

Una primera evaluación de incorporar pronósticos de corto plazo de la generación eólica

Ing. Daniel Perez Benech - Ing. Lourdes Albornoz - Ing. Santiago Mullin

Instituto de Ingeniería Eléctrica – FING.

Julio 2011

Montevideo - Uruguay.

IMPORTANTE: Este trabajo se realizó en el marco del curso Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica (SimSEE) y fue evaluado por el enfoque metodológico, la pericia en la utilización de las herramientas adquiridas en el curso para la resolución del estudio y por la claridad de exposición de los resultados obtenidos. Se quiere dejar expresamente claro que no es relevante a los efectos del curso la veracidad de las hipótesis asumidas por los estudiantes y consecuentemente la exactitud o aplicabilidad de los resultados.

1 Objetivo.

La programación del despacho para los días inmediatos (particularmente aplicado al sistema de potencia uruguayo), atendiendo al criterio de abastecer la demanda al menor costo posible, partiendo de la información de los generadores disponibles, toma en cuenta el costo variable de las máquinas térmicas y el costo de oportunidad del agua almacenada en nuestros embalses, así como la disponibilidad de las interconexiones internacionales, de ser necesarias.

En la actualidad, la proporción de generación eólica integrada en nuestro sistema es aún poco significativa. Así mismo, está en proceso la incorporación de nuevos parques eólicos que aportarán 300 MW, y la meta para el 2015 es de 600 MW.

La generación eólica, por definición reglamentaria, es autodespachada.

Una característica inherente a la generación eólica es la variabilidad de la potencia en el corto plazo, dentro del orden de una semana, por ejemplo.

El espectro de potencia de Van der Hoffen (1957) muestra que la distribución de los períodos de fluctuación de la velocidad del viento en un punto dado presenta dos máximos muy marcados: uno en escala de minutos (vórtices micro turbulentos) y otro en escala de tres a cinco días, asociado a la dinámica sinóptica de la atmósfera.

Esta variabilidad sinóptica es susceptible de ser pronosticada.

Por tanto, si el programador del despacho dispone de pronóstico de los valores esperados del viento para los siguientes días, con una incertidumbre significativamente reducida (si comparada con los valores históricos), podrá aprovechar mejor la energía eólica disponible en dicha programación, o no contar con ella, si fuera el caso.

Cabe destacar que la variabilidad de la velocidad del viento en períodos más largos (por ejemplo una estación o un año) es muy moderada, lo cual permite estimar con buena aproximación la energía con la que se contará.

Este trabajo se propone evaluar el efecto de incorporar información de pronóstico de corto plazo para la velocidad de viento, o potencia eléctrica generada, en la simulación semanal resultante del SIMSEE, asumiendo una potencia eólica instalada de 600 MW (lo que es proporcionalmente importante para nuestro sistema) comparando con la programación que se realizaría en caso de no disponer de esos pronósticos.

2 Hipótesis de trabajo.

Para este trabajo se utiliza una “sala” correspondiente al parque generador que se cuenta en la actualidad, con la salvedad de la parte eólica: se eliminan todos las centrales eólicas actuales y de incorporación futura, y se considera un generador eólico de 600 MW, con las características que se describen en 3.1.

Se asumen todas las hipótesis utilizadas por el Despacho de Cargas para la semana 26 del presente año 2011, o sea, la semana que transcurre entre los días 27 de junio y 3 de julio (ello incluye los precios, costos y aportes hidrológicos)

Esta elección permite considerar una semana con:

- Alta demanda
- Alta hidraulicidad
- Pronóstico de vientos con alta velocidad, superando promedios históricos.

Para la optimización se consideran las hipótesis utilizadas por el Despacho de Cargas para el estado y la expansión del sistema en los diferentes horizontes.

3 Metodología.

Se realiza la optimización del sistema, encadenando las optimizaciones de largo plazo (modelo de un embalse, periodo de optimización de tres años), de mediano plazo (modelo de dos embalses, periodo de optimización un año), y de corto plazo (modelo de tres embalses, periodo de optimización tres meses).

Para la optimización se consideran las hipótesis utilizadas por el Despacho de Cargas para el estado y la expansión del sistema en los diferentes horizontes.

Respecto a la generación eólica, se retiran todos los generadores de la sala (que están programados para entradas en servicio gradualmente según un escenario real), y en su lugar se sustituye por un Generador Térmico Básico con potencia y costo variable, cuya fuente aleatoria para la potencia en todos los postes, es proveniente de un generador CEGH que simula la energía horaria de parques eólicos de un total de 600 MW.

Actor	Tipo de actor	Fecha de nacimiento	Fecha de muerte	Información adicional			
CTR	Generador térmico básico	Auto	Auto				
Ciclo_combinado	Generador térmico básico	Auto	Auto				
Fenirol	Generador térmico básico	Auto	Auto				
Galofe	Generador térmico básico	Auto	Auto				
Grupos_diesel	Generador térmico básico	Auto	Auto				
Las_Rosas	Generador térmico básico	Auto	Auto				
Liderdat	Generador térmico básico	Auto	Auto				
Motores	Generador térmico básico	Auto	Auto				
PTL_GO	Generador térmico básico	Auto	Auto				
Ponlar	Generador térmico básico	Auto	Auto				
SalaB_FD	Generador térmico básico	Auto	Auto				
TGAA_GO	Generador térmico básico	Auto	Auto				
UPM	Generador térmico básico	Auto	Auto				
Weyerhauser	Generador térmico básico	Auto	Auto				
Zenda_GN	Generador térmico básico	Auto	Auto				
eol600	Generador térmico básico con potencia y costo variable	Auto	Auto				

Editor - SimSEE - v3.13 (IEE - FING) - F:\simsee\corridos\ps...

Archivos Monitores Herramientas Actualizar ? [PorHacer] [versiones]

Variables Globales Fuentes Aleatorias **Actores** Estados Mantenimientos Monitores Simulador ?

Red Demandas Eólicas **Térmicas** Hidráulicas Internacional ?

Generar Resumen Térmico Importar Un Actor Exportar Actores Agregar Actor

Nombre del Generador	Asignado al Nodo	Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?
eol600	Montevideo	Auto	fDisp= 1 p.u., tRep= 0 hs	no

Fichas: Ver Periodicidad Expandida Agregar Nueva Ficha

Editar Unidades Disponibles

Guardar Cambios Cancelar

Nombre del Generador	Tipo de actor
PTL_GO	Generador térmico básico
Ponlar	Generador térmico básico
SalaB_FD	Generador térmico básico
TGAA_GO	Generador térmico básico
UPM	Generador térmico básico
Weyerhauser	Generador térmico básico
Zenda_GN	Generador térmico básico
eol600	Generador térmico básico con potencia y costo variable

Editar ficha de "eol600" Generador térmico b...

Fecha de inicio (dd/MM/yyyy) Auto

Periodica?

Potencias por poste:

Poste	Fuente aleatoria	Borne
Poste 1	sineteol600	eolica_600MW
Poste 2	sineteol600	eolica_600MW
Poste 3	sineteol600	eolica_600MW
Poste 4	sineteol600	eolica_600MW

Costos variables por poste:

Poste	Costo variable	Borne
Poste 1	Cero	1
Poste 2	Cero	1
Poste 3	Cero	1
Poste 4	Cero	1

Coefficiente de disponibilidad fortuita [p.u.] 1

Tiempo de reparación [horas] 0

EMaxPaso [MWh]:

Indice de Precios por Combustible [p.u. del precio]: <Ninguna>

Borne:

Guardar Cambios Cancelar

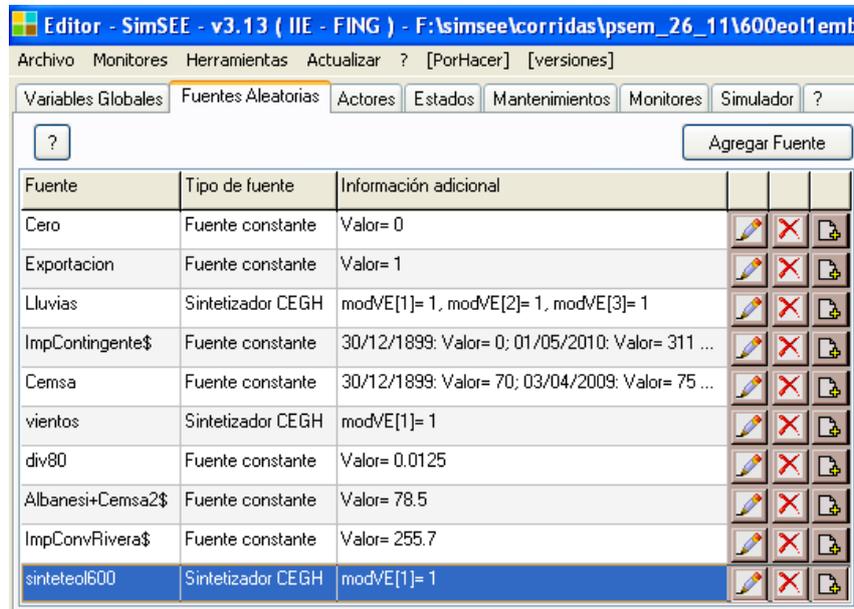
El costo variable para todos los postes es cero, ya que se simula un generador autodespachado.

3.1 Descripción del sintetizador CEGH que simula 600 MW eólicos

El sintetizador CEGH considerado es el que resulta de la utilización de los datos históricos disponibles de 7 puntos de medida distribuidos en Uruguay, y la simulación de sendos parques eólicos de una potencia de 85,7 MW en cada sitio. De esta forma se obtiene una serie sintética de la potencia horaria total eólica recibida por el sistema

basada en las series históricas de viento (la eólica es autodespachada), donde se tiene en cuenta la estacionalidad del recurso, así como la distribución de éste en el territorio nacional.

Este sintetizador CEGH fue desarrollado por la Ing. Eliana Cornalino para el curso de SimSEE del año 2010.



Fuente	Tipo de fuente	Información adicional			
Cero	Fuente constante	Valor= 0			
Exportacion	Fuente constante	Valor= 1			
Lluvias	Sintetizador CEGH	modVE[1]= 1, modVE[2]= 1, modVE[3]= 1			
ImpContingente\$	Fuente constante	30/12/1899: Valor= 0; 01/05/2010: Valor= 311 ...			
Cemsa	Fuente constante	30/12/1899: Valor= 70; 03/04/2009: Valor= 75 ...			
vientos	Sintetizador CEGH	modVE[1]= 1			
div80	Fuente constante	Valor= 0.0125			
Albanesi+Cemsa2\$	Fuente constante	Valor= 78.5			
ImpConvRivera\$	Fuente constante	Valor= 255.7			
sinteteol600	Sintetizador CEGH	modVE[1]= 1			

3.2 Predicción de potencias medias diarias

Se proporciona, por parte del equipo de desarrollo de la herramienta de predicción, las potencias medias diarias previstas para los diferentes horizontes, y una desviación estándar asociada a esta predicción.

Estos datos son para el parque eólico Emanuele Cambilargiú de Sierra de Caracoles, por lo que para utilizarlo en la serie de 600 MW es necesario escalarlo a una potencia de 600 MW.

Para el escalado, se utiliza un coeficiente que refleja dos características de esos generadores:

- La relación entre las potencias instaladas: $600 \text{ MW} / 20 \text{ MW} = 30$
- La relación entre los factores de capacidad: el factor de capacidad de Caracoles es 40.1 %, mientras que el factor “complexivo” de la serie sintetizada por el sintetizador CEGH es 39.8 %. Entonces: $39.8 / 40.1 = 0.99$

Por lo tanto, el coeficiente utilizado para el escalado de la potencia brindada por las predicciones es: $30 * 0.99 = 29.78$

Surgida de la aplicación de este coeficiente, la serie de potencias medias predichas y sus desviaciones estándar es:

Día	1	2	3	4	5	6
Valor esperado (MW)	548	373	363	163	368	325
Desviación estándar (MW)	23.8	25.6	27.1	28.9	32.8	35.7

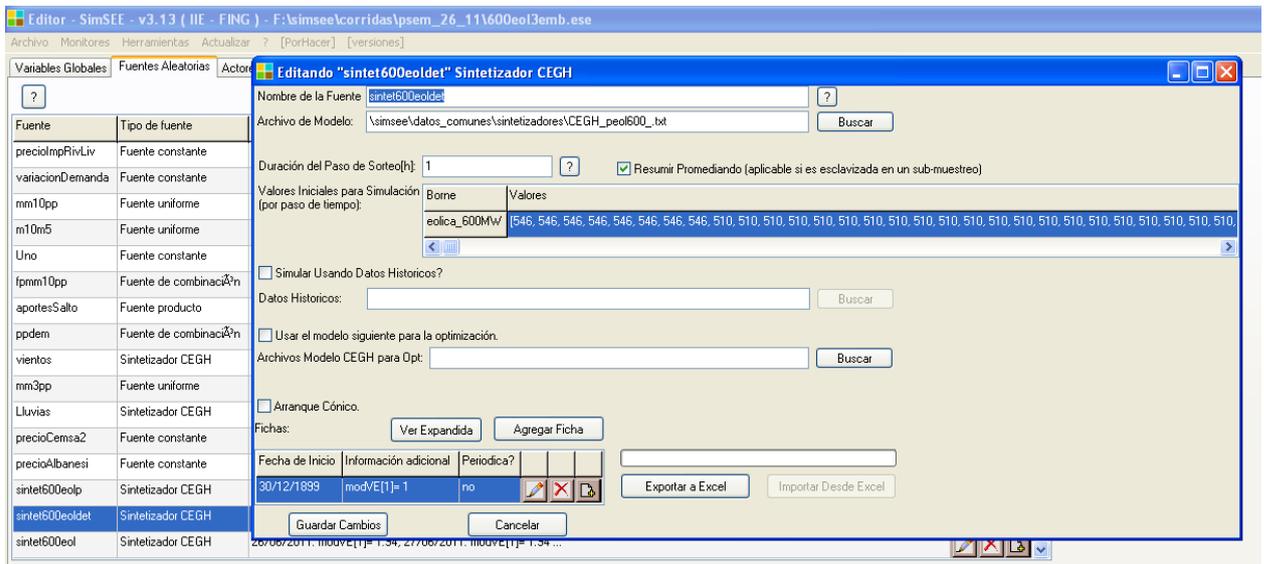
3.3 Simulaciones realizadas

Una vez realizada la optimización aplicando la encadenación ya descrita, se realiza la simulación del sistema para la semana en cuestión, utilizando tres diferentes métodos:

1. Generación eólica determinística: serie horaria de vientos asumida como conocida, sin incertidumbre.
2. Generación eólica con modelo CEGH: utilizando el sintetizador CEGH descrito en el ítem anterior.
3. Generación eólica con predicción: utilizando el sintetizador CEGH modificado por los valores de predicción aportados por el equipo de UDELAR.

3.3.1 Simulación determinística

En el sintetizador CEGH “sinteteol600”, en el campo previsto para introducir los valores iniciales, se carga una serie horaria de potencias, que abarca las 168 horas de la semana simulada.



Construcción de la serie de potencias horarias determinística

Los valores provistos por el equipo de predicción de demanda son potencias medias diarias, por lo tanto es necesario, a partir de este número, construir una curva horaria de potencias para cada día.

Para esto, se usa el siguiente criterio:

- Los primeros dos días se escala la curva real (disponible ya que los días ya habían transcurrido cuando se realizó el trabajo) con el cociente de potencias reales y la predicha.
- El resto de los días de la semana (el tercero al sexto), se utiliza una curva de días que presentan una potencia media similar (diferencia menor al 10%), y que estén cercanos en el tiempo (en el mismo mes, hasta dos semanas de diferencia).

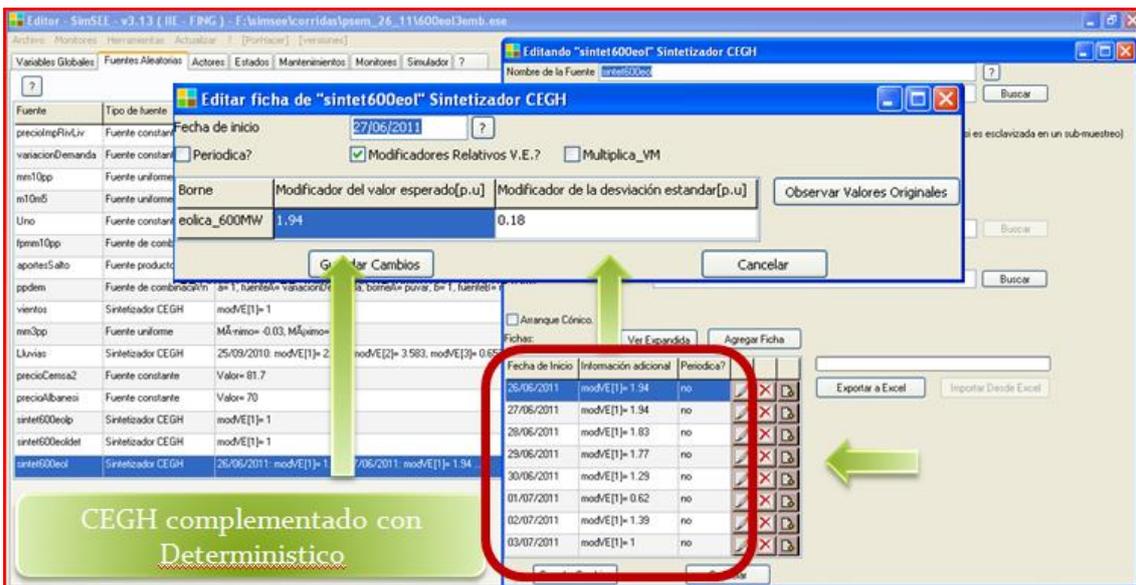
3.3.2 Generación eólica con modelo CEGH

Se simula utilizando como fuente de potencias de la central creada, el sintetizador CEGH, fijando como valor inicial (primera hora de la semana), el valor de la potencia real medido en la semana en cuestión. La serie de potencias para el resto de la semana es la surgida del generador CEGH utilizado, sin modificación alguna.

3.3.3 Incorporación de la predicción de corto plazo en el sintetizador CEGH

En la definición del sintetizador CEGH, el SimSEE permite introducir, **para cada día** (sólo uno por día), valores que, a través de coeficientes, permiten afectar la desviación estándar y el valor esperado de las series sintetizadas.

Estos coeficientes son los que se utilizarán para ajustar la serie a las predicciones. A continuación se describe la forma de calcular los coeficientes que se utilizan para modificar la desviación estándar y el valor esperado medio.



3.3.3.1 Coeficiente para la desviación estándar

Corriendo la simulación (para 100 crónicas) con el sintetizador CEGH original, se halla la desviación estándar para cada hora de la semana. Sumando los valores horarios

diarios se hallan los valores de potencia media diaria para cada día de la semana y para cada crónica, y por lo tanto, y la desviación estándar de la potencia media diaria.

Dividiendo la desviación estándar de las potencias medias horarias predichas (tabla presentada en 4.4, suministrada por el equipo de FING) entre los de las potencias medias simuladas por el CEGH, se calculan los 6 coeficientes, uno para cada día de la semana.

3.3.3.2 Coeficiente para el valor esperado

Para calcular este coeficiente, se baja la serie de valores medios horarios para todo el año que surgen del sintetizador “sinteteol600”. La serie se obtiene a través del botón “Observar valores originales” de la ventana de editar ficha del “sinteteol600”. En esta serie, se identifica la semana simulada.

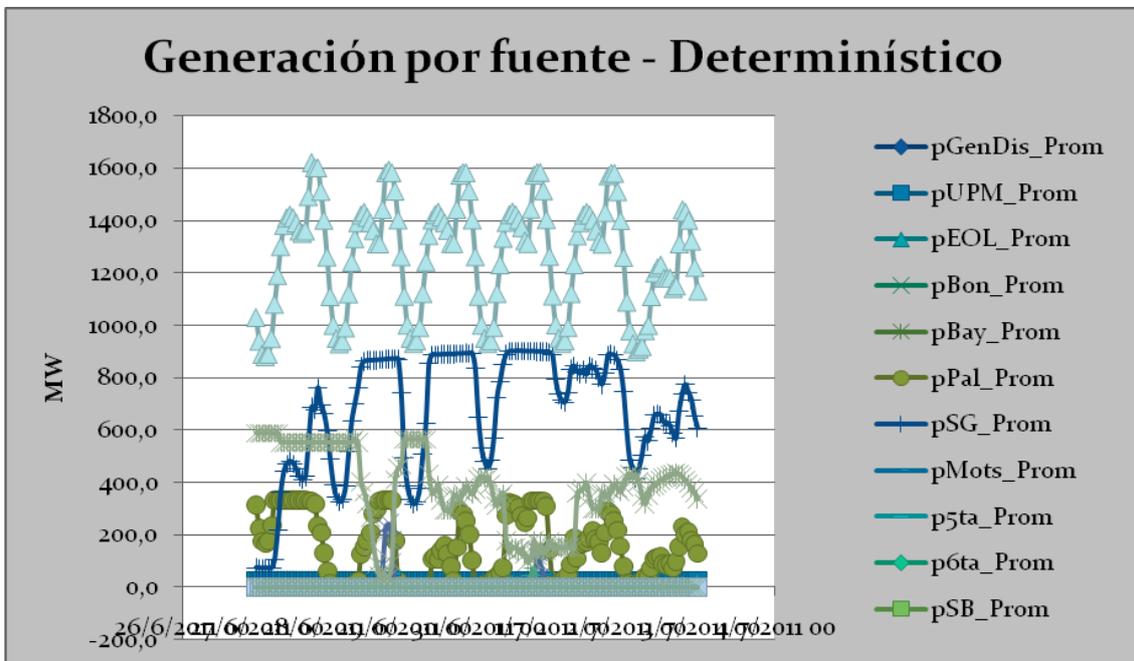
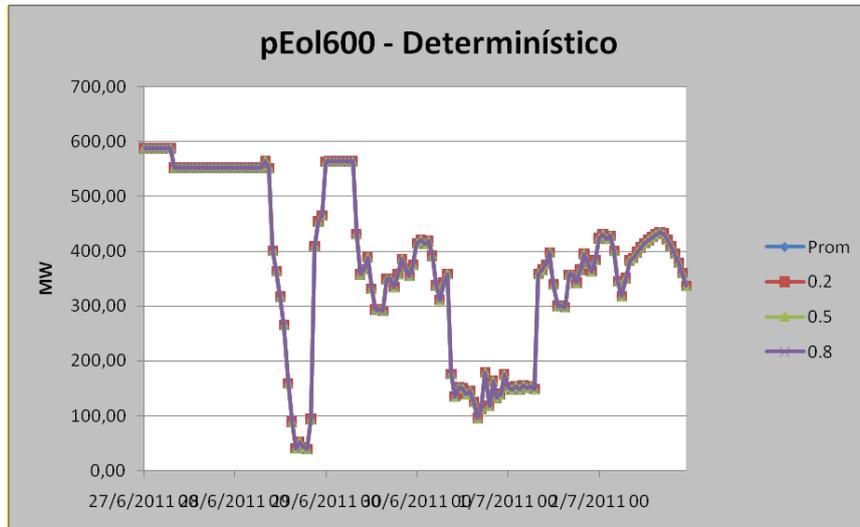
Se utilizan dos criterios diferentes:

1. Se identifica la hora cero de cada día de la serie determinística hallada en 3.2.1, y se divide entre el valor para esa misma hora, proveniente de la serie de valores esperados de “sinteteol600”.
2. Se usa el valor medio de potencia brindado por la predicción, y para calcular el coeficiente, se divide éste entre la potencia media de ese día de la serie de valores esperados de “sinteteol600”.

4 Resultados del estudio.

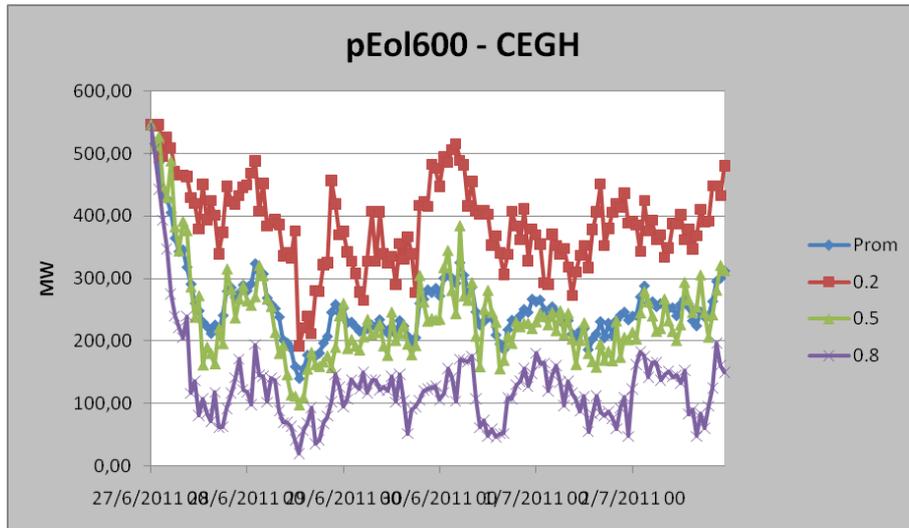
4.1 Simulación determinística

Se presenta el gráfico semanal de potencia horaria de la central eólica. Dado que es una simulación en la que la potencia eólica se introdujo con una serie determinística, es lógico que los valores de potencia para las diferentes probabilidades de excedencia coincidan. No existen sorteos, y todas las crónicas tienen el mismo valor de potencias horarias. No refleja una situación posible.



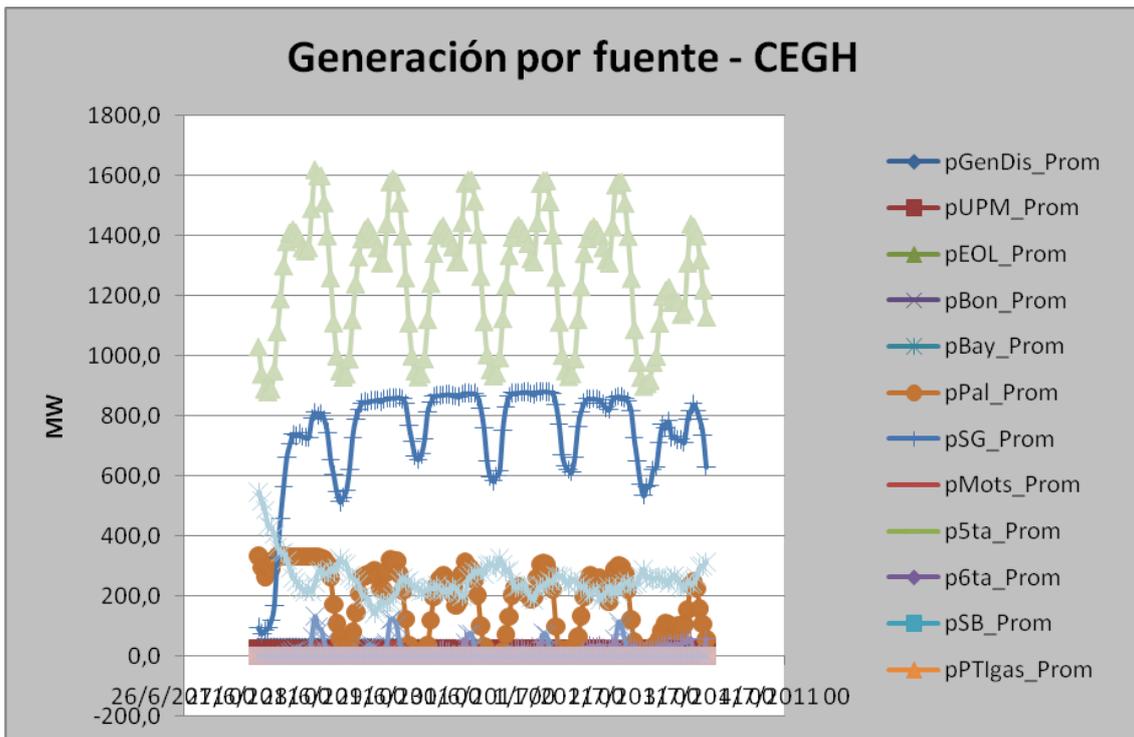
La potencia eólica tiene un valor muy importante los primeros días, y relativamente alto también el resto de la semana. Para dar la demanda se despacha (además) Salto Grande, y se cierra la demanda con Palmar.

4.2 Generación eólica con modelo CEGH



Se presenta el gráfico semanal de potencia horaria de la central eólica, resultado de la simulación de 100 crónicas. Dada la alta incertidumbre resultante de la aplicación del modelo CEGH (basado en datos históricos de vientos) para la predicción de corto plazo, se observa que la dispersión es alta: suele haber una banda de 300 MW de diferencia entre las crónicas con el 20 y el 80 % de probabilidad de excedencia.

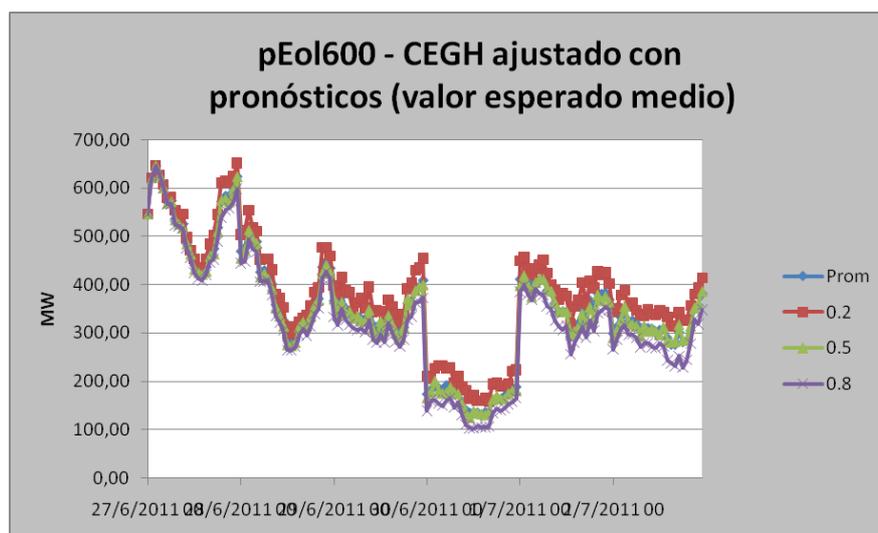
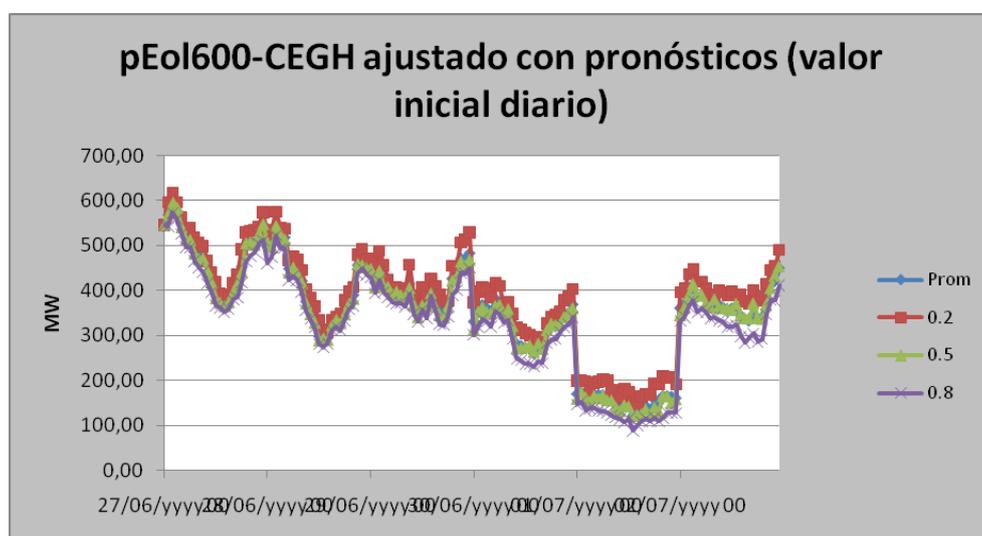
Sin pronóstico, el sintetizador CEGH, a pesar de partir de un valor alto (real), en horas vuelve a valores históricos interanuales.



Dado que en el promedio de las crónicas el valor medio de la potencia eólica resulta algo superior a 200 MW, Salto Grande se despacha a pleno (a menos de los valles), y Palmar no resulta suficiente para cubrir los picos, despachándose Punta del Tigre para los picos.

Si bien en esta gráfica se muestra el promedio de las crónicas, debido a la alta incertidumbre en la serie de potencias eólicas, las simulaciones extremas (probabilidades altas o bajas de excedencia), seguramente mostrarán despachos diferentes en particular de la fuente térmica, que es la que se utiliza para cubrir los picos de demanda.

4.3 Incorporación de la predicción en el sintetizador CEGH

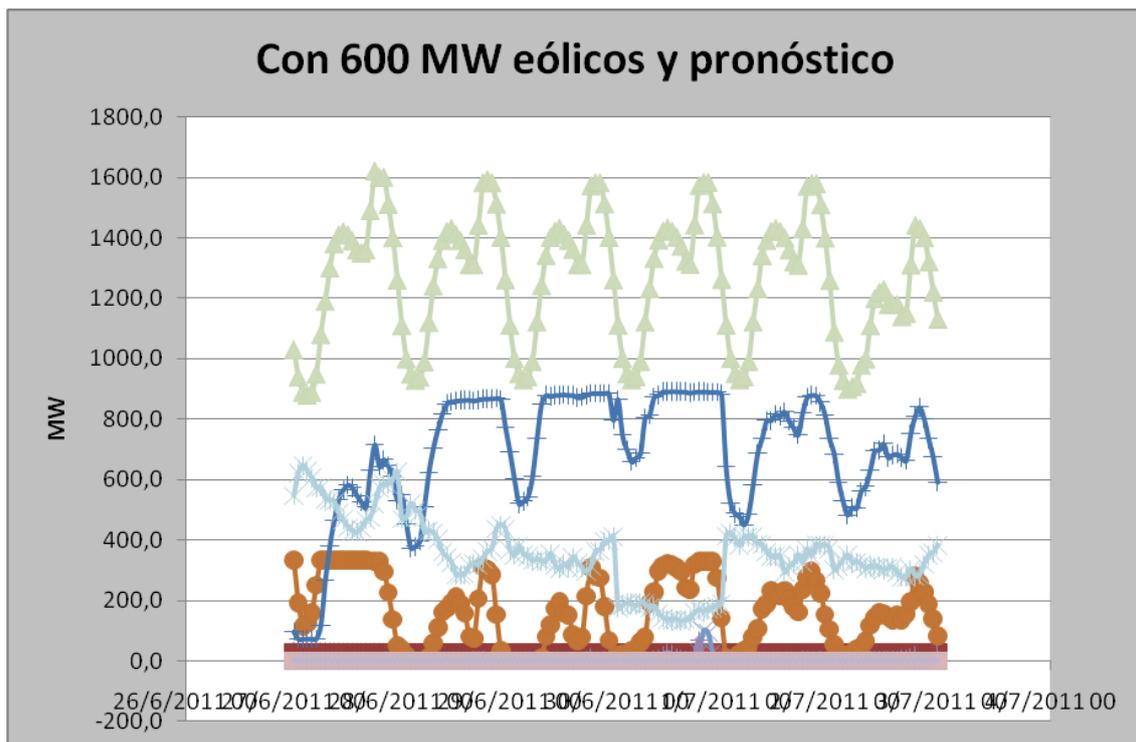


Se presenta el gráfico semanal de potencia horaria de la central eólica, resultado de la simulación de 100 crónicas, habiendo incorporado la modificación por valores medios y desviaciones estándar de las predicciones. La primera gráfica es el resultado del método descrito en 3.3.5.1 y el segundo de 3.3.5.2.

Comparado con la simulación utilizando el modelo CEGH que no tiene en cuenta las predicciones, se observa lo siguiente:

- La variabilidad es muy inferior, reflejando esto que la incertidumbre de las potencias es muy inferior al haber utilizado predicciones numéricas.
- Dado que las incertidumbres son inferiores para las predicciones de los primeros días, el resultado refleja una diferencia muy inferior para las crónicas de 20 y 80% de probabilidad de excedencia en los primeros días que en los últimos de la semana: ello se refleja adecuadamente en los resultados.
- Como los valores de ajuste utilizados para el sintetizador CEGH son diarios, se presentan escalones importantes en la potencia pronosticada, saltando entre las 23 de un día y las 00 del día siguiente.

Se observa que en los primeros días, debido a que la potencia media predicha es muy alta (muy cercano a la potencia nominal eólica), debido a que el sintetizador CEGH sorteaba valores bajos para algunas horas del día, se da que en algunas horas la potencia horaria supera los 600 MW. Este hecho no se da para el resto de los días, en los que la potencia media predicha no es tan alta.



El despacho en las crónicas medias es bastante similar al caso 4.1 (determinístico) dado que la predicción baja mucho la variabilidad de la fuente eólica.

4.4 Conclusiones generales

Al incorporar valores esperados y sus desviaciones estándar para cada día de la semana, SimSEE pudo reconocer potencias eólicas particularmente altas para esa semana, y

planificar un despacho con menos presencia térmica. La diferencia principal es significativamente menor despacho de Punta del Tigre.

Se concluye que es posible ingresar a SimSEE, utilizando los recursos del programa, pronósticos de corto plazo, para generadores eólicos, ya que el simulador lo reconoce y aprovecha esa información, generando una programación semanal distinta a la que genera cuando no dispone de ella.

Se observa que la serie de datos generada por el sintetizador CEGH presenta una variabilidad muy inferior a la serie de datos generada por el sintetizador CEGH original.

Desviación estándar del promedio de potencia diaria

Día	1	2	3	4	5	6
CEGH	131	139	116	137	132	122
Predicción	24	25	27	29	33	35
Relación	0.18	0.18	0.23	0.21	0.25	0.29

5 Posibles futuros trabajos.

Suponiendo que en un futuro se pueda tener la predicción horaria de las potencias eólicas para todas las horas de una semana, incluyendo el valor esperado y la desviación estándar, y según los resultados descritos en 4, se sugieren los siguientes pasos para la incorporación de los pronósticos de viento o potencia en la simulación semanal del sistema en el SIMSEE:

- Corregir el hecho probable (verificado el primer día de la semana simulada) de que la potencia sorteada en algunas crónicas sea mayor a la potencia nominal instalada en parques eólicos. Podría ser, por ejemplo, introduciendo valores máximos para el sintetizador CEGH.
- En el sintetizador CEGH de potencias eólicas, introducir la probabilidad de caída de potencia por salida de servicio de máquinas debido a vientos mayores a la velocidad de cut-off en un conjunto de ellas. Esta modificación también debería tener en cuenta (para simulaciones de paso horario) la histéresis que se genera por el hecho de que la máquina no entra en servicio hasta que la velocidad del viento no es inferior a la de cut-off generalmente en 2 m/s.
- Los coeficientes que modulan el valor medio y la desviación estándar del modelo CEGH para tener la adecuación a la predicción, podrían ser horarios en vez de diarios.