega diaria “h” Central eólica	Horario de entrega diaria “h” Central solar	Ventana de información (vector horario de pronósticos)
Eólica-240h Solares-240h	08:00	08:00	240 valores, desde las 00:00 horas del día siguiente.

Tabla N°1: Frecuencia y horizonte pronósticos de 240h.

Es importante recalcar que el límite de entrega horario se actualizó el día 13 de septiembre 2023 mediante carta del Coordinador DE04049-23, cambiando el horario original de carga de pronósticos a las 9:00 hrs.

- **Pronóstico de proveedor externo:** Corresponde a los pronósticos enviados por una empresa de apoyo especialista, contratada por el Coordinador. Para sus predicciones utiliza algoritmos y modelos de machine learning, los cuales tienen como datos de entrada información técnica de las centrales y sus respectivas coordenadas de ubicación, con el fin de observar las variables meteorológicas de la zona. Para la evaluación a sistema centralizado se utilizan los pronósticos con horizonte de 240 horas, los cuales son equivalentes a la Tabla N°1.
- **Pronóstico de sistema experto:** Corresponde a pronósticos enviados por una empresa de apoyo contratada por el Coordinador. Sus predicciones se realizan a través de un módulo

combinatorial basado en algoritmos de software de autoaprendizaje y auto calibración, y combina inteligencia artificial con el conocimiento del dominio de la energía eólica y solar, para elaborar pronósticos de producción de energía, los cuales minimicen las desviaciones.

El módulo combinacional, utiliza los pronósticos entregados por Coordinados y Proveedor externo, además de diferentes entradas. Es por esto, que a continuación se definen las características del proceso.

DATOS DE ENTRADA

Los datos de entrada se separan en tres bloques, correspondientes a datos técnicos, datos de generación y datos de previsión. A continuación, se detalla cada uno.

1. En primer lugar, los **datos técnicos** de las plantas de energía se pueden definir como el conjunto de datos intrínsecos a las características físicas y técnicas de las instalaciones como la potencia máxima o capacidad, las coordenadas geográficas, las fechas desde que se encuentran en operación, entre otras.
2. Los **datos de generación** se pueden dividir en datos medidos por el sistema SCADA y las reportadas por los respectivos Coordinados como promedios horarios en las respectivas plataformas del Coordinador.

Por lo que respecta a los **datos horarios reales de generación**, estos son ingresados por Coordinados a la plataforma OPREAL (MWh/h).

En cuanto a **los datos medidos por el sistema SCADA en tiempo real**, éstos se encuentran disponibles para el Coordinador y tienen una resolución y frecuencia de actualización de 1 minuto. En estos archivos se encuentra la identificación de la planta renovable, así como la potencia medida (MW).

3. Por último, se dispone de vectores de **pronósticos de producción de energía** o pronósticos fuentes, elaborados por los Coordinados y pronósticos de proveedor externo, los cuales son utilizados para la selección/combinación óptima y reducir los errores de predicción.

DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DEL MODELO COMBINACIONAL

El diseño se encuentra conformado por 2 etapas, las cuales corresponden a preprocesado y módulo combinacional. Cada una se detalla a continuación:

PREPROCESADO:

A la hora de realizar pronósticos, una de las etapas claves en el entrenamiento del modelo es el pertinente análisis de los datos que se le proveen, por lo que se realiza un exhaustivo análisis de todos los datos de entrada al modelo para evitar que sea entrenado de manera incorrecta.

En primer lugar, se realiza un estudio preliminar de las series temporales, así como demás datos, observando su evolución temporal con el objetivo de detectar comportamientos anómalos, ya sean datos no disponibles, periodos sin producción, valores constantes, etc. En segundo lugar, los sistemas de previsión cuentan con diferentes módulos integrados que son capaces de detectar y

corregir los datos anómalos. Estos módulos detectan no solamente datos negativos, fuera del rango posible, o datos congelados en el tiempo, si no también es capaz de detectar datos que, aun estando dentro del rango factible, no se encuentran dentro de lo esperable. Una vez los datos de entrada pasan estos filtros mencionados anteriormente, son almacenados con una variable de estado que indica si estos datos han sido corregidos o no y cuán fiables son.

MÓDULO COMBINACIONAL

Una vez el algoritmo está configurado para recibir los datos de entrada, éste se entrenará usando una ventana deslizante de los **últimos dos meses de datos**.

Durante esta etapa, el sistema ajusta las medidas a cada uno de los pronósticos, **asignándole un peso entre 0 y 1 para cada fuente de pronóstico y horizonte temporal**. Cuanto más elevado es este coeficiente, mayor es la precisión de dicho proveedor durante el periodo estudiado. Por lo tanto, una vez asignados los pesos a cada una de las fuentes de predicción, se combinan generando una predicción óptima para el horizonte deseado.

En un primer momento, los coeficientes se inicializan asignando el mismo valor a cada una de las fuentes. Por lo tanto, en el caso de que no haya mediciones para un sitio determinado, el pronóstico combinado resultante ponderará por igual la potencia de cada uno de los proveedores. Cuando haya disponibilidad de mediciones, el módulo de combinación aprenderá de ellas y, a medida que pase el tiempo, otorgará mayor (o menor) peso a los proveedores con mejor (o peor) rendimiento.

Bajo circunstancias normales, y con el suficiente periodo de entrenamiento, el modelo combinacional debería generar predicciones más precisas que cualquiera de los pronósticos individuales. Esto se cumplirá siempre que los pronósticos de entrada no estén correlacionados y tengan un buen nivel de precisión.

Dado que los proveedores entregan sus pronósticos con diferentes horizontes y frecuencias, el Módulo Combinacional se ha diseñado de forma que pueda funcionar bajo condiciones en las que una de las fuentes no esté disponible o no alcance todo el horizonte deseado. Además, este sistema también puede operar incluso cuando haya fallos o retrasos en la entrega de predicciones para un determinado proveedor, simplemente usando los datos de una entrega anterior.

Después de la combinación, los nuevos pronósticos generados se producen con la frecuencia deseada y el **modelo es actualizado cada vez que el sistema recibe nueva información**, la cual puede ser nuevos datos de producción o predicciones de los diferentes proveedores. El diagrama del proceso completo se puede observar en la Figura 1.

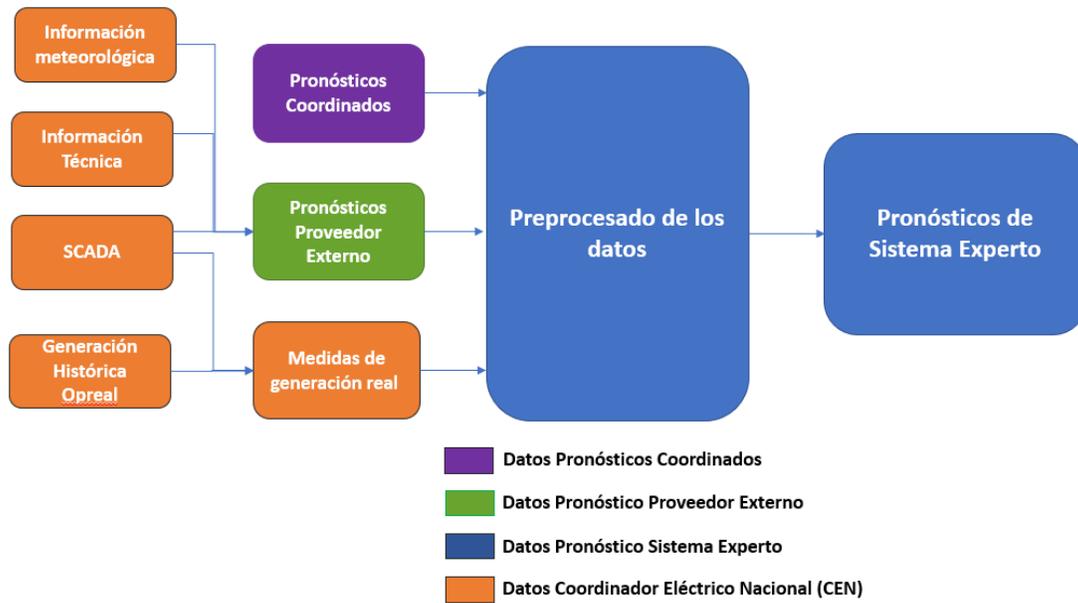


Figura 1: Diagrama del proceso de combinación de pronósticos.

Es importante destacar que no es necesario hacer un entrenamiento de los modelos cada cierto tiempo, lo que supondría una reducción del rendimiento del sistema. En cambio, los modelos aplicados se autoajustan y reentrenan en tiempo real a medida que recibe nueva información. Es imprescindible el uso de algoritmos de autoaprendizaje y auto calibración, ya que estos aprenderán continuamente sobre las características de las plantas y se adaptarán a todas esas condiciones cambiantes de tal manera que los pronósticos se mantengan precisos en todo momento.

Una vez el sistema se encuentra entrenado y en modo operacional (operación en tiempo real), **el tiempo necesario para combinar los datos de entrada y generar las nuevas predicciones será de 2-3 minutos**. Este tiempo es reducido ya que la estimación de los coeficientes ya estará realizada y lista para ser aplicada tan pronto como estén disponibles las predicciones de los proveedores.

Una vez descritos los tres tipos de pronósticos que se encuentran disponibles para cada una de las centrales conectadas a Transmisión, se realiza el proceso de selección para pronóstico centralizado. En el diagrama de la Figura 2 se puede resumir el proceso.

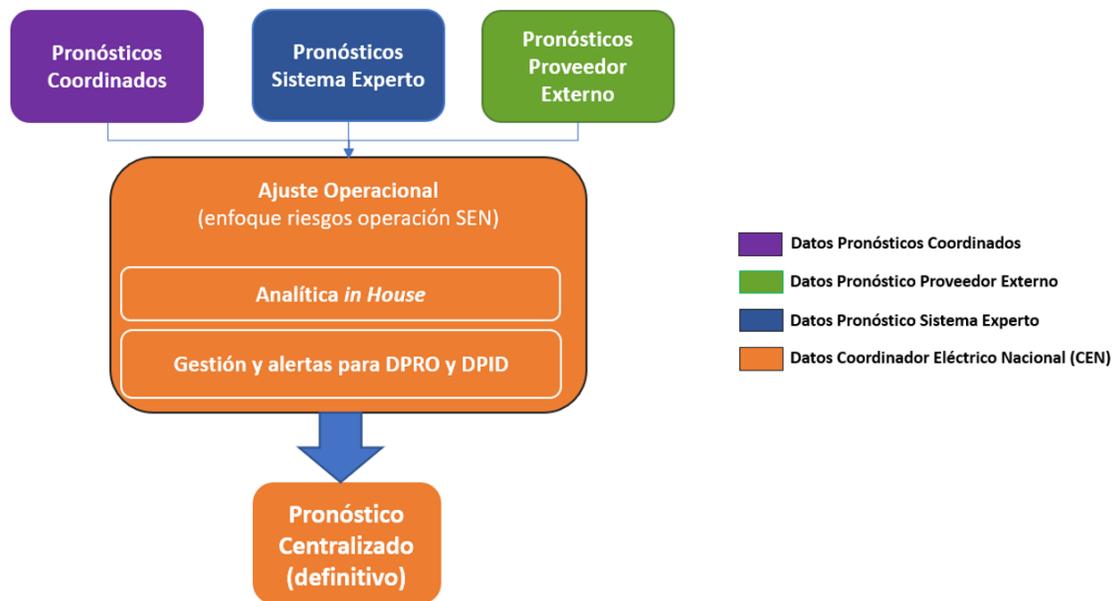


Figura 2: Diagrama del proceso de selección de pronóstico centralizado.

Evaluación periódica de los pronósticos disponibles.

Para realizar este procedimiento el Departamento Pronósticos mantiene un Dashboard solar y eólico a partir de la base de datos interna de generación de las centrales, y sus 3 tipos de pronósticos correspondientes a Coordinado, Proveedor externo y Sistema Experto.

Según lo descrito en las secciones anteriores, el Sistema Experto es capaz de minimizar los errores cuando el modelo se encuentra bien calibrado y con medidas que permitan una buena retroalimentación, no obstante, esta situación no se evidencia en algunas situaciones, tales como centrales renovables con poca historia o puestas en servicio recientes, atraso o no entrega de los pronósticos por parte del Coordinado, indisponibilidad de señal de generación a tiempo real, entre otras. En dichas situaciones, es posible que se descarte el uso del pronóstico elaborado por el Sistema Experto a favor del pronóstico del coordinado o proveedor externo, hasta que el Sistema evidencie que al menos durante dos meses seguidos sus desempeños sean mejores, manteniéndose una desviación menor las dos últimas semanas en las que se realiza la evaluación.

El proceso de evaluación general se describe a continuación:

Para cada central se calcula el indicador MAPE entre generación real y cada uno de los pronósticos entregados. Se recalca que no se considera el efecto de reducciones en tiempo real instruidos por el Coordinador, ya que se analiza el pronóstico para las primeras 24 horas de todos los días de un mes, comparando pronósticos a corto plazo, seleccionando aquel que sea más ajustado a la generación real indicada por el Coordinado, en la plataforma Opreal.

La fórmula que se utiliza para el cálculo de MAPE es la siguiente:

$$MAPE_{por\ pronóstico} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{|(generación_{real,j} - generación_{pronosticada,j})|}{n}}{capacidad\ total\ del\ parque}$$

A partir de la elaboración al menos con una periodicidad mensual, el Coordinador determina el pronóstico que presenta el mejor desempeño para cada una de las centrales eólicas y fotovoltaicas conectadas en transmisión del SEN, definiendo a este último como información del pronóstico centralizado. A partir del criterio anterior, el sistema centralizado de generación utiliza el mejor pronóstico (con mejores indicadores MAPE) como datos de entrada al Proceso de la Programación de la Operación de Corto Plazo (PCP), el cual puede considerar el pronóstico de producción de generación del Sistema Experto, el pronóstico de los coordinados y el pronóstico del proveedor externo.