

# Taller: Modelización de Energías Renovables Despacho Eléctrico

( setiembre 2016 – Bs. Aires )



CENTRO DE ESTUDIOS DE LA ACTIVIDAD REGULATORIA ENERGÉTICA  
y Subsecretaría de Escenarios y Evaluación de Proyectos del MINEM

Módulo 3.  
Modelado del recurso eólico y solar,  
sus ciclos diarios, anuales y su  
complementariedad.



Ing. Eliana Cornalino  
[ecornalino@adme.com.uy](mailto:ecornalino@adme.com.uy)



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY



Fundación  
Julio Ricaldoni  
INGENIERIA EN EL URUGUAY

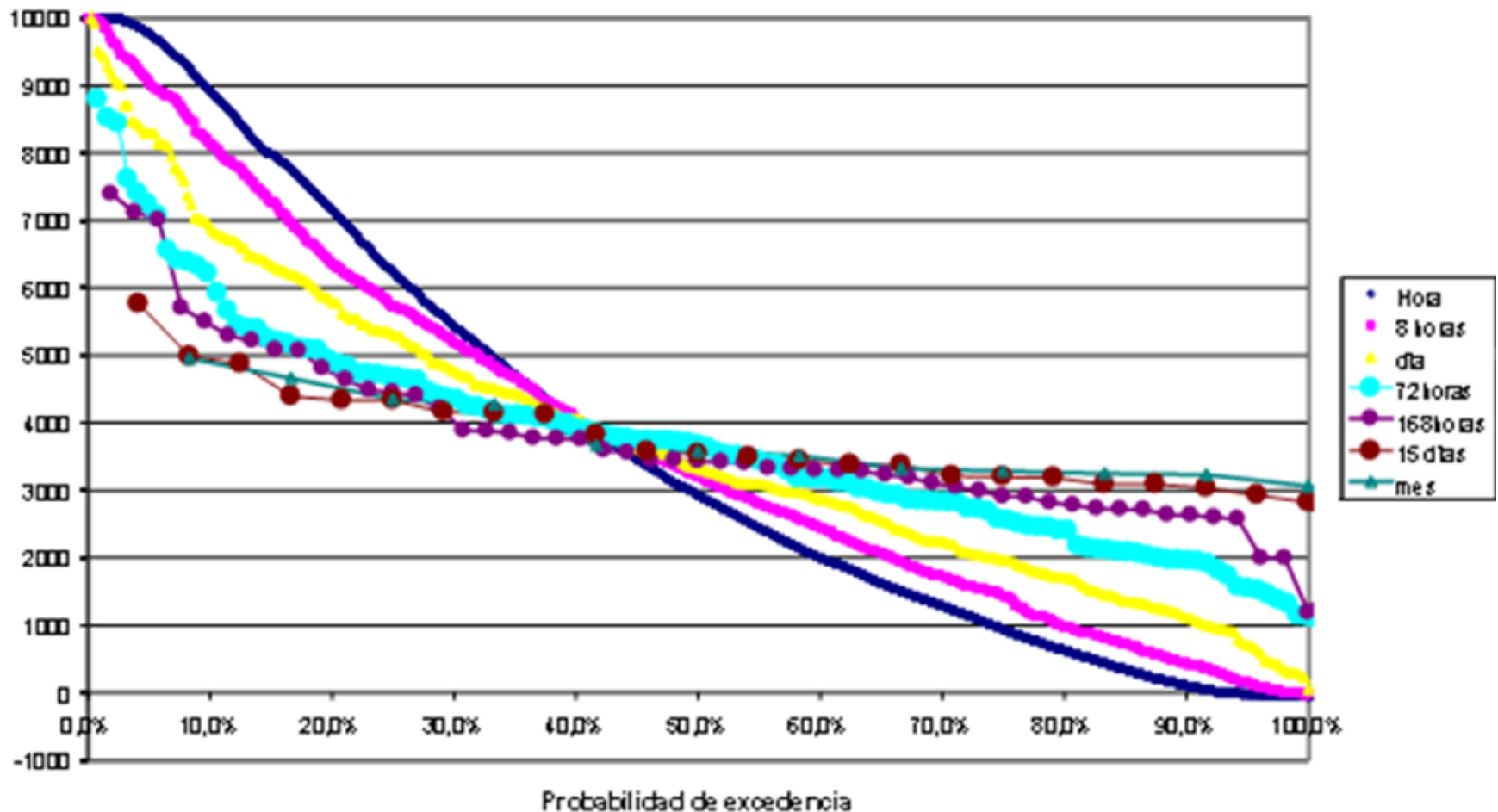
- El presente documento recopila de manera muy resumida los principales resultados de los estudios realizados en torno al modelado del recurso eólico y solar, sus ciclos diarios, anuales y su complementariedad.
- Estos estudios contribuyeron de manera fundamental a la toma de decisiones previos a 2013
- También se presentan algunas verificaciones realizadas a partir de datos reales recopilados desde el 2013 a la fecha.

# Recurso eólico

- Si bien se contaba con diversos estudios sobre el comportamiento del recurso eólico y una modelación ya implementada en la plataforma SimSEE en base a mediciones de viento de la Dirección Nacional de Meteorología (medidos a 10 metros de altura), los primeros estudios realizados en base a mediciones de viento medidos a alturas típicas de generación (mayores a los 70 metros de altura) y apuntando directamente a dar respuesta a las interrogantes planteadas para la incorporación de la potencia eólica al sistema eléctrico, se presentaron en torno al año 2010.

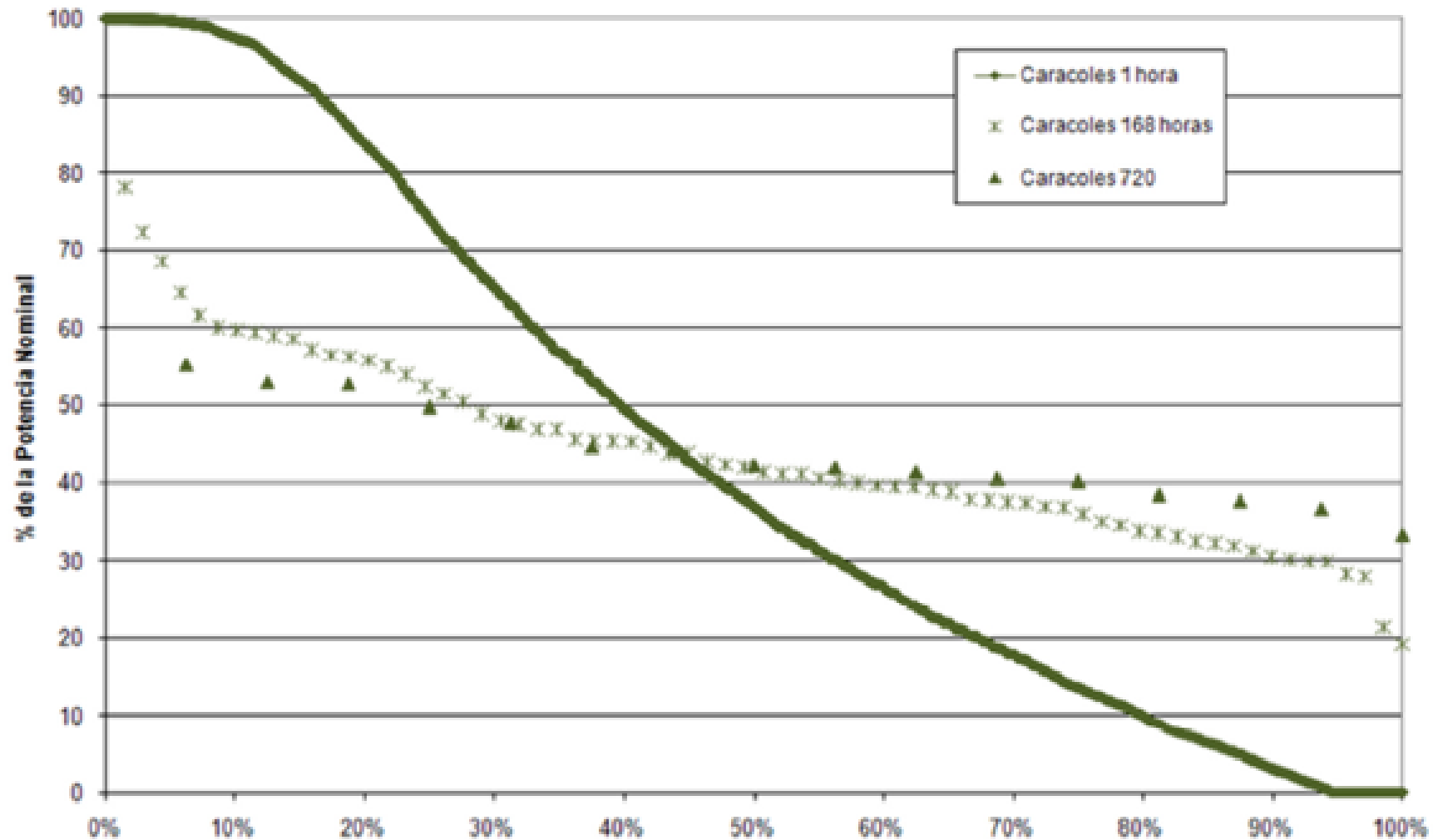
Rápida convergencia de la potencia  
media esperada a los valores  
medios anuales al aumentar el  
período de promediación

# Permanencia de la potencia media para distintas ventanas temporales. Caracoles 1 parque de 10 MW

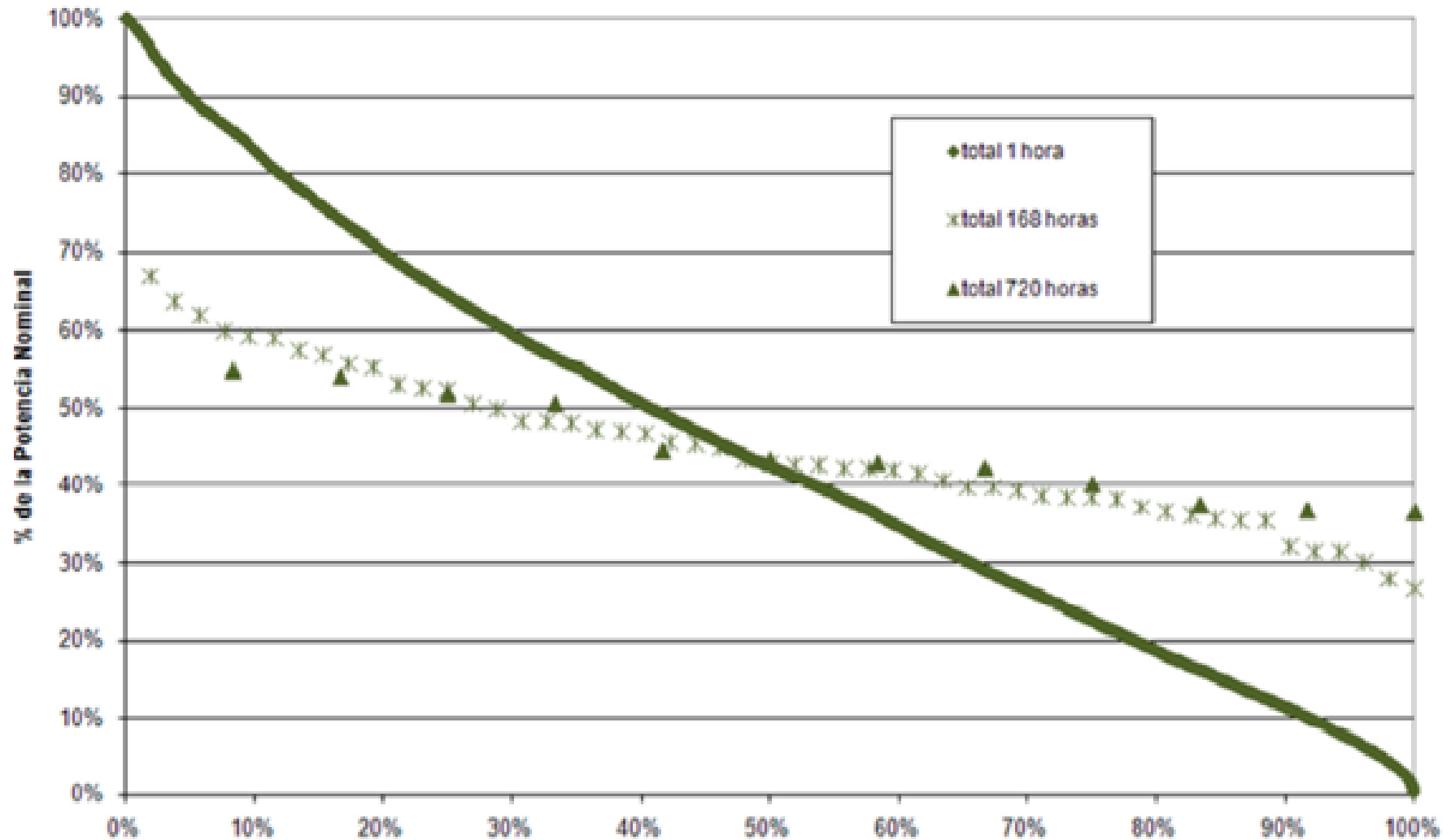


Se puede apreciar en el gráfico una rápida convergencia de los valores medios al valor esperado anual. Cuando se promedian 15 días, la potencia media varía entre los 3 MW y los 6 MW, es decir, sólo se mueve en una banda del 30% del rango total de potencias posibles.

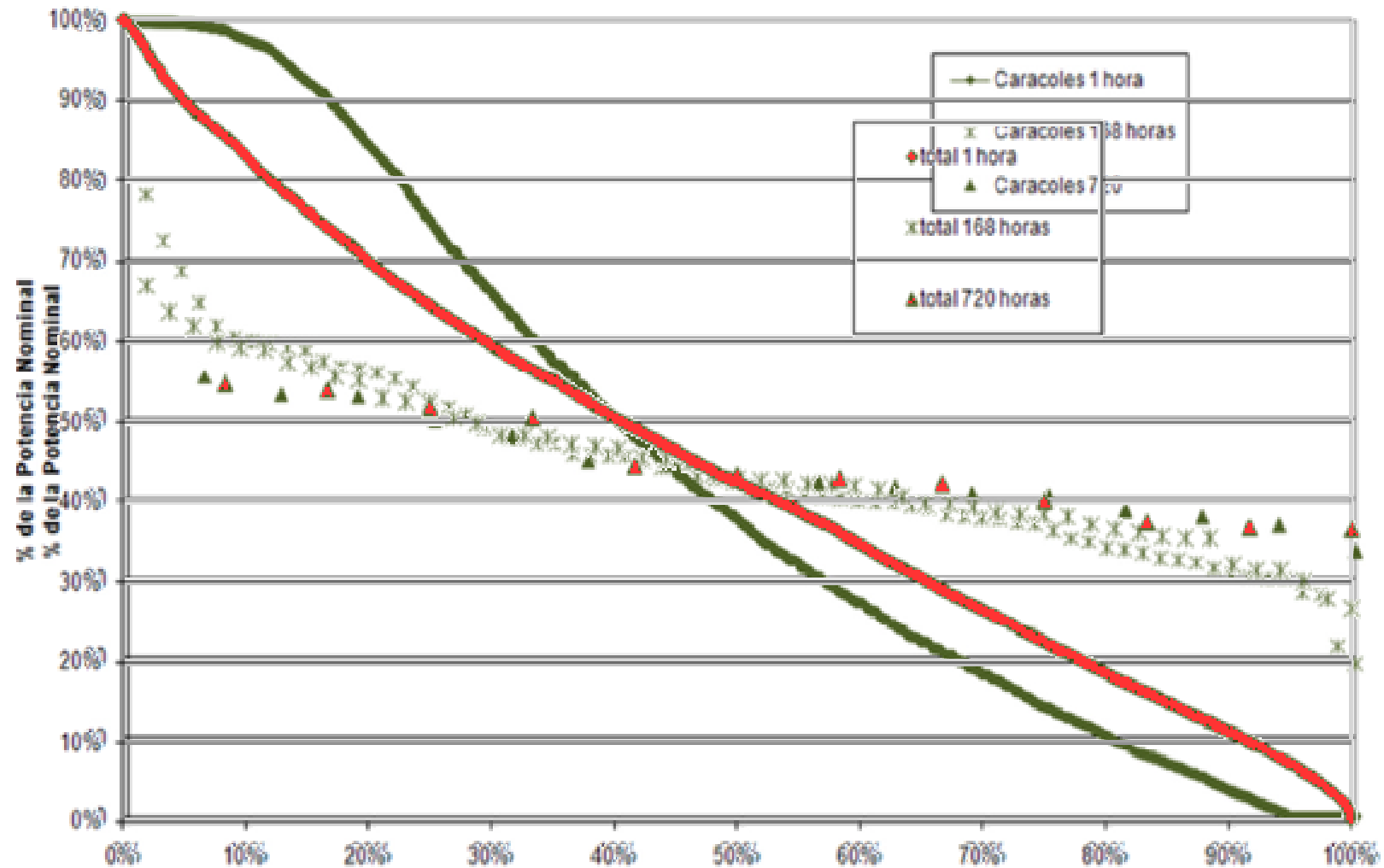
# Permanencia P un solo parque.



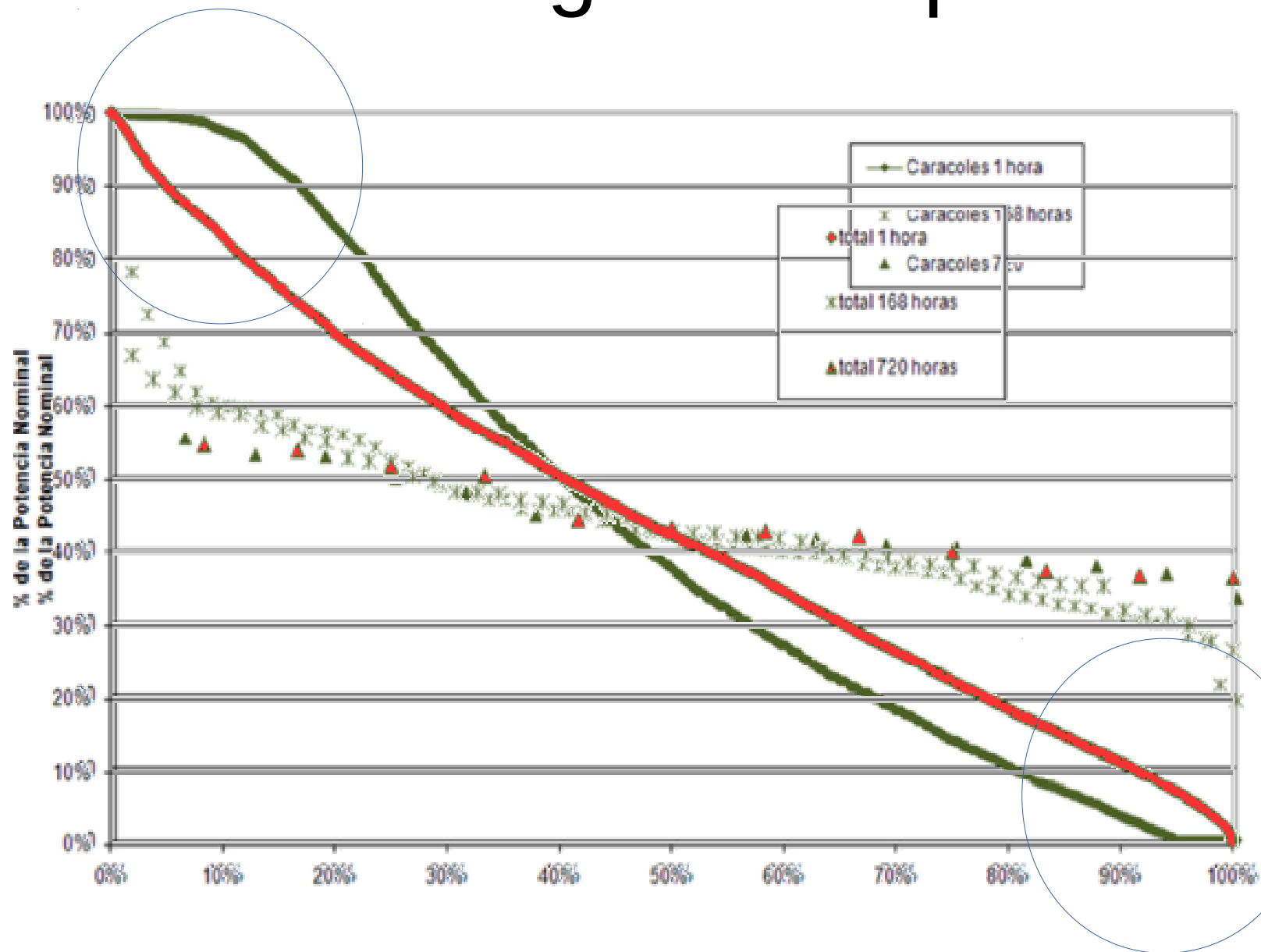
# Permanencia P



# Filtrado Geográfico 7 puntos

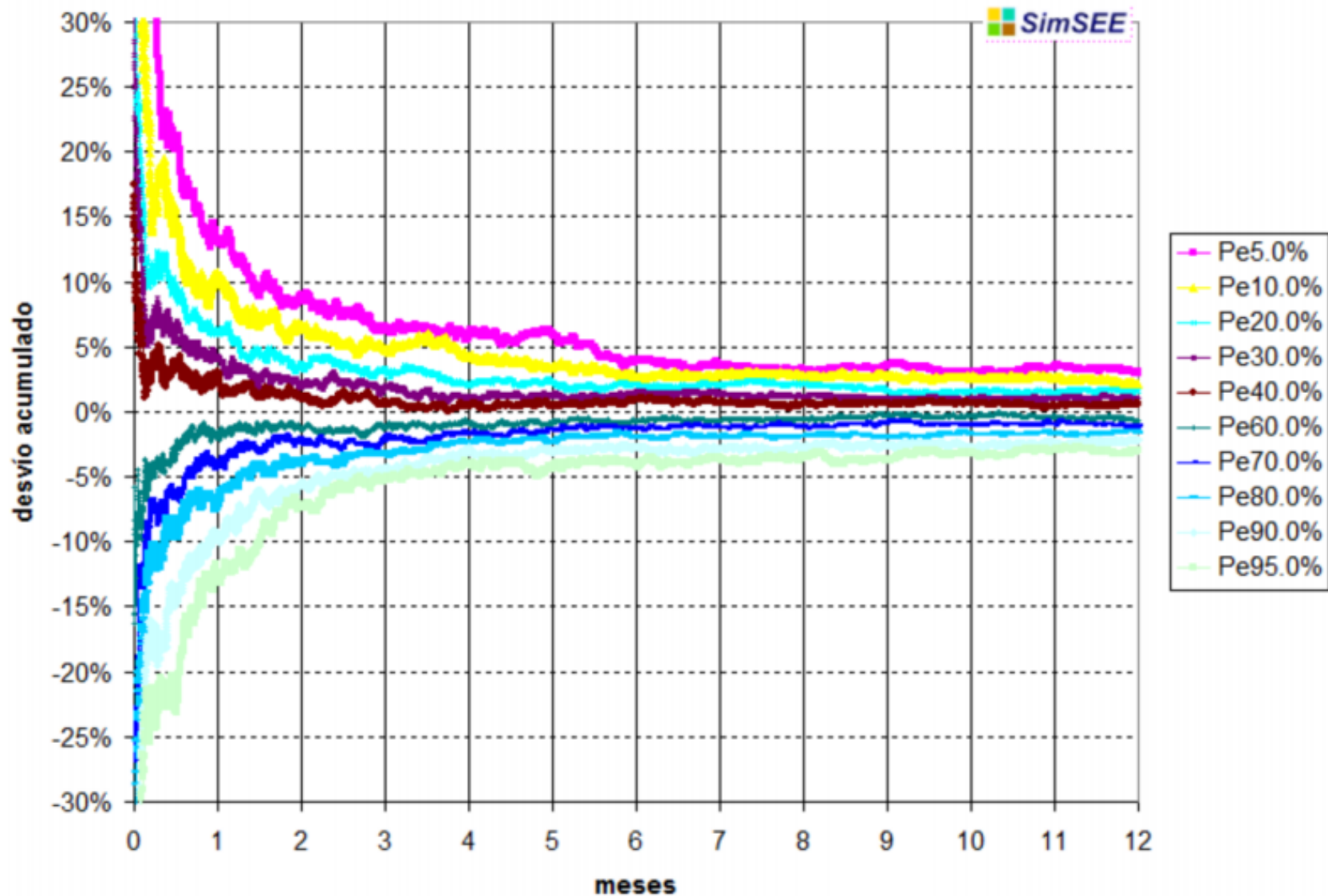


# Filtrado Geográfico 7 puntos

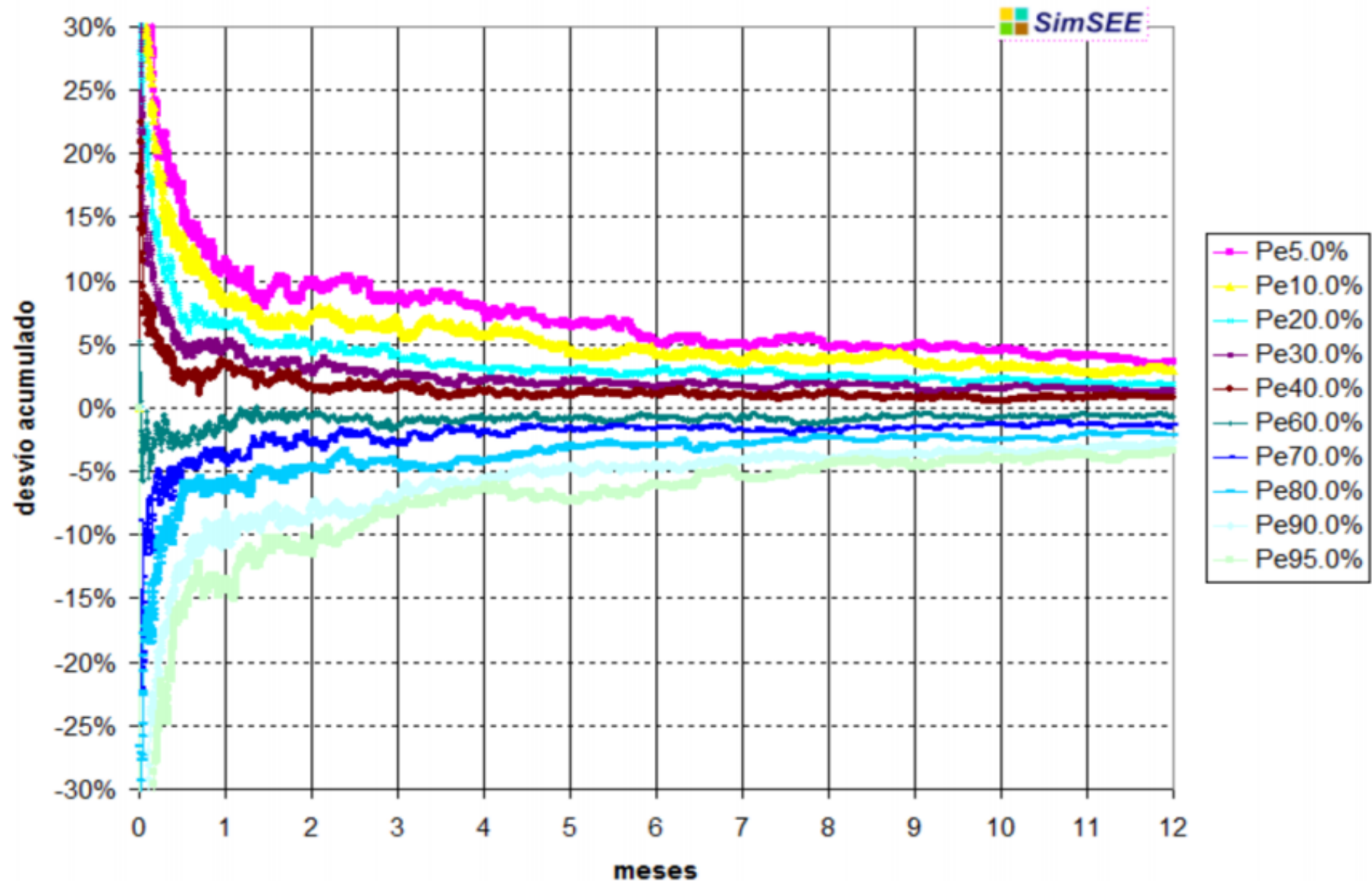


En el caso mostrado se trataba de una única realización para la serie de potencias de un parque eólico de 10 MW. Más adelante se realizaba un estudio en el mismo sentido en [] sobre la firmeza y variabilidad de los recursos Eólico y también Solar comparándolos con el de los afluentes hidráulicos, observándose los resultados que se muestran a continuación.

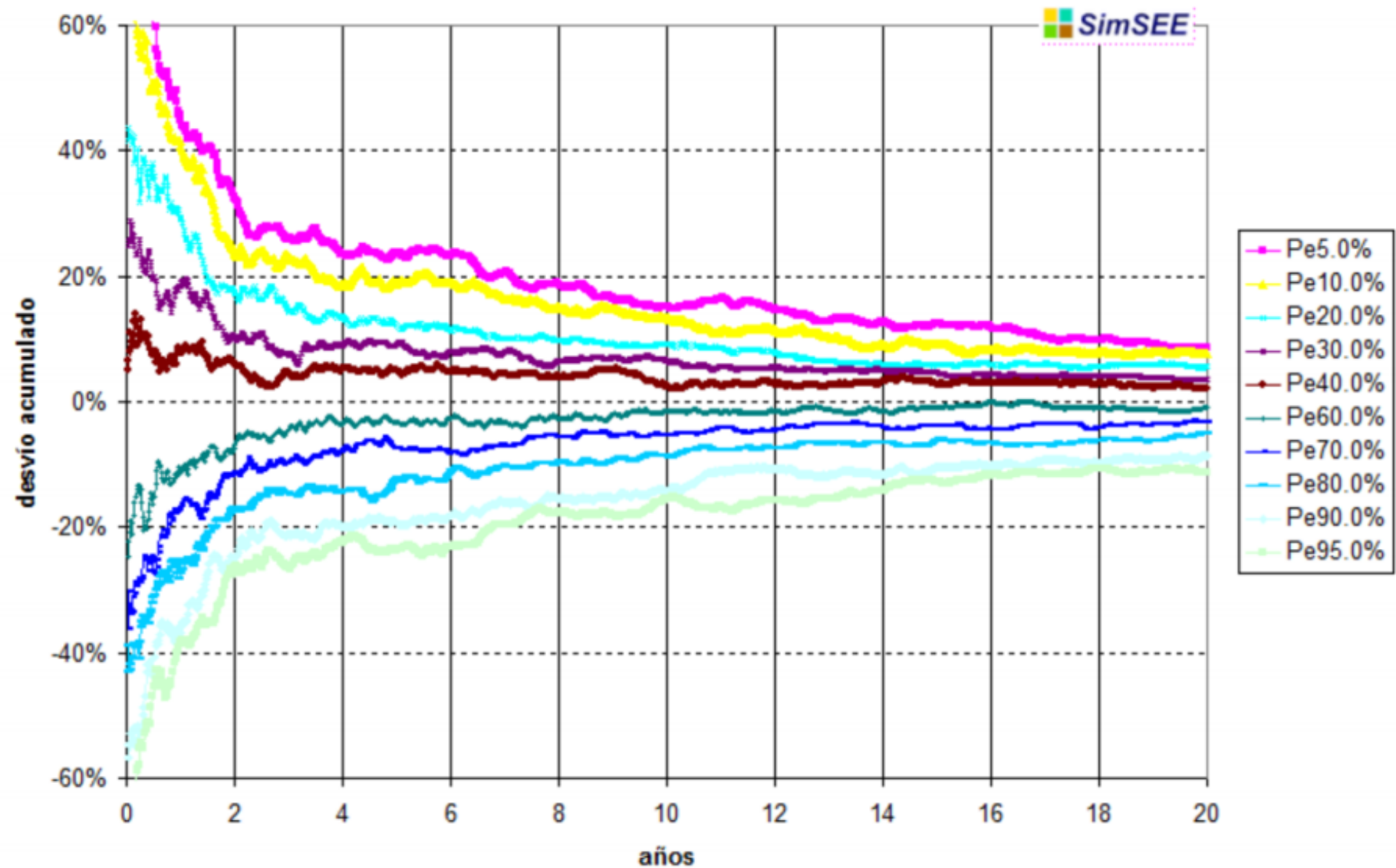
# Desvío acumulado - EOLICA



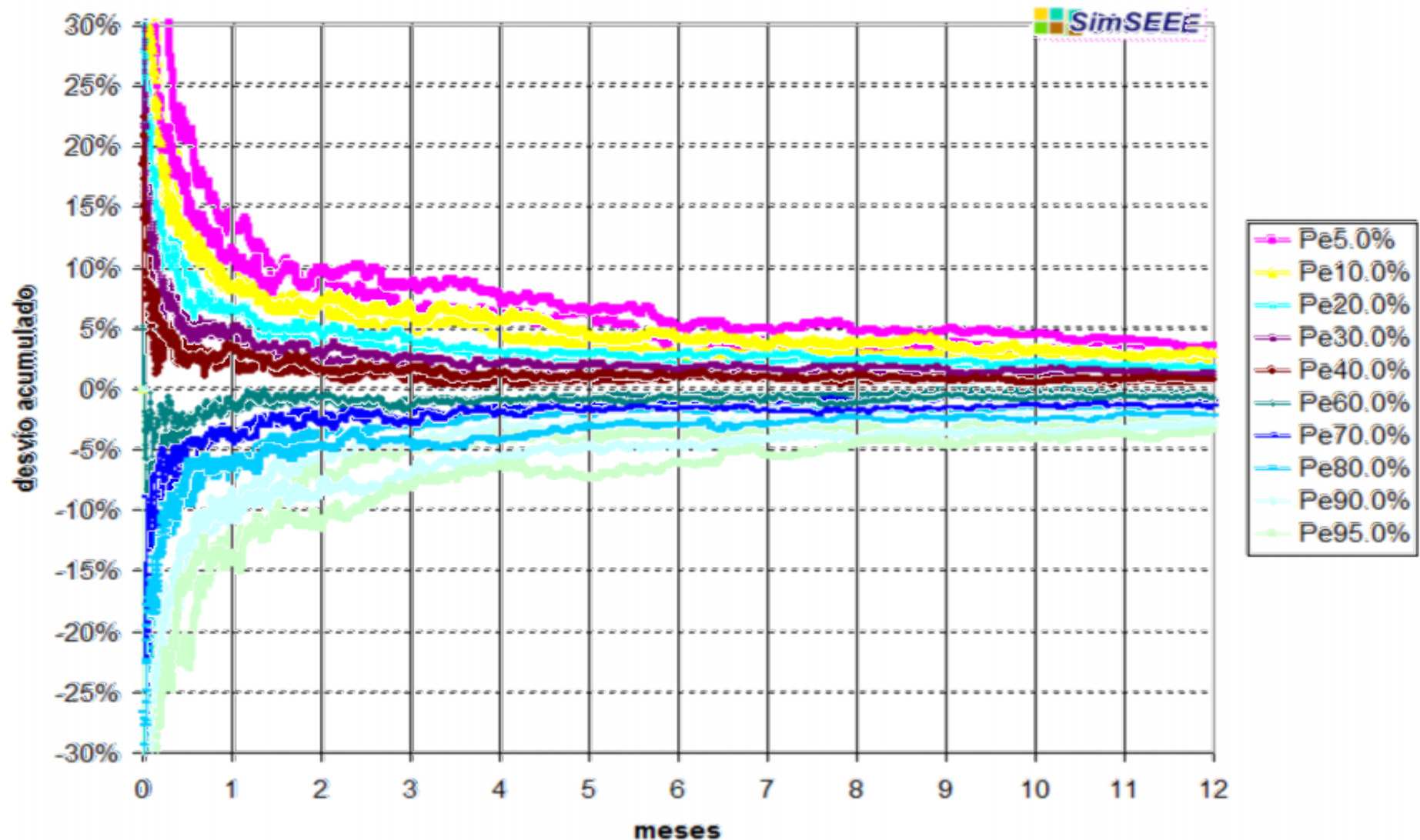
# Desvío acumulado - SOLAR



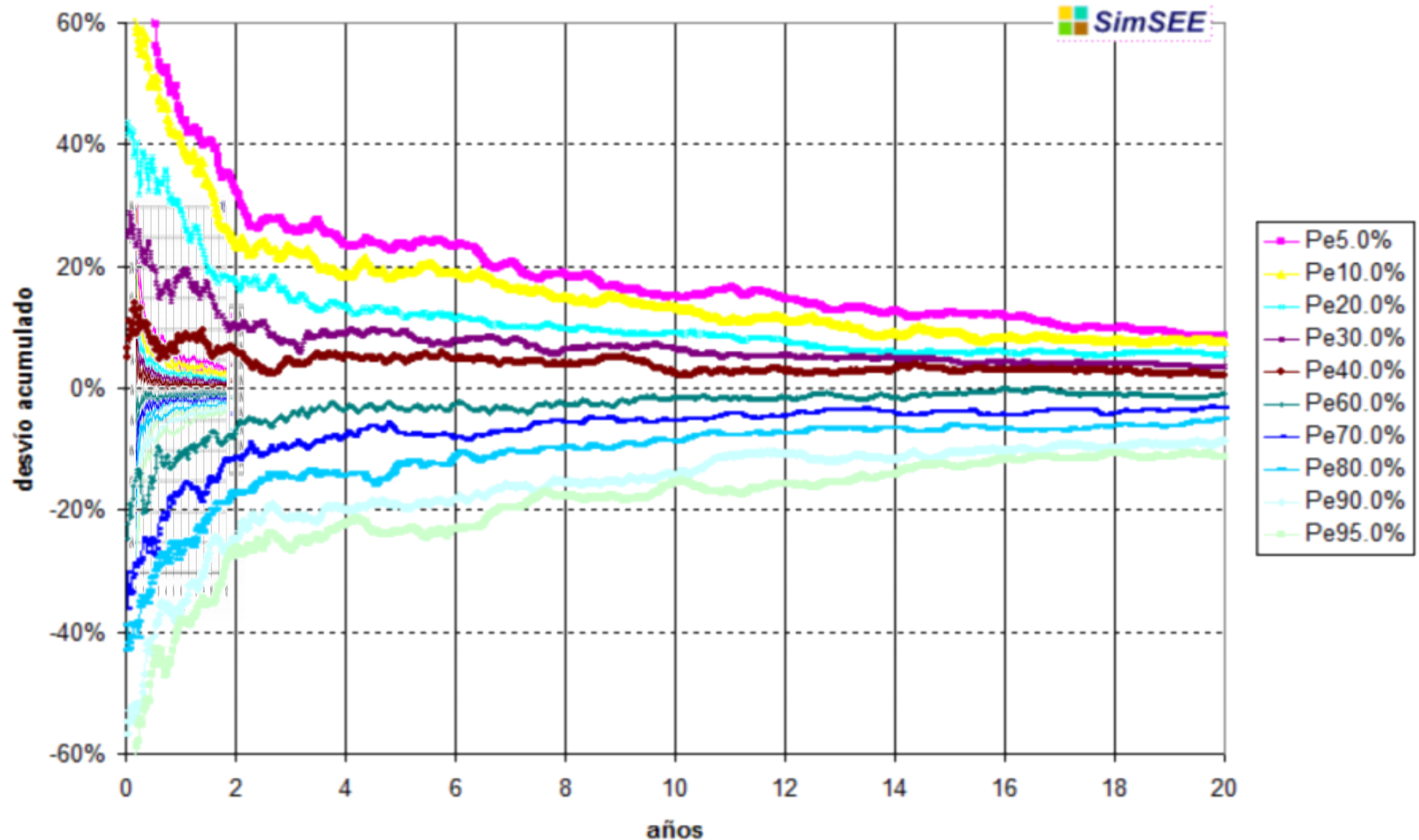
# Devío acumulado - HIDRO



# Superposición Eolica Solar



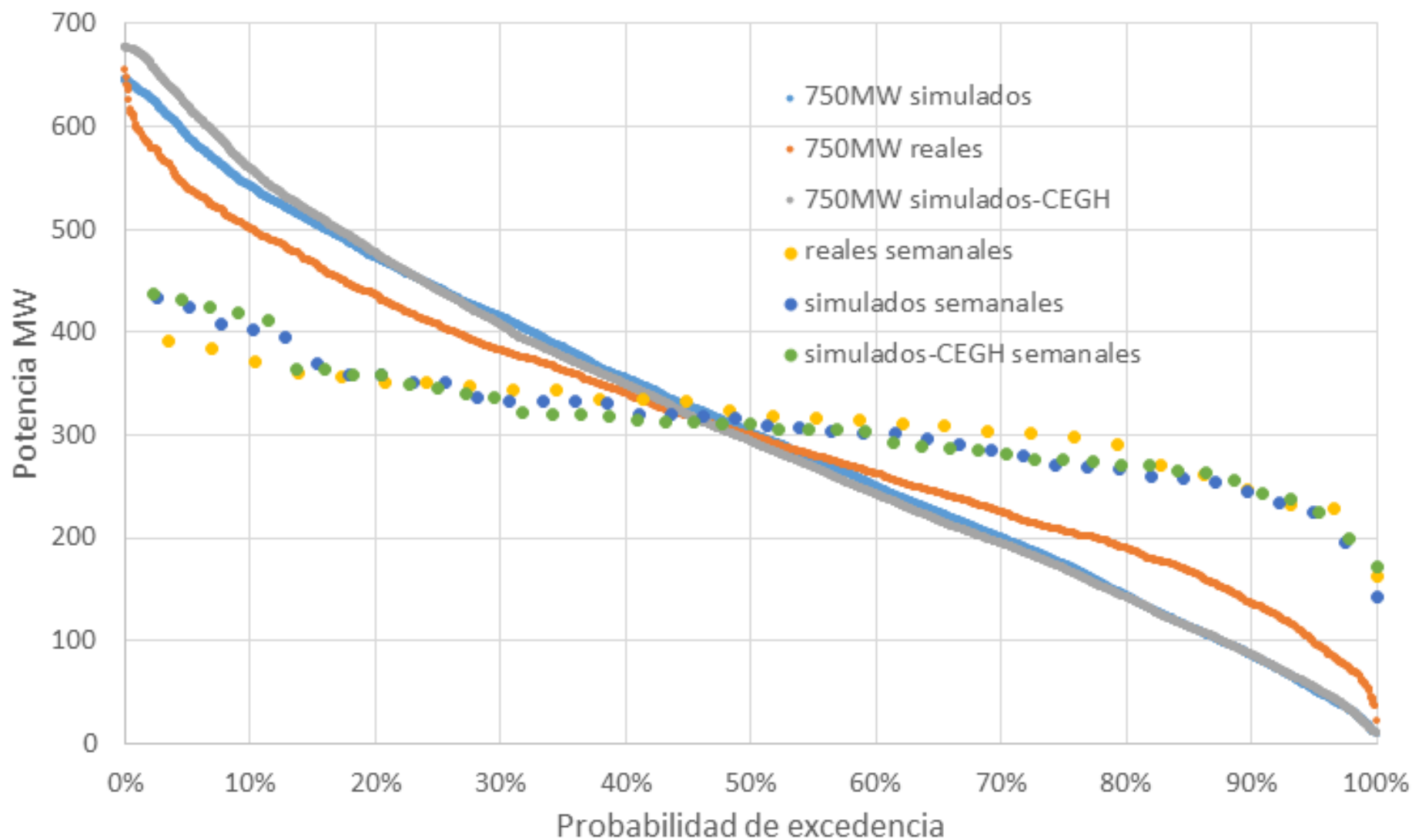
# Hidro, Eólica y Solar



# Modelos CEGH

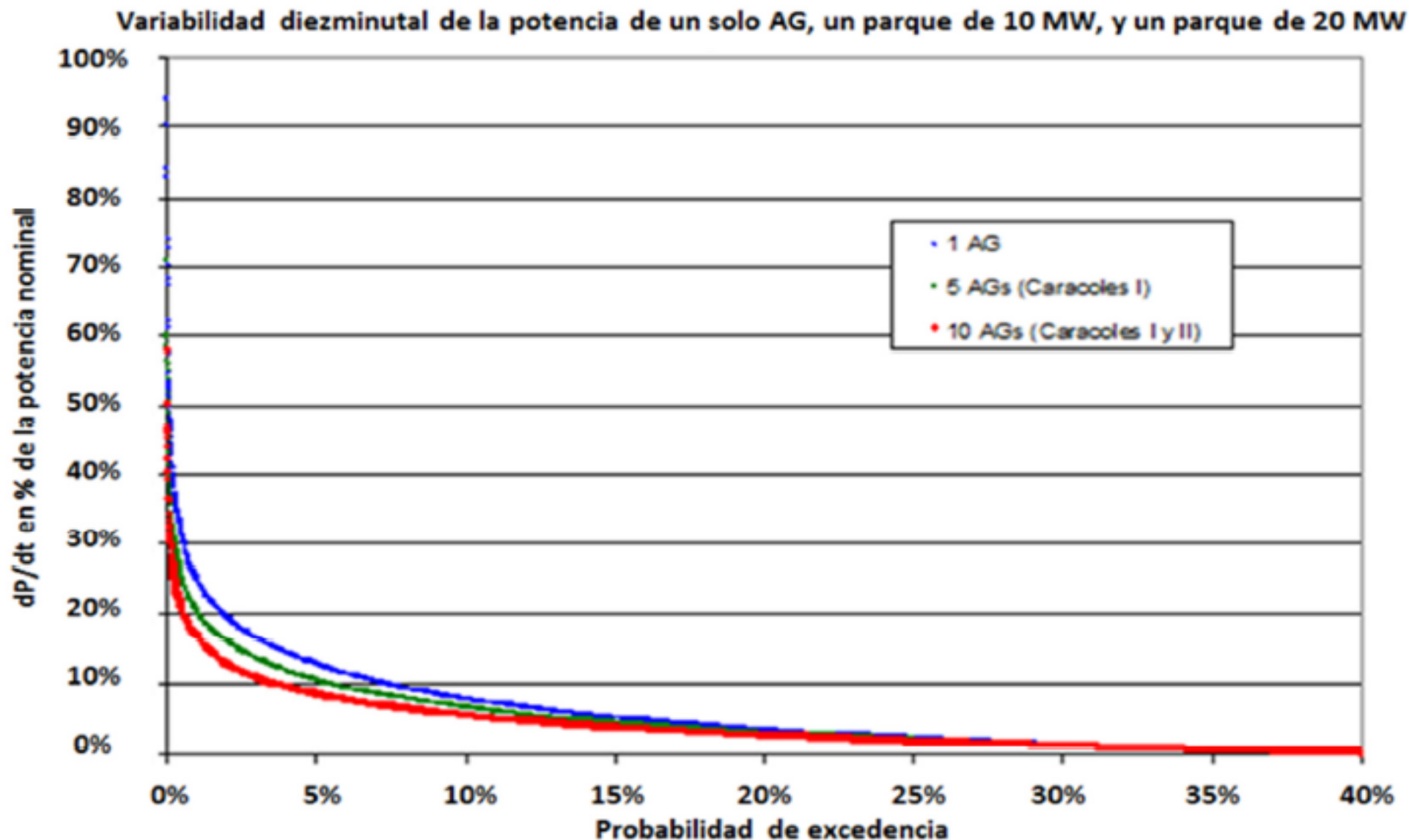
- En base a series temporales de viento en 7 puntos del país a altura de 80m se realizó el primer modelo CEGH que se usó en los estudios de planificación de 2010 en adelante.
- Ahora, con la información de la producción de más de 750 MW instalados se realizó una verificación entre el modelo usado para planificación y la realidad.

## Probabilidad de excedencia de la potencia eólica media de 750 MW generación real y generación simulada



- Como se puede observar, la REALIDAD tiene menor varianza que el modelo utilizado.
- El modelo utilizado suponía los parques distribuidos en 7 puntos pre-establecidos (los usados para identificar el modelo) mientras que los parques reales están distribuidos en una mayor cantidad de puntos.

# Reducción de varianza por cantidad de aeros.



# Reserva Rotante

La necesidad de respaldo que viene de la mano de la instalación de grandes cantidades de potencia en base a fuentes no gestionables motivó la realización de estudios tendientes a cuantificar la potencia eólica que sería posible introducir al sistema sin tener que incorporar reserva rotante adicional a la existente para el respaldo de su variabilidad

# Balance de $P$ en todo instante y nodo.

El sistema de generación de energía eléctrica tiene que ser operado de forma de que en todo instante la suma de potencias en cada nodo (barra) del sistema sea nula. La demanda eléctrica tiene un comportamiento con estacionalidades anuales, semanales y diarias con cierto grado de predictibilidad lo que permite programar la operación del sistema e indicar con cierto grado de antelación cuáles serán las centrales que tendrán que estar entregando energía en las siguientes horas. El balance de potencia es mantenido compensando las variaciones que tenga la demanda con los recursos de generación.

# Reserva rotante.

Las variaciones más rápidas (segundos) son compensadas con el “estatismo” de los generadores que se hayan seleccionado para control de frecuencia del sistema. El mecanismo funciona como si todos los generadores (con sus ejes, turbinas y volantes de inercia) formaran un gran volante de inercia que frente a un desequilibrio de producción se enlentece (bajando la frecuencia de generación) o se acelera (subiendo la potencia de generación). Esta primer compensación del balance de potencias en base a variar la energía cinética de las masas en rotación tiene que ser seguida de una reacción de los controladores de las centrales seleccionadas para responder a la variación que aumentan su producción de forma de volver la frecuencia al valor objetivo. Para que esto sea posible hay que mantener en todo momento en el sistema un “margen de generación” o “reserva rotante” capaz de compensar las variaciones. Esta reserva rotante implica tener que dejar capacidad ociosa en las máquinas seleccionadas para tal fin.

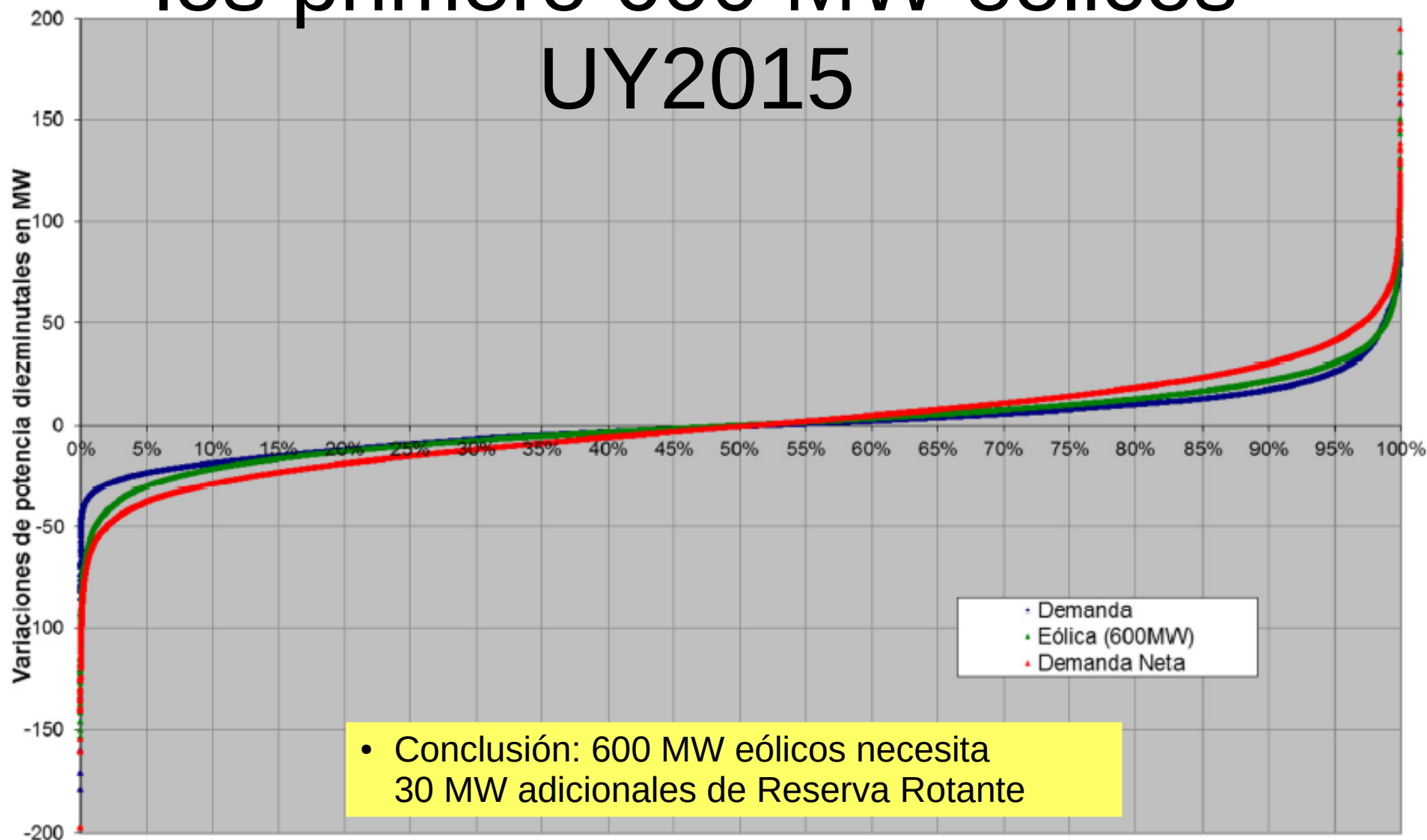
# Seguimiento de variaciones

Las variaciones mayores deben ser cubiertas acoplando o desacoplando nuevas centrales al sistema de forma de poder mantener el margen de regulación.

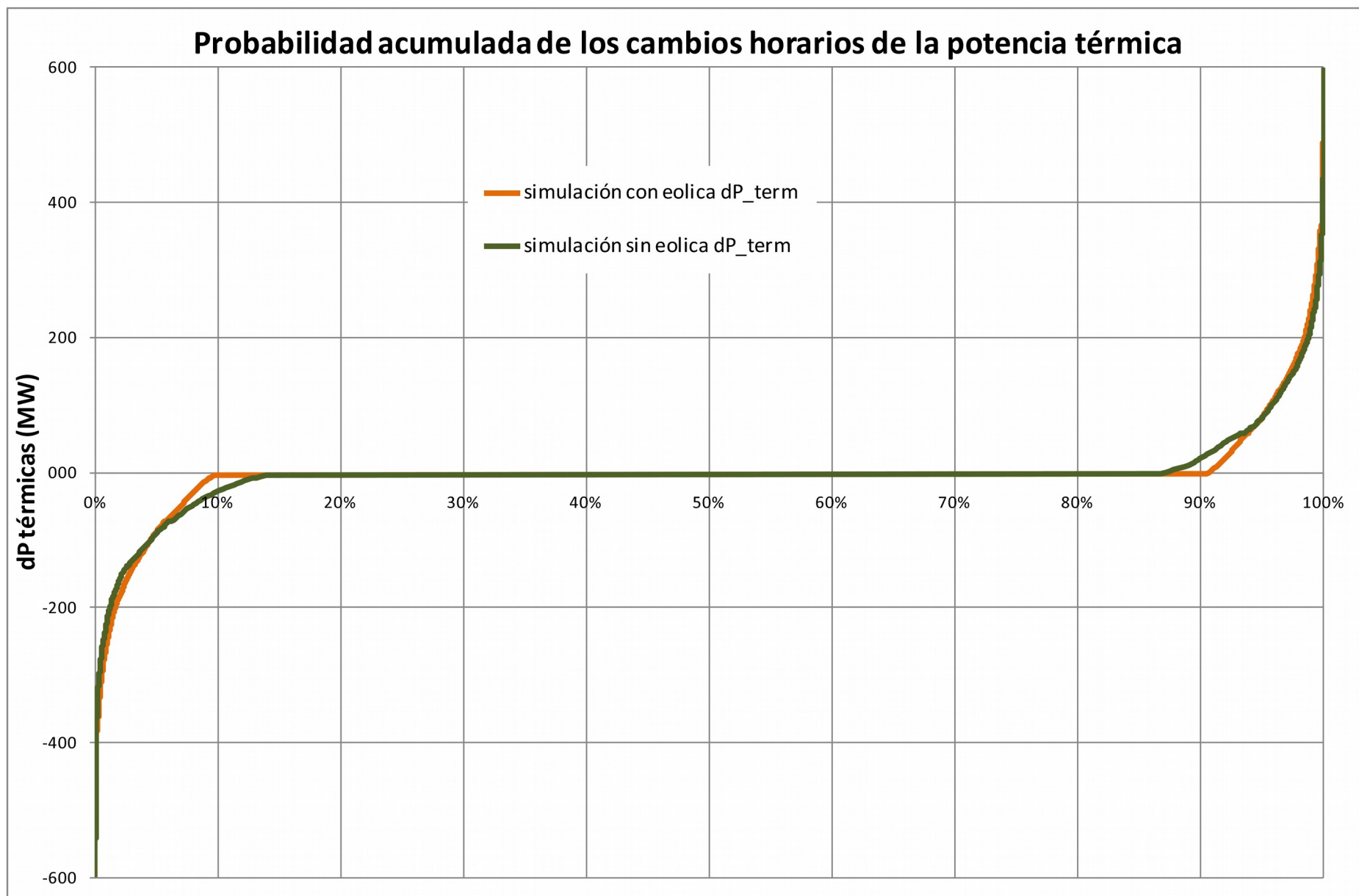
Cada tecnología de generación es más o menos apta para hacer acciones de seguimiento de la demanda (o de regulación de variaciones). Las centrales hidráulicas son las de mejor desempeño para la regulación de frecuencia y para el seguimiento de la demanda en forma flexible. Las centrales térmicas, pueden separarse en dos grupos, las de arranque rápido como los moto-generadores y las turbinas aeroderivadas capaces de estar en operación en tiempos del orden de los 10 minutos, pasando por centrales que involucren ciclos de vapor con tiempo de calentamiento de las calderas que van de 6 a 12 horas (ciclos combinados, centrales de ciclo de vapor con calderas de carbón, reactor nuclear, biomasa, fueloil, basura, etc.).

# Necesidad de Reserva Rotante de los primero 600 MW eólicos

## UY2015



# Simulación horaria 1200 MW eólicos – variabilidad térmicas



# Simulación horaria 1200 MW eólicos – variabilidad hidráulicas.

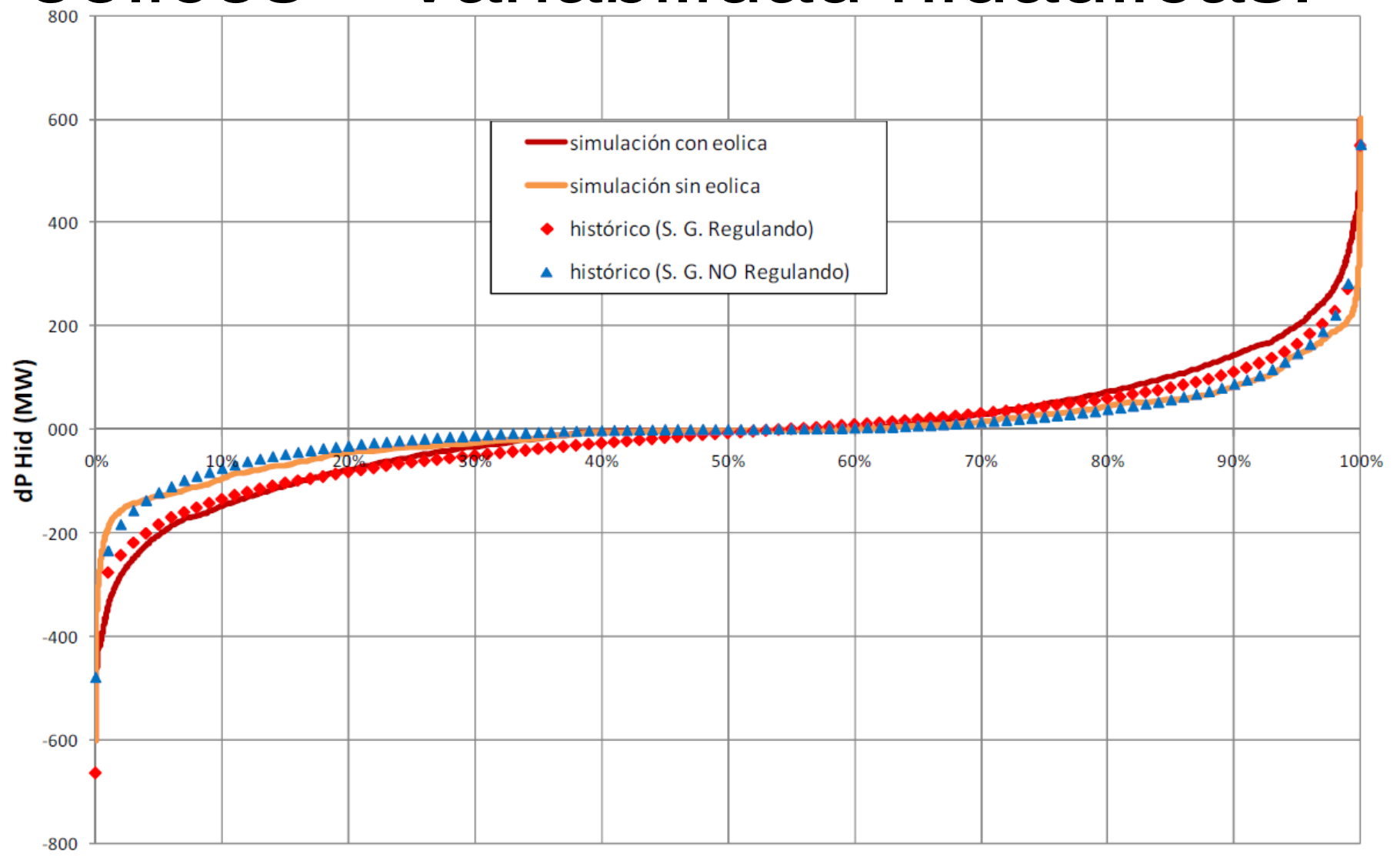
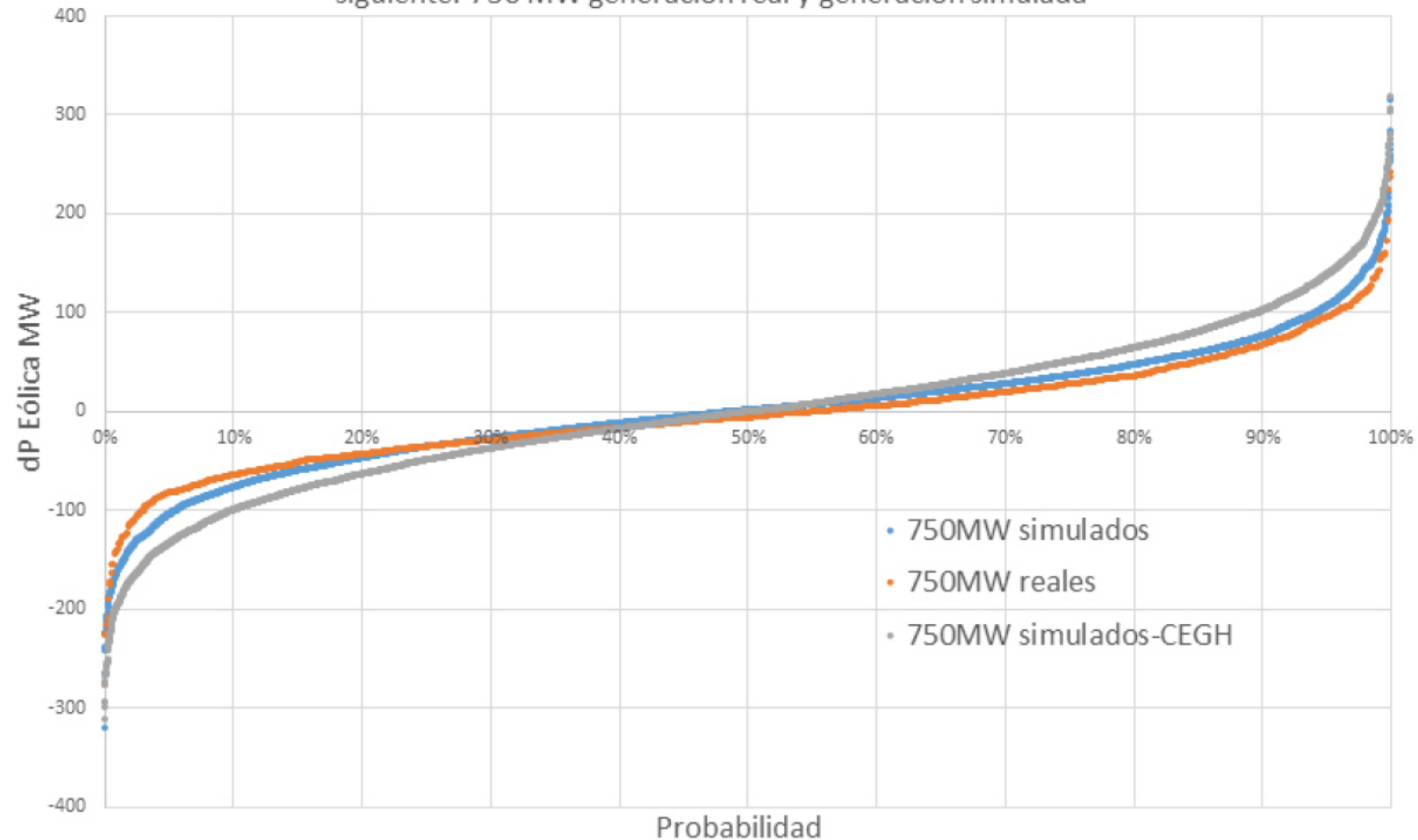


Fig. 10 Probabilidad acumulada de los cambios de potencia hidráulica entre una hora y la siguiente para los casos de simulación con eólica, simulación sin eólica, histórico con Salto Grande regulando e histórico con Salto Grande no regulando.

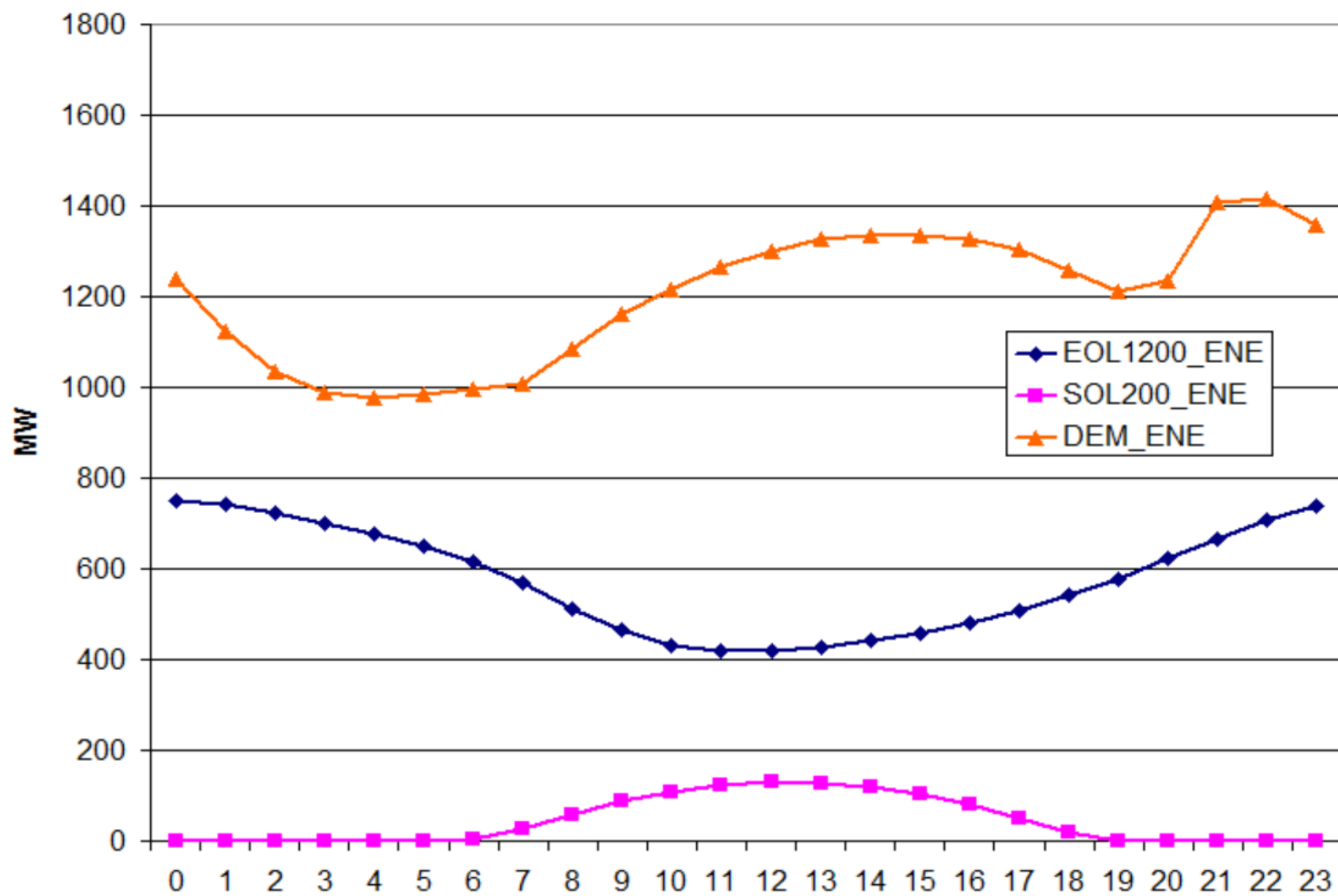
# Variabilidad horaria

## Modelos vs. Real

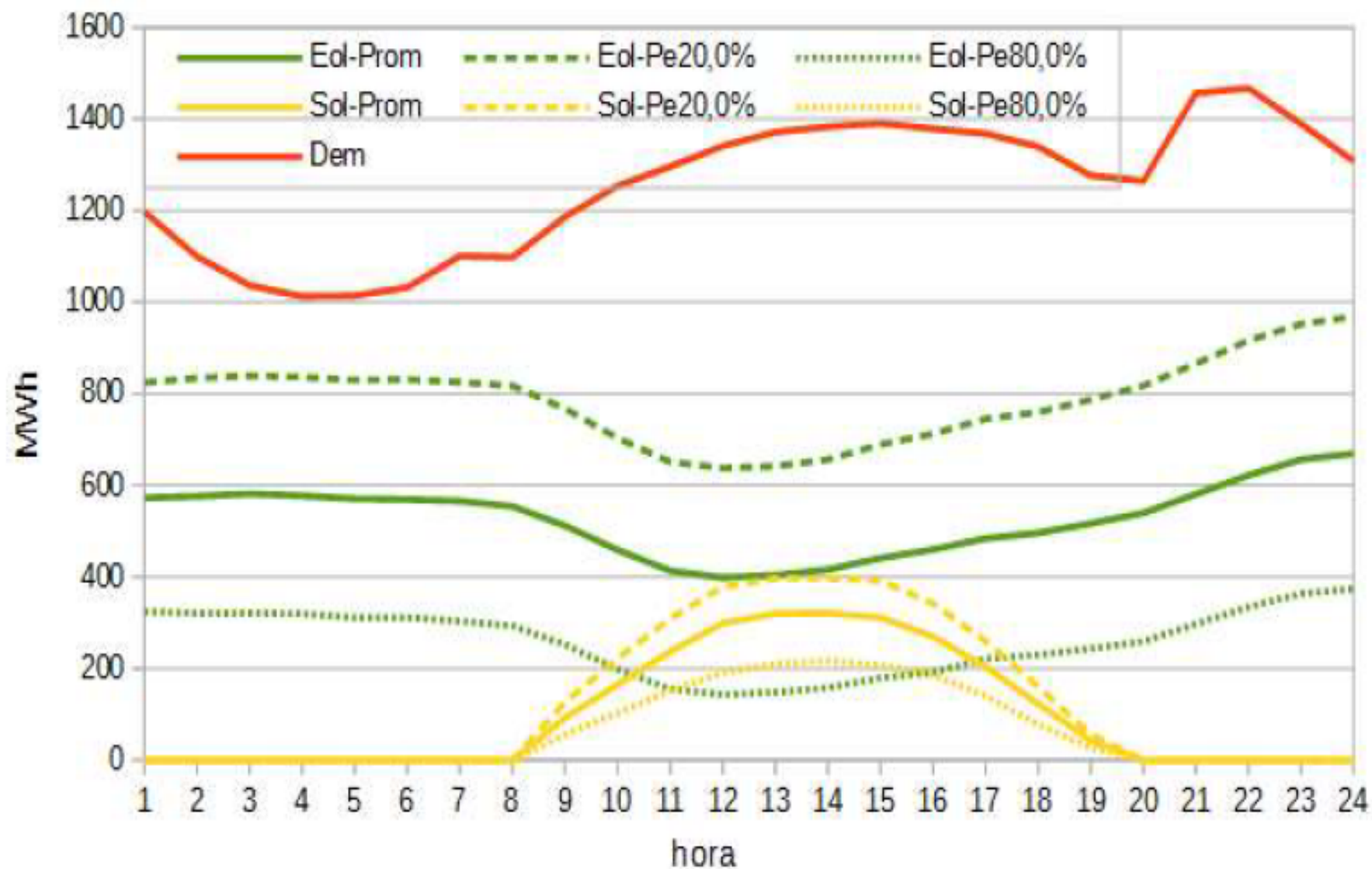
Probabilidad acumulada de los cambios de potencia eólica entre una hora y la siguiente. 750 MW generación real y generación simulada



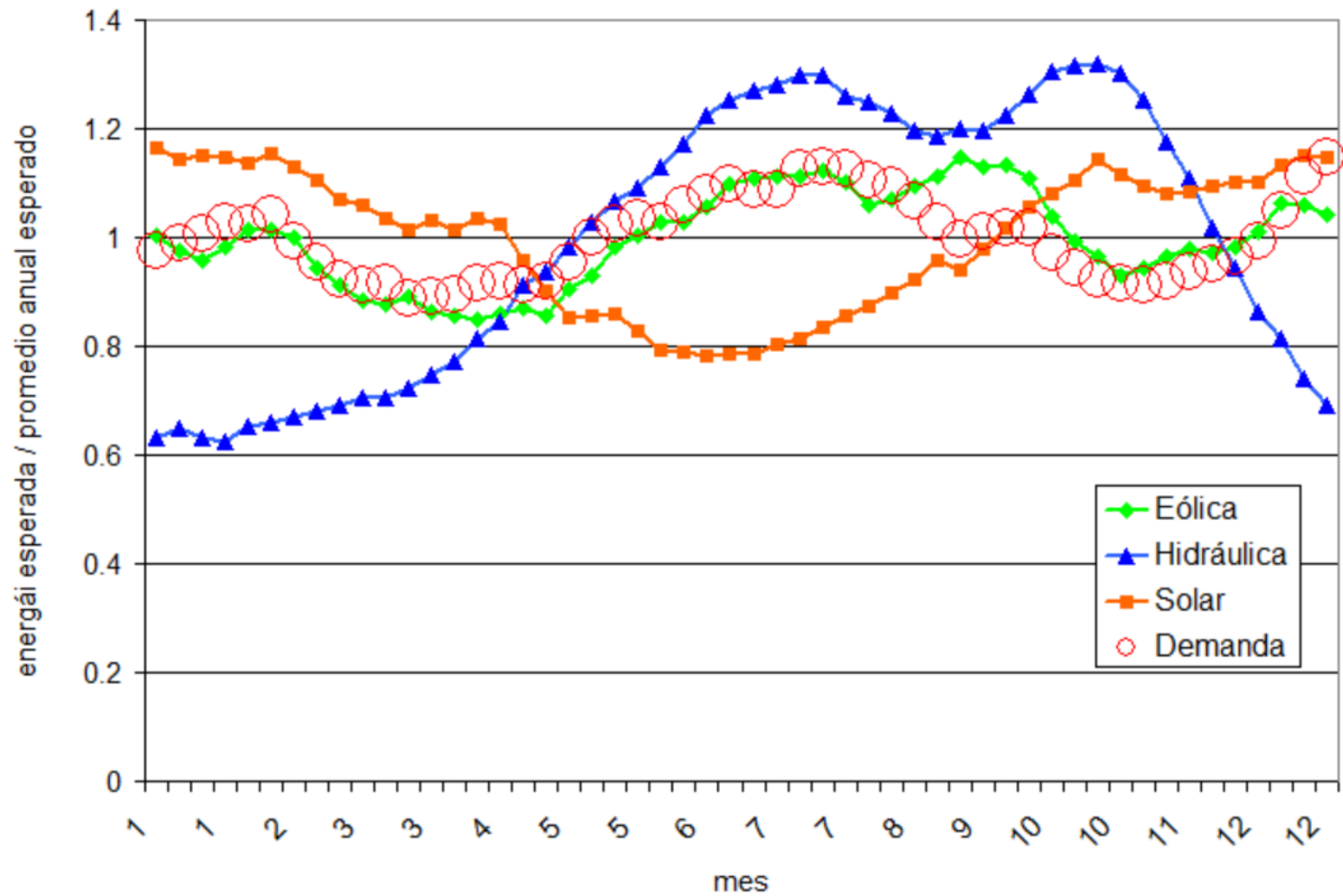
## Complementariedad Diaria



## Perfiles diarios de Demanda, Eólica y Solar



## Perfiles anuales



# FIN y RESUMEN.

Se presentó el conjunto de estudios realizados previo a la toma de decisiones de incorporación de grandes cantidades de eólica y resultados posteriores a la incorporación de los primeros 750 MW.

En general se observa que los estudios realizados estuvieron del lado CONSERVADOR en cuanto a la INTERMITENCIA del recurso EOLICO.

Para el recurso SOLAR no se hicieron estudios similares y ahora se cuenta con aproximadamente 80 MW ya instalados por lo cual se están elaborando los análisis y modelos para evaluar a futuro la capacidad de integrar este recurso en gran escala.