

Incorporación de ERNC Uruguay 2010-2016



Ing. Pablo Soubes
psoubes@adme.com.uy



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



CONTENIDO



- Características del Sistema Uruguayo.
- Modelado de ERNC.
- Pronósticos en la Operación del Sistema.

INTRODUCCIÓN

Uruguay 2016

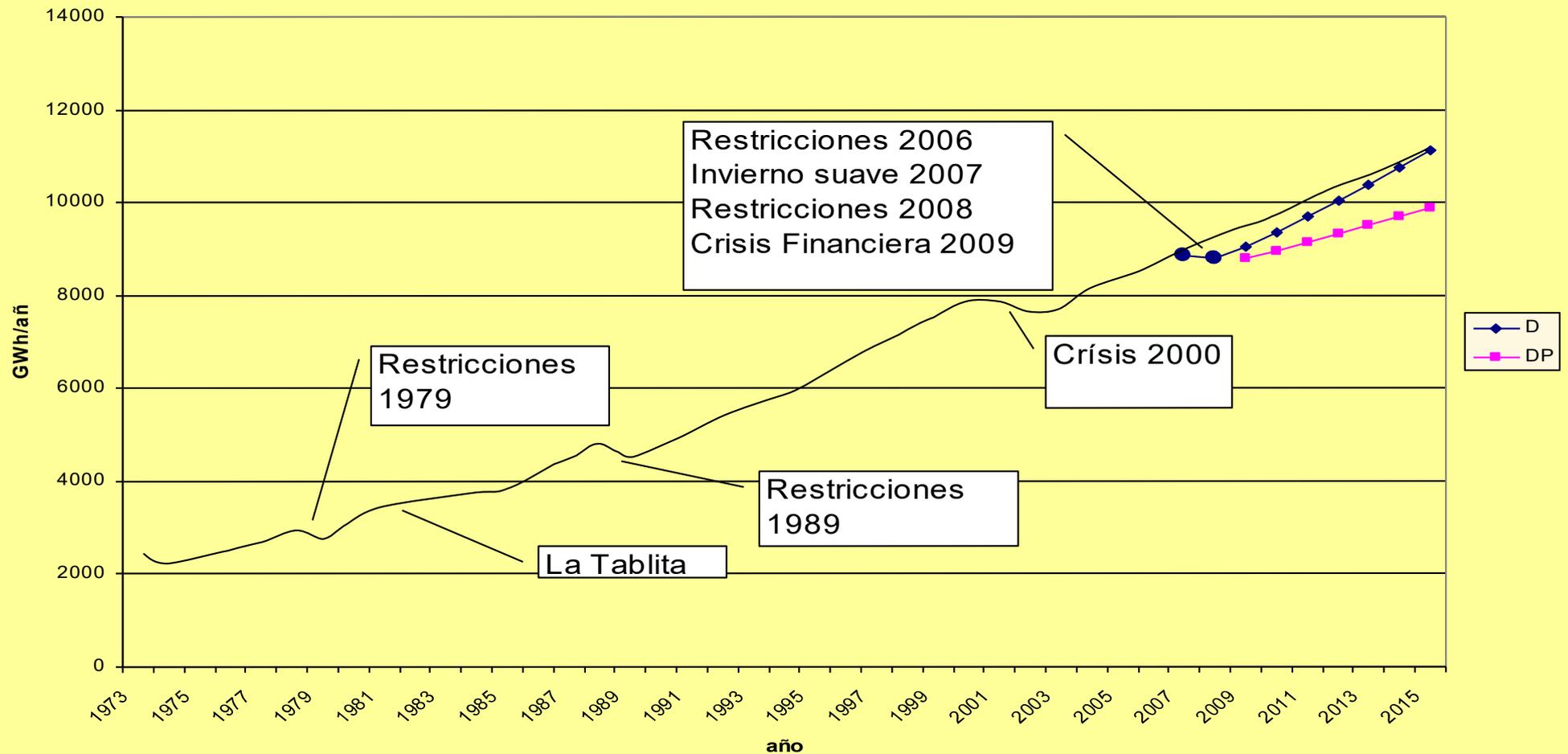


- Es una realidad el cambio en la matriz de generación eléctrica a favor de las energías renovables, principalmente el viento.
- Se suman al SIN fuentes de generación no gestionables que agregan incertidumbre al sistema.

DEMANDA 1970 - 2008

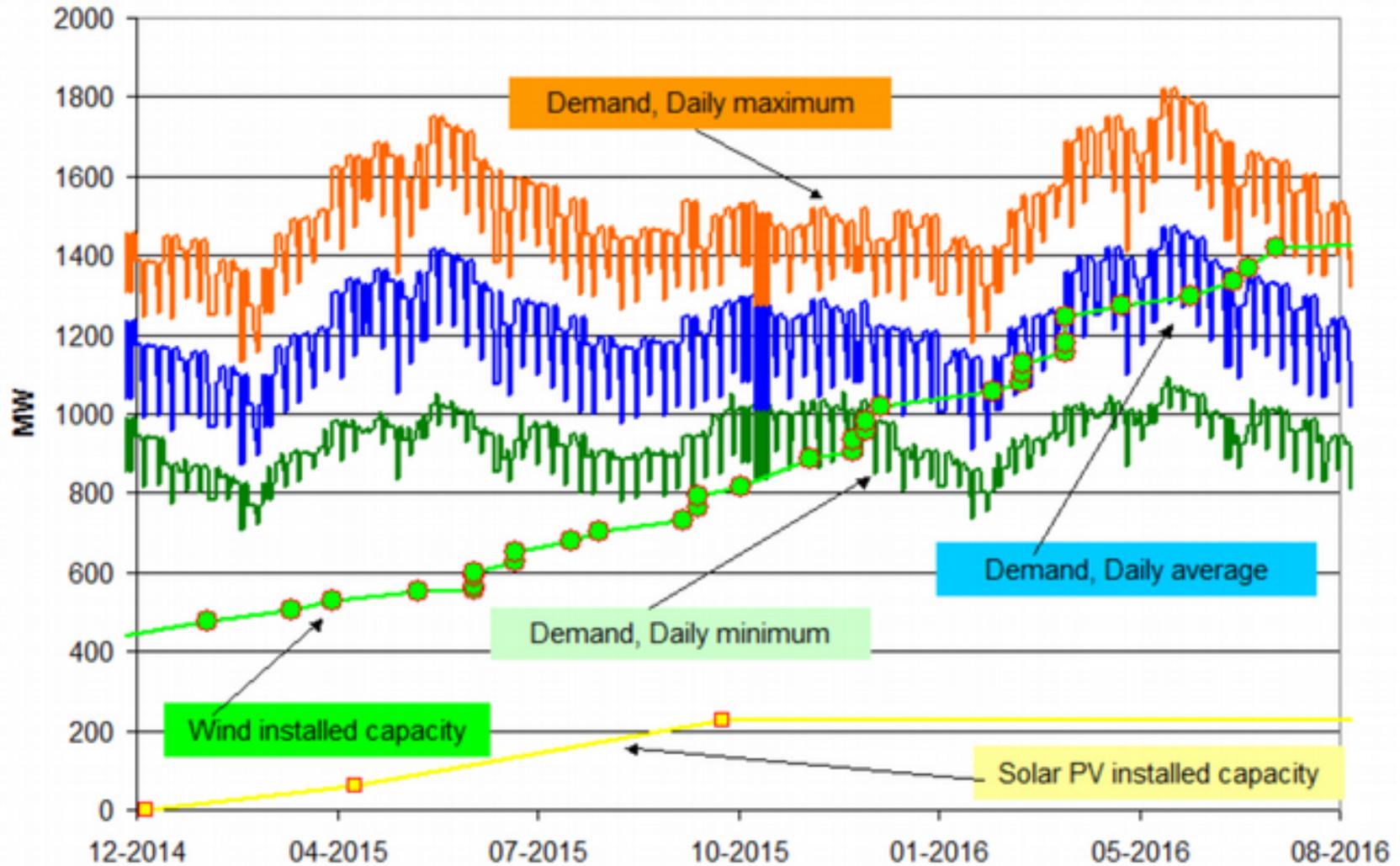


Demanda de energía eléctrica Uruguay. Hasta el 2008 son datos reales

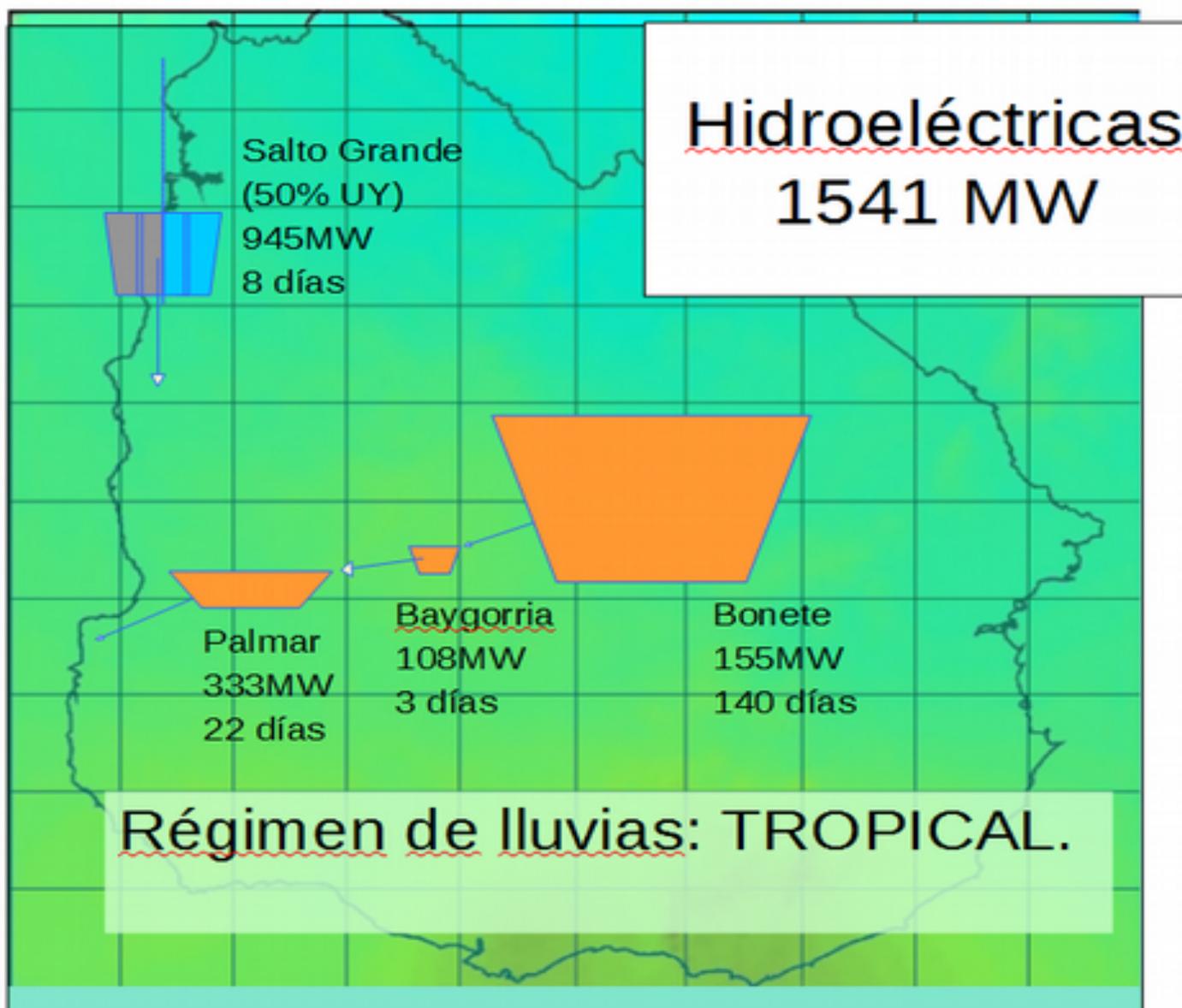




Eólica y Solar VS Demanda



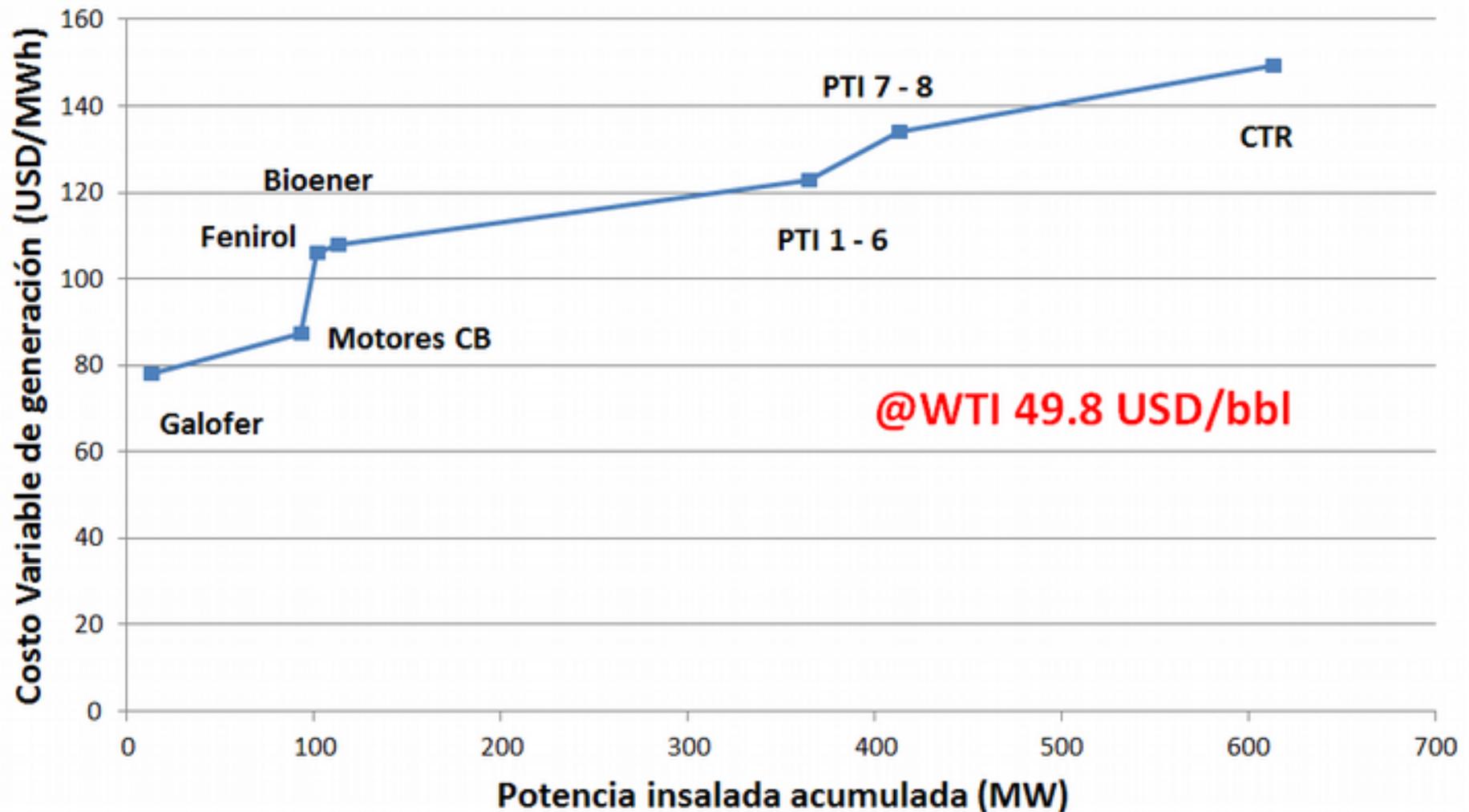
Centrales Hidroeléctricas



Oferta Térmica



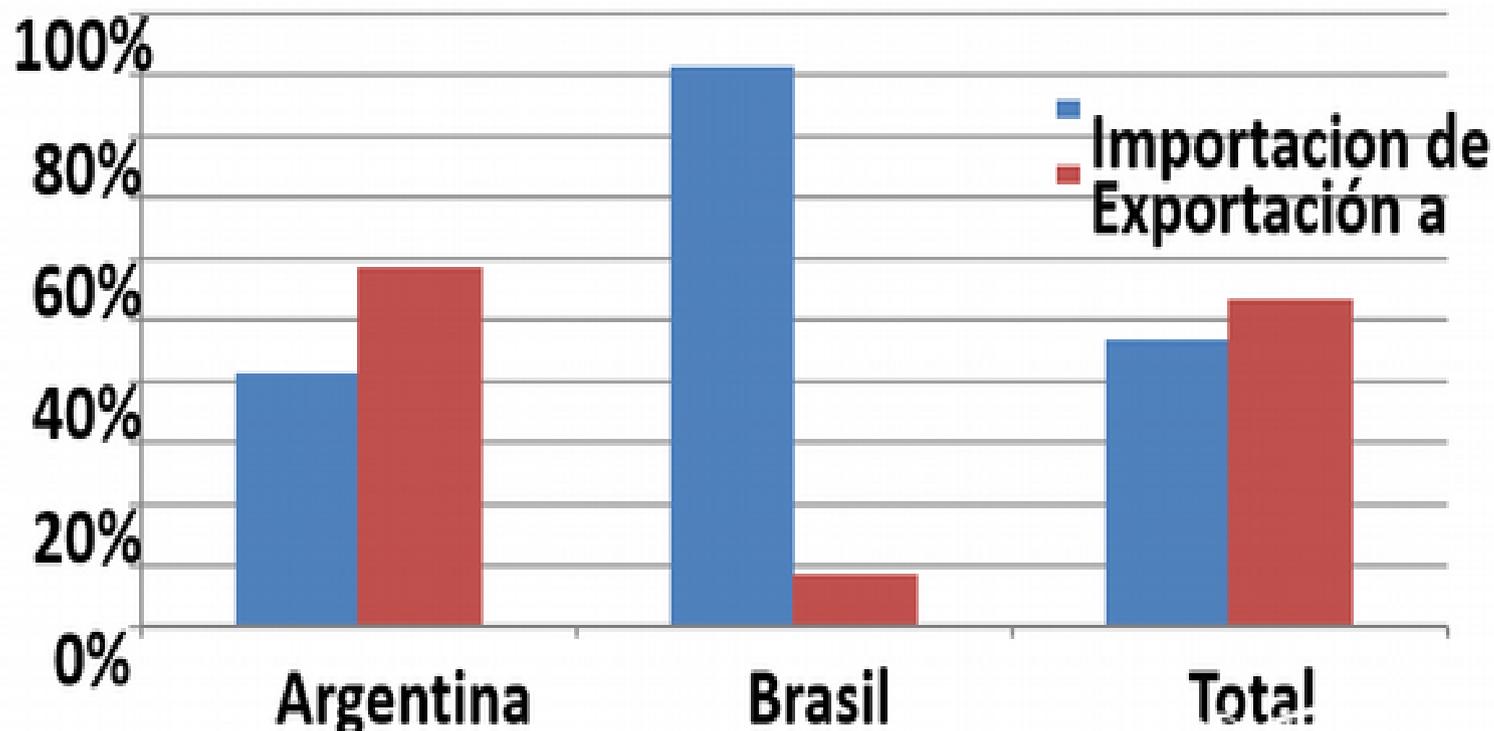
Generadores Térmicos 10/2016



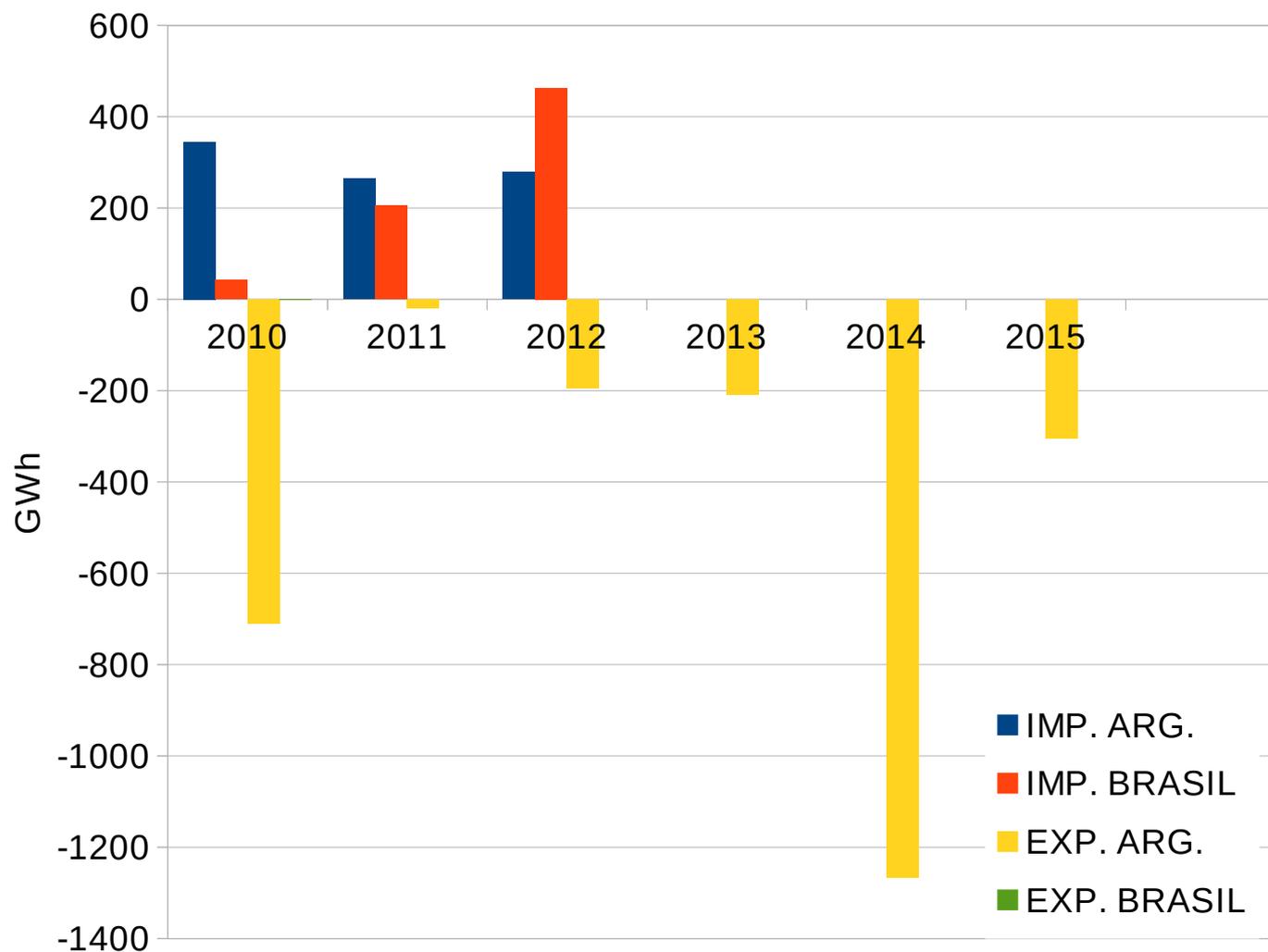
Balance de comercio con Argentina y Brasil 1990 - 2010



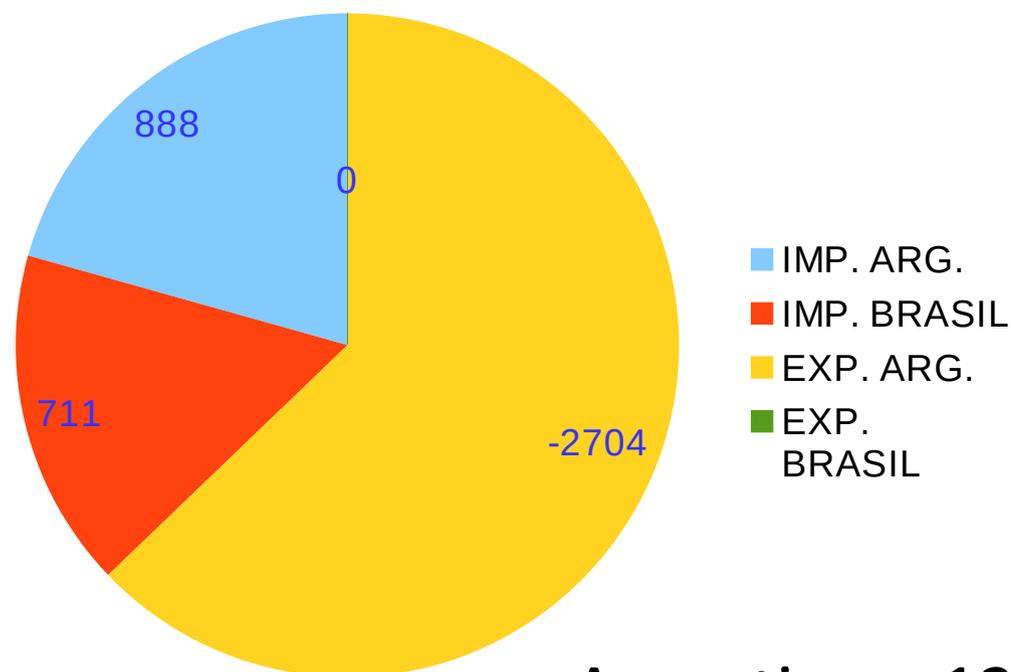
	Argentina		Brasil		Total	
GWh importados de	11719	41%	3016	91%	14735	47%
GWh exportados a	16568	59%	281	9%	16850	53%
	28287	100%	3297	100%	31585	100%



Balance de comercio con Argentina y Brasil 2010 - 2015



Balace de comercio con Argentina y Brasil 2010 - 2015



Argentina = 12.5 * Uruguay GWh
Brasil = 35 * Uruguay GWh

Modelo del SIN



Sistema

Modelo

$X = \text{Estado}$

Ecuación de
evolución
del Estado

Simular

Paso T

Horizontes

Poste

Incertidumbre

Crónica

Escenario

La Demanda

Falla

Costo de Falla

Generadores

Nodos

Arcos

Modelo del SIN



Costos Fijos = PP [USD/MWh]

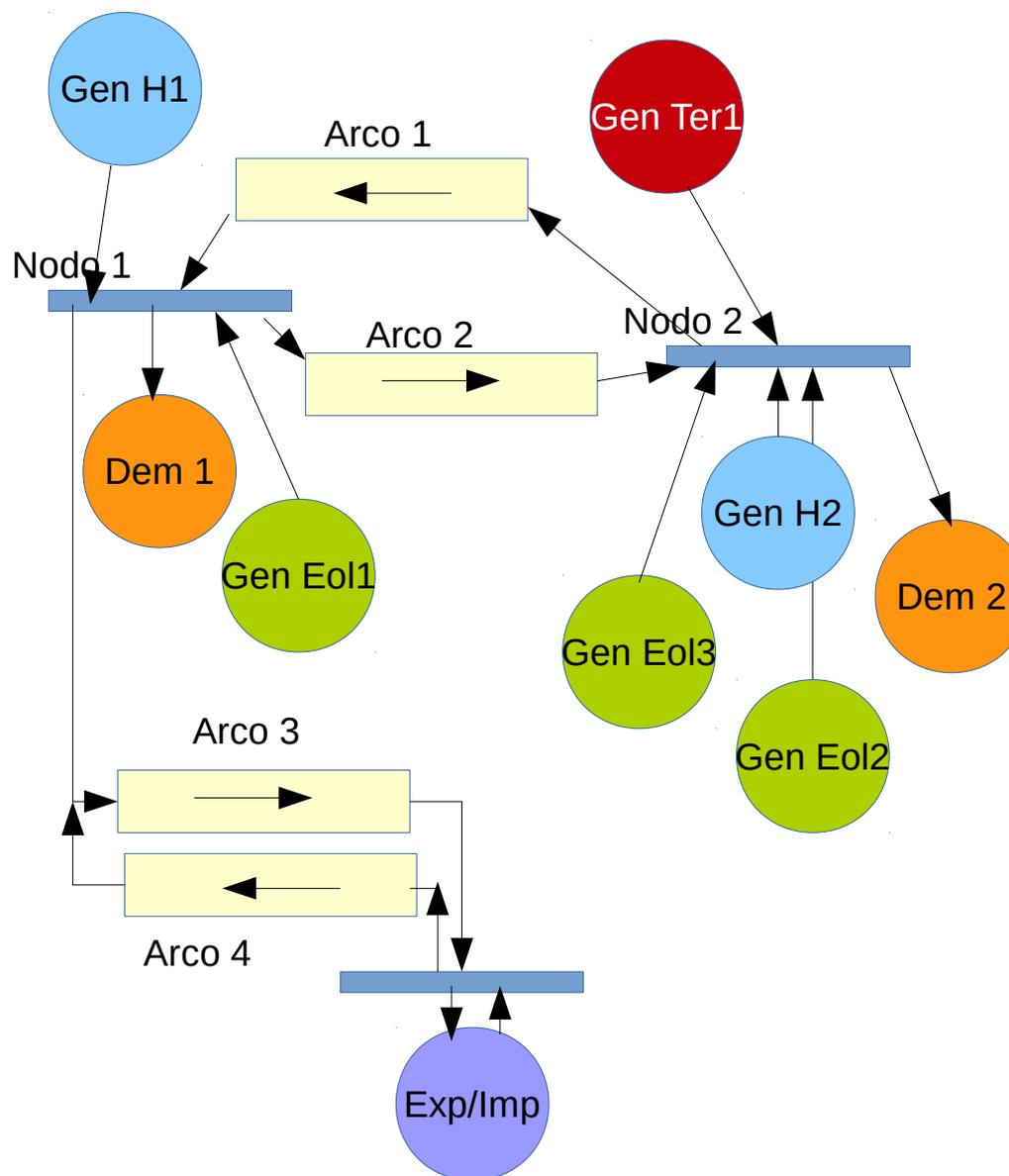
Costos Variable = CV [USD/MWh]

	PP [USD/MWh]	CV [USD/MWh]
eólica	65	0
solar	85	0
Turbina Ciclo Abierto (GO)	15	120
Ciclo Combinado (GO)	25	90
@wti = 50 USD/bbl		

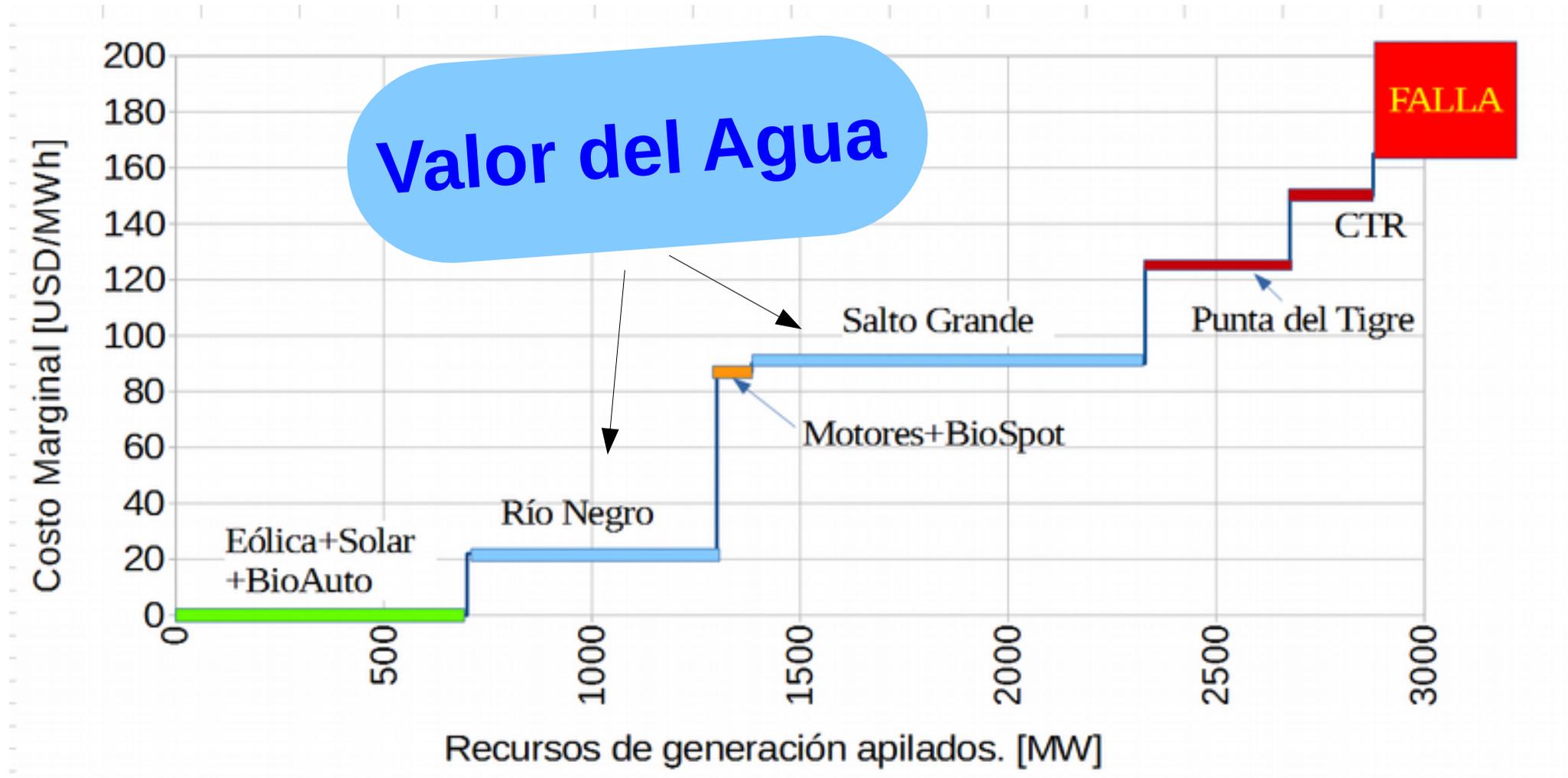
Biomasa (Autodespachada | Spot)

Hidroeléctricas

Despacho energético con restricciones de transporte



Costos marginales de generación



Valor de un recurso almacenable



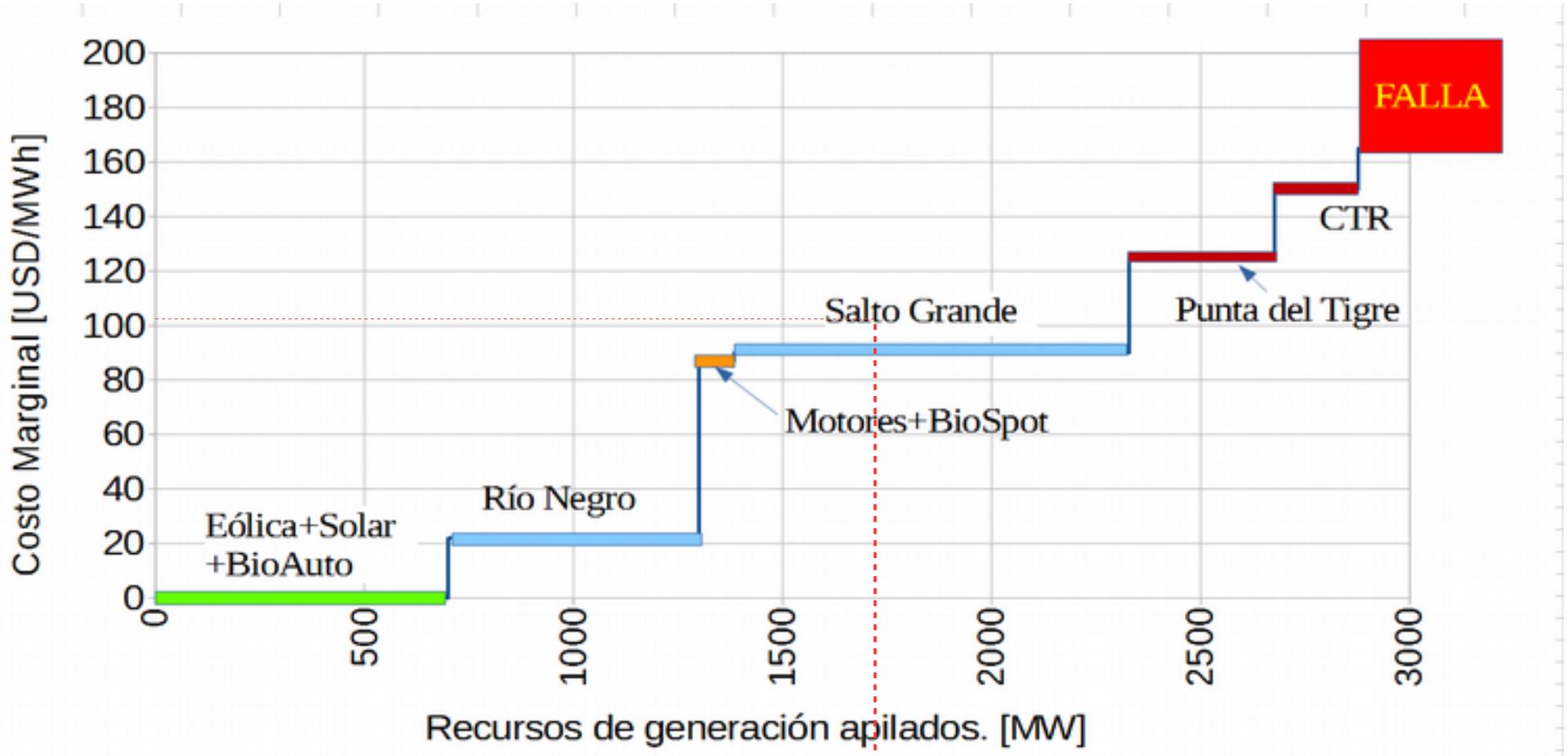
- **COMPARACIÓN ENTRE COSTO DEL PRESENTE Y COSTO DEL FUTURO.**

De no haber restricciones para el traslado en el tiempo, el costo marginal sería el mismo en todas las horas del futuro.

- **INCERTIDUMBRE DEL FUTURO.**
- **MODELOS ESTOCÁSTICOS**
- **PRONÓSTICOS**



Costos marginales de generación



Demanda



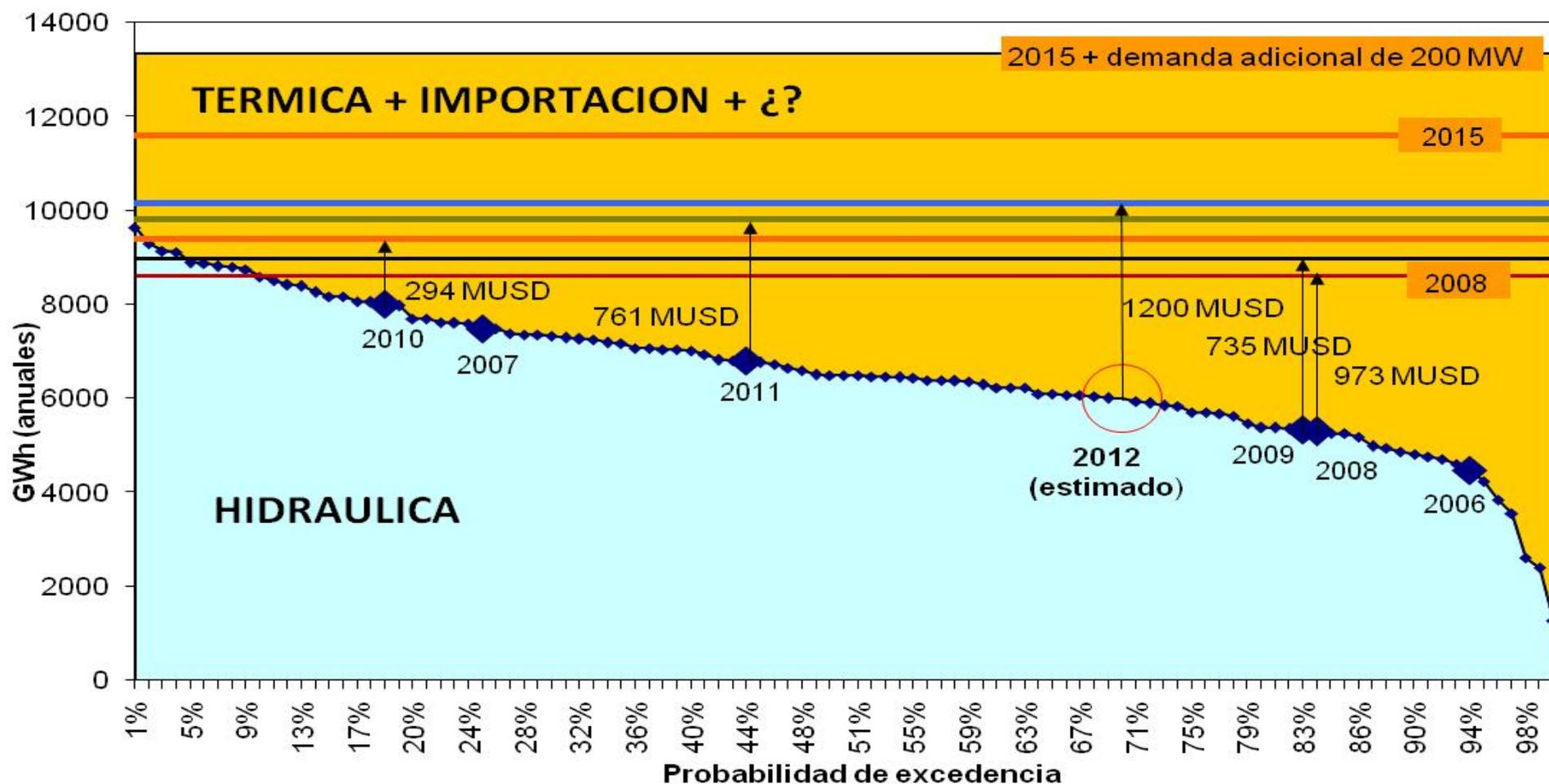
No Gestionable Demanda Neta

Variabilidad de la generación hidráulica (2012)



Efectos de la vulnerabilidad hídrica y desafío 2015

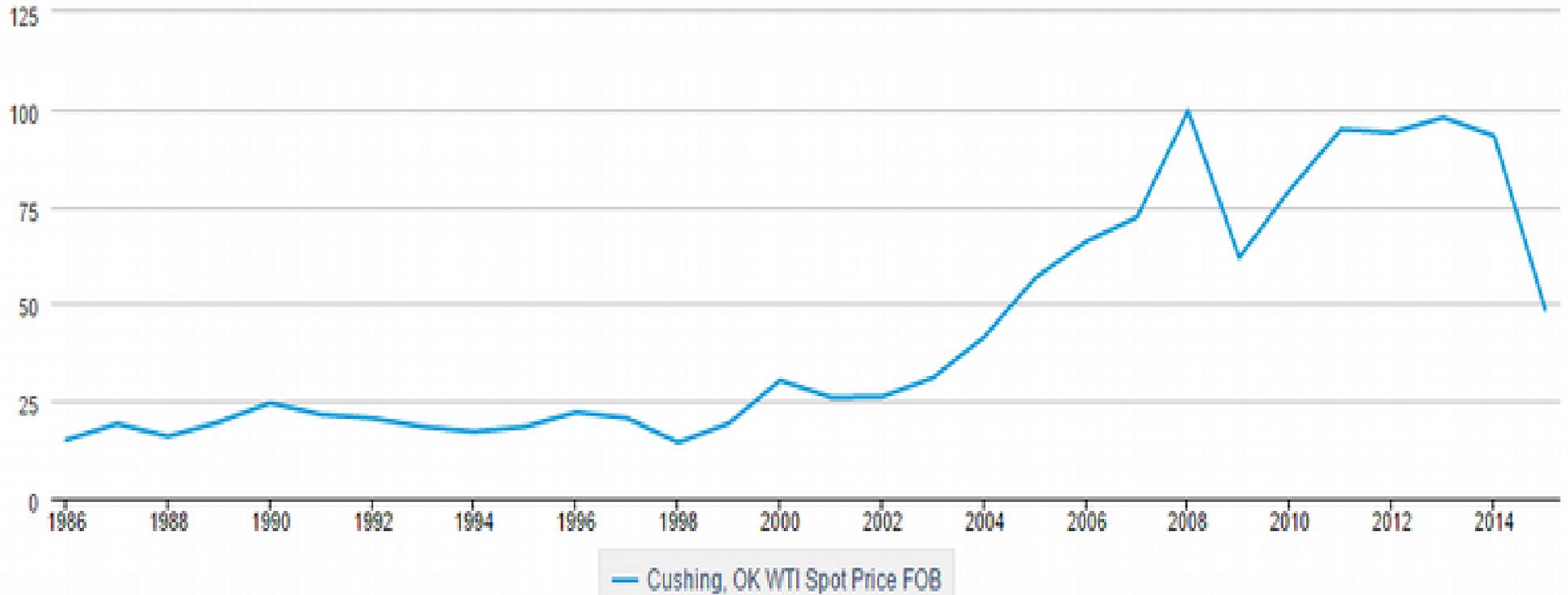
CAD en MUSD sin IVA



Variabilidad del precio del barril de petróleo (1986 - 2015)



Dollars per Barrel

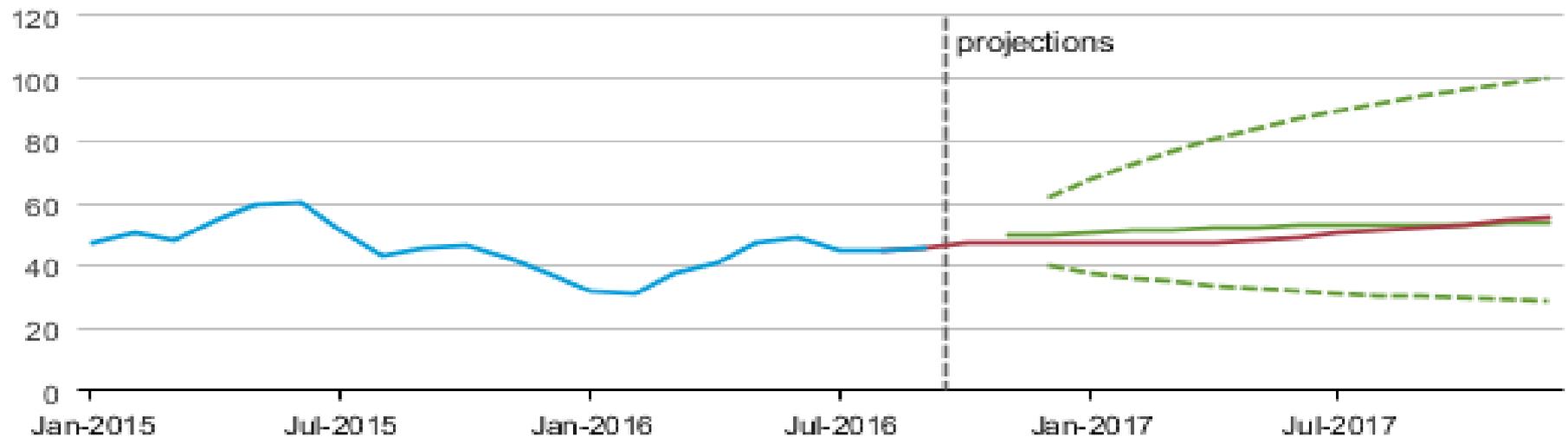


Variabilidad del precio del barril de petróleo (2015 - 2017)



West texas intermediate (WTI) crude oil price

dollars per barrel



- Historical spot price
- STEO price forecast
- NYMEX futures price
- - - 95% NYMEX futures lower confidence interval
- - - 95% NYMEX futures upper confidence interval



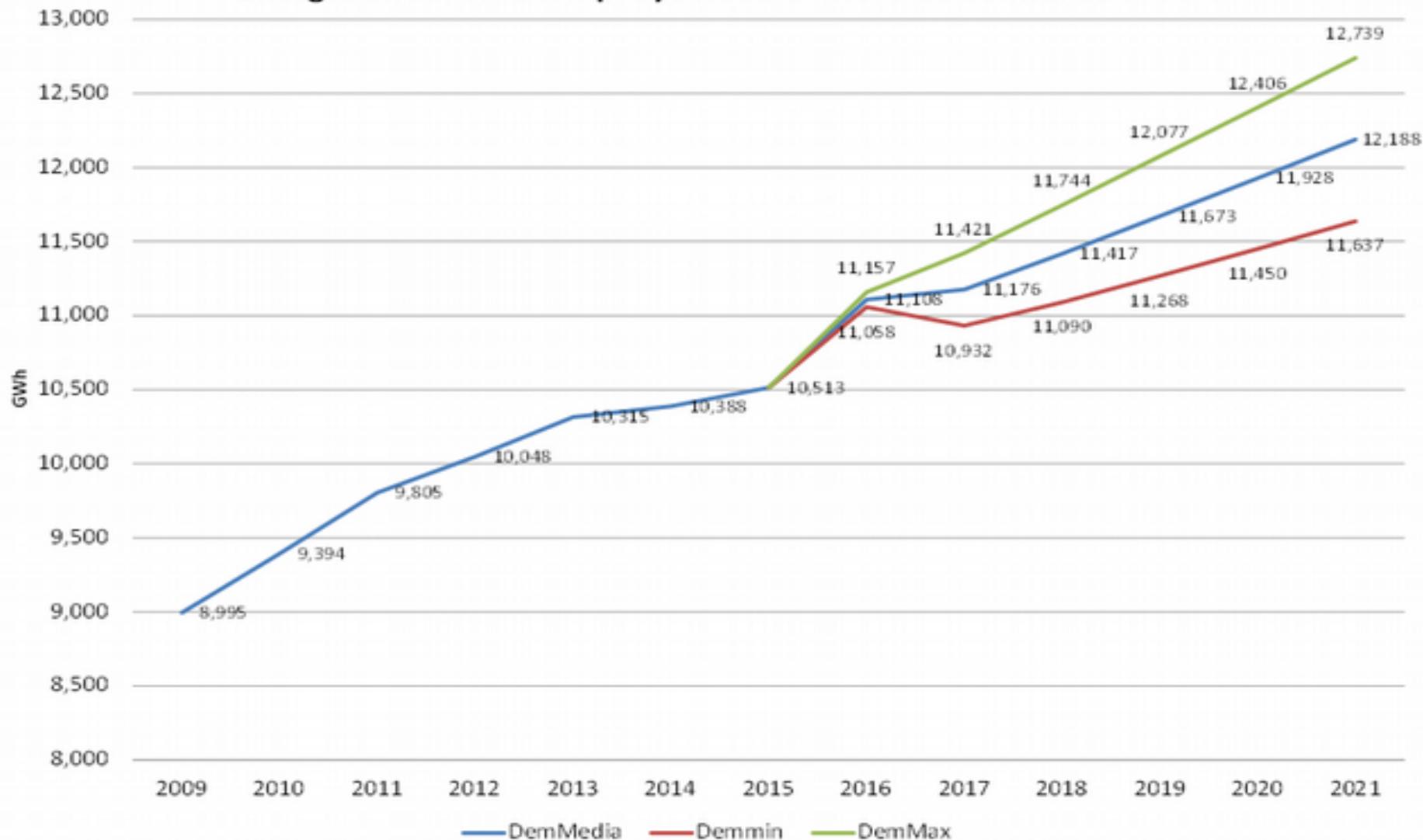
Source: Short-Term Energy Outlook, October 2016

Note: Confidence interval derived from options market information for the 5 trading days ending Oct. 6 2016. Intervals not calculated for months with sparse trading in near-the-money options contracts.

Incertidumbre en el crecimiento de la Demanda 2009 - 2021



Energía anual en GWh proyectada e interv de confianza al 70%



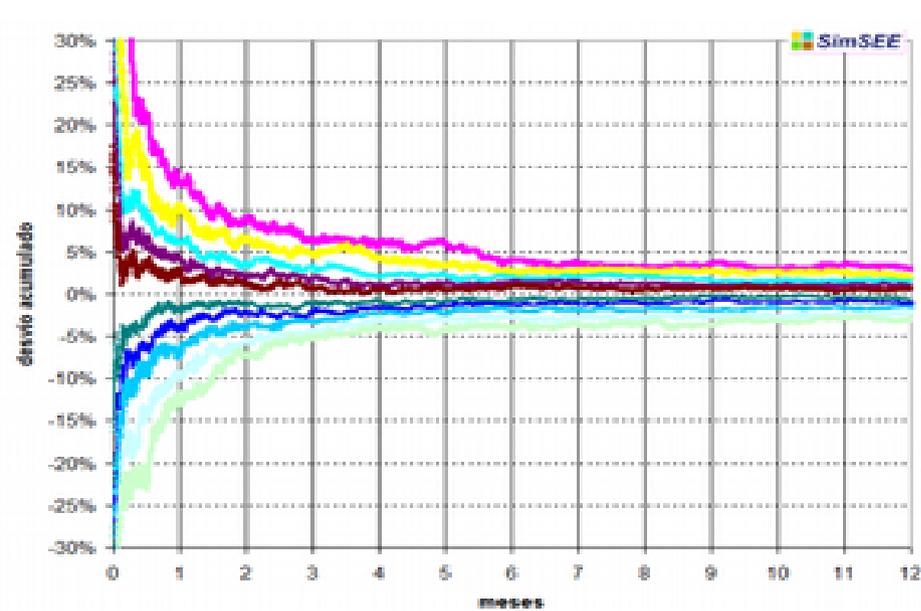
¿Pero qué pasa con las ERNC?



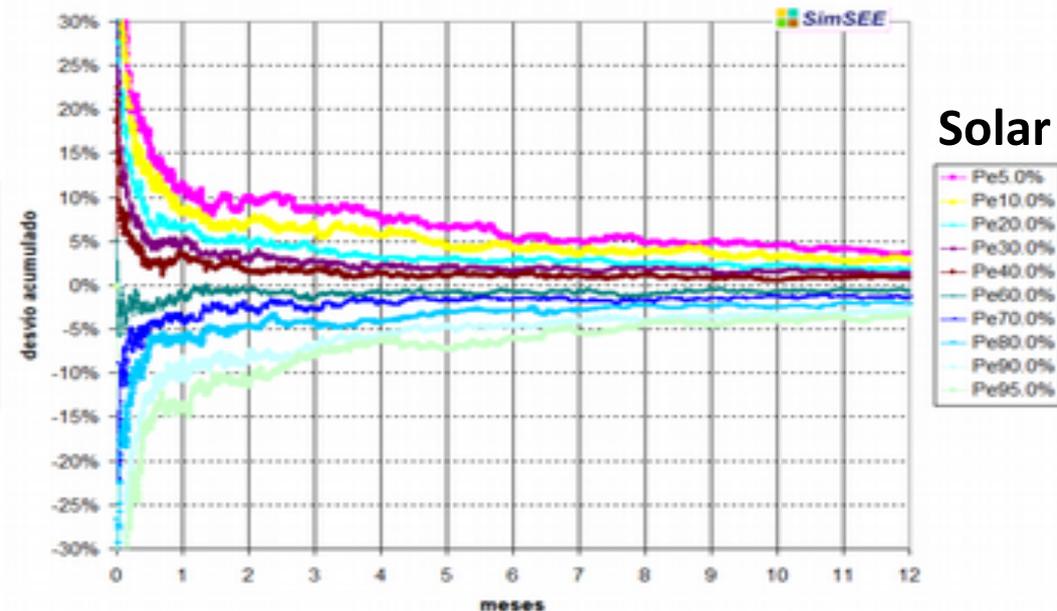
Desvío acumulado según fuente de generación



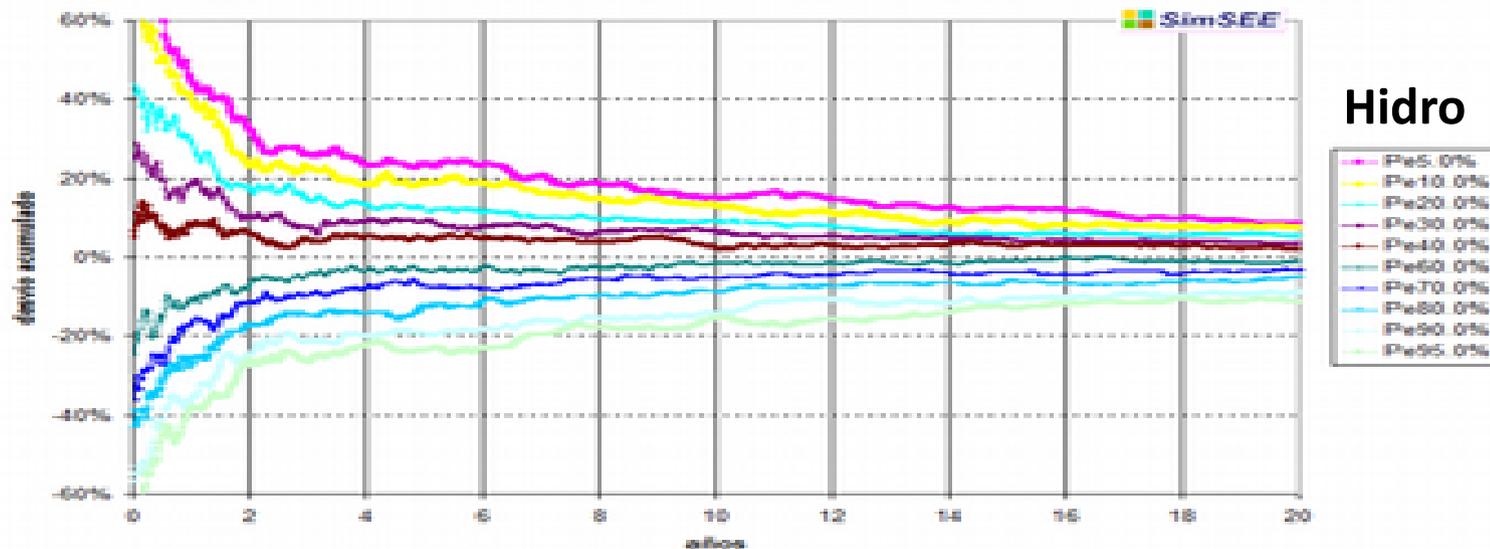
Eólica



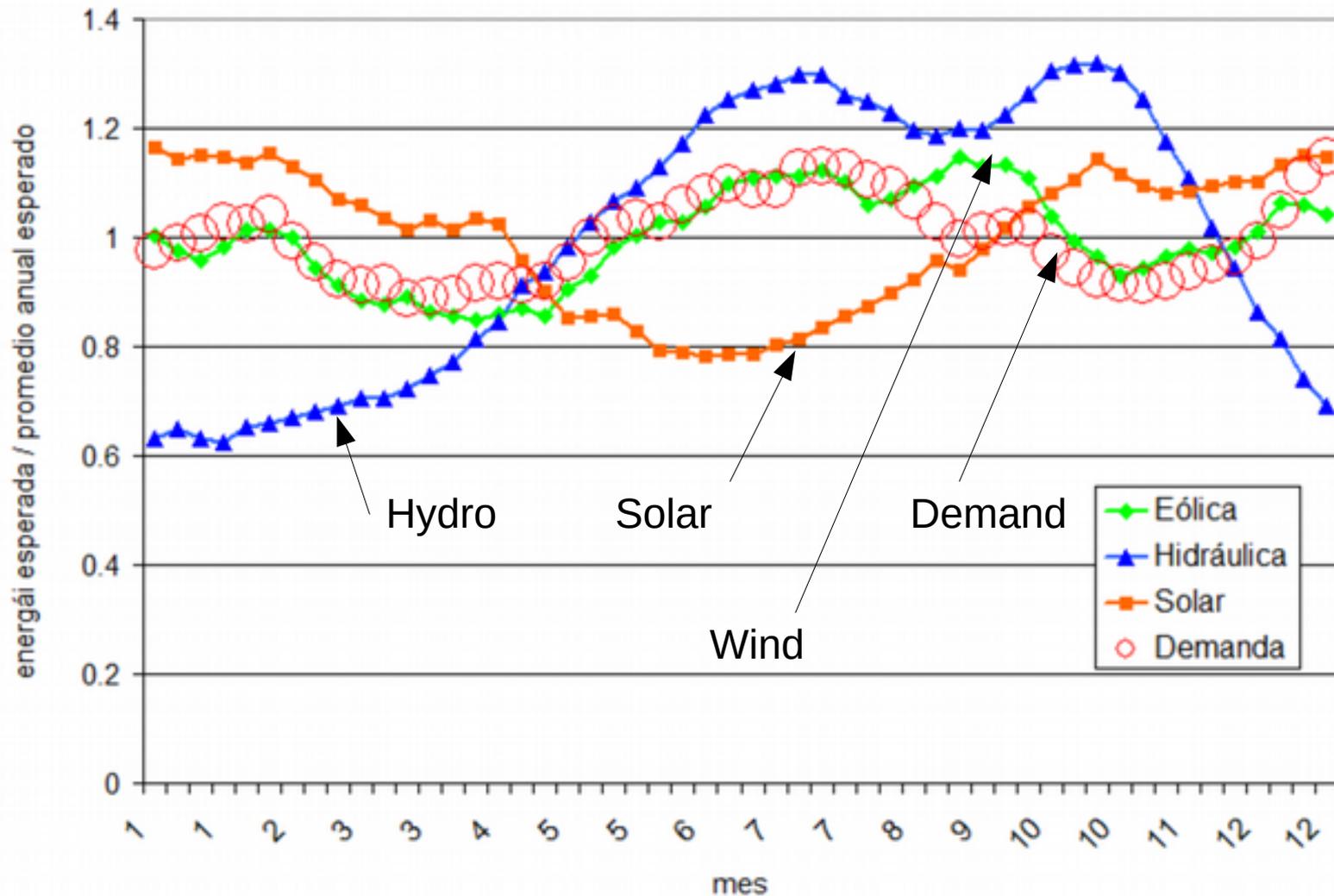
Solar



Hidro



Perfil anual en p.u. de la generación diaria esperada



Modelo de Central Eólica



Curva de Potencia - Velocidad

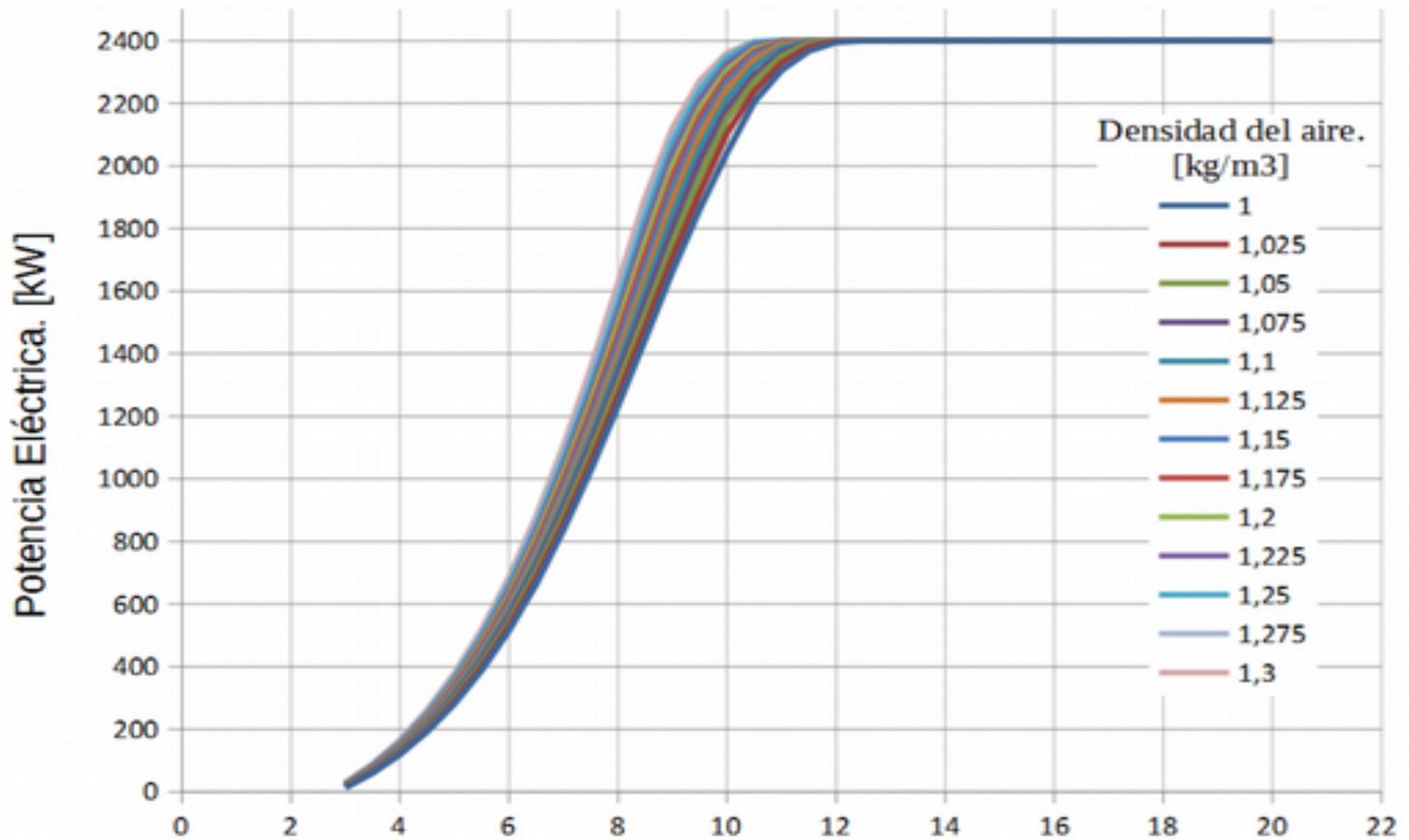
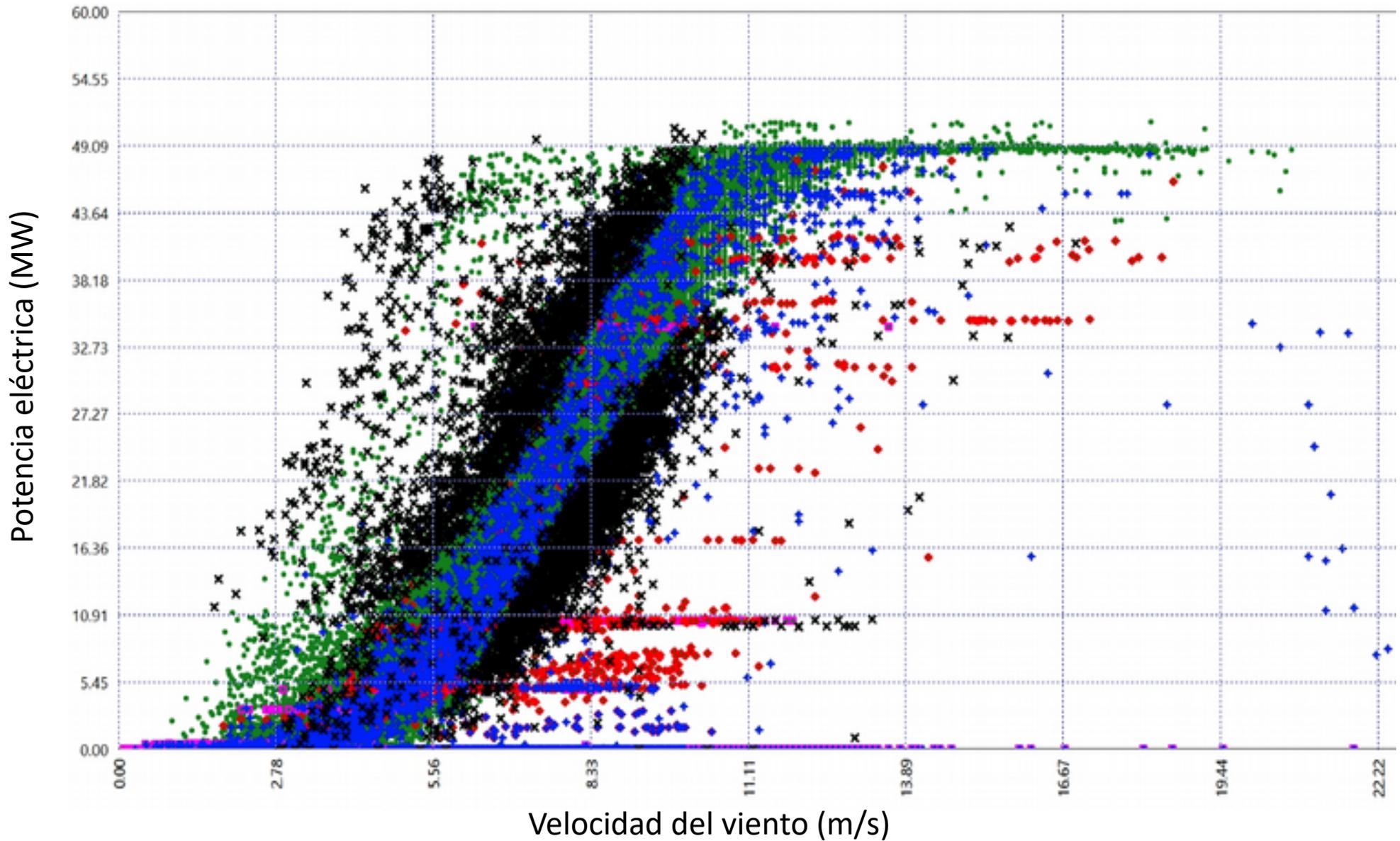


Fig. 6: Curvas Potencia-Velocidad del fabricante. 1

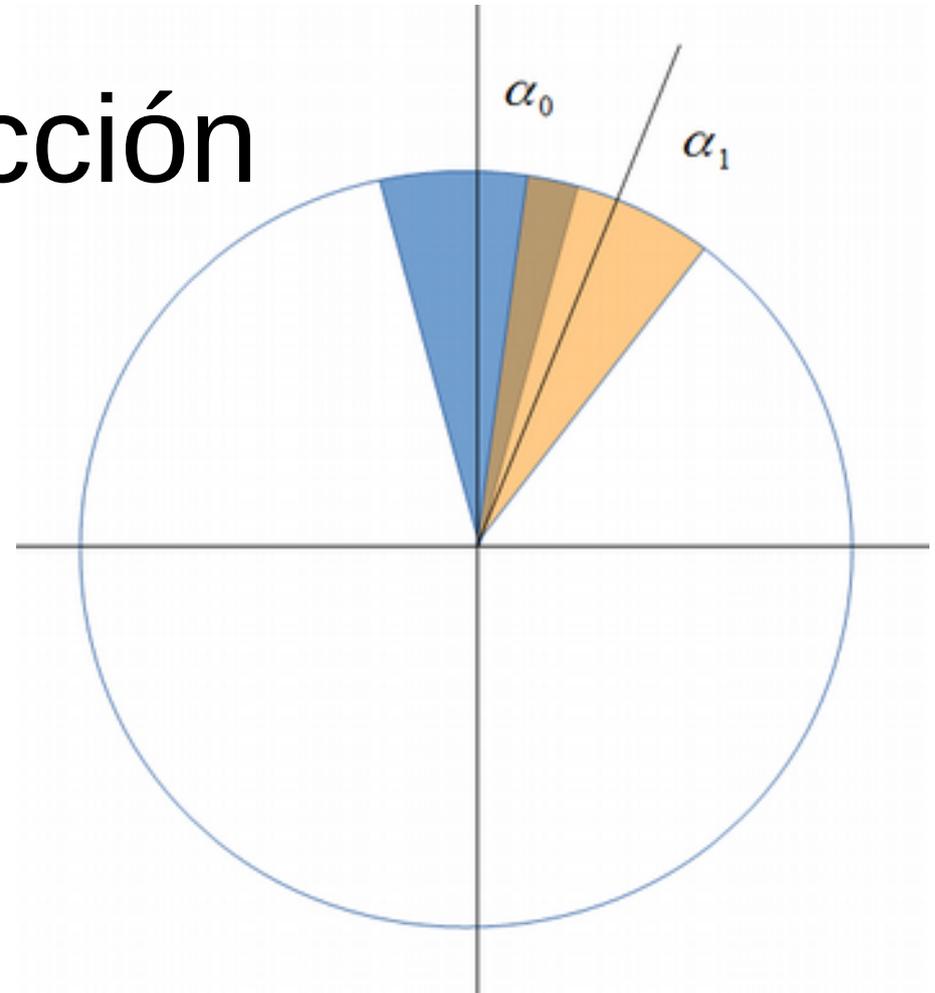
Modelo empírico válido sin R.O.



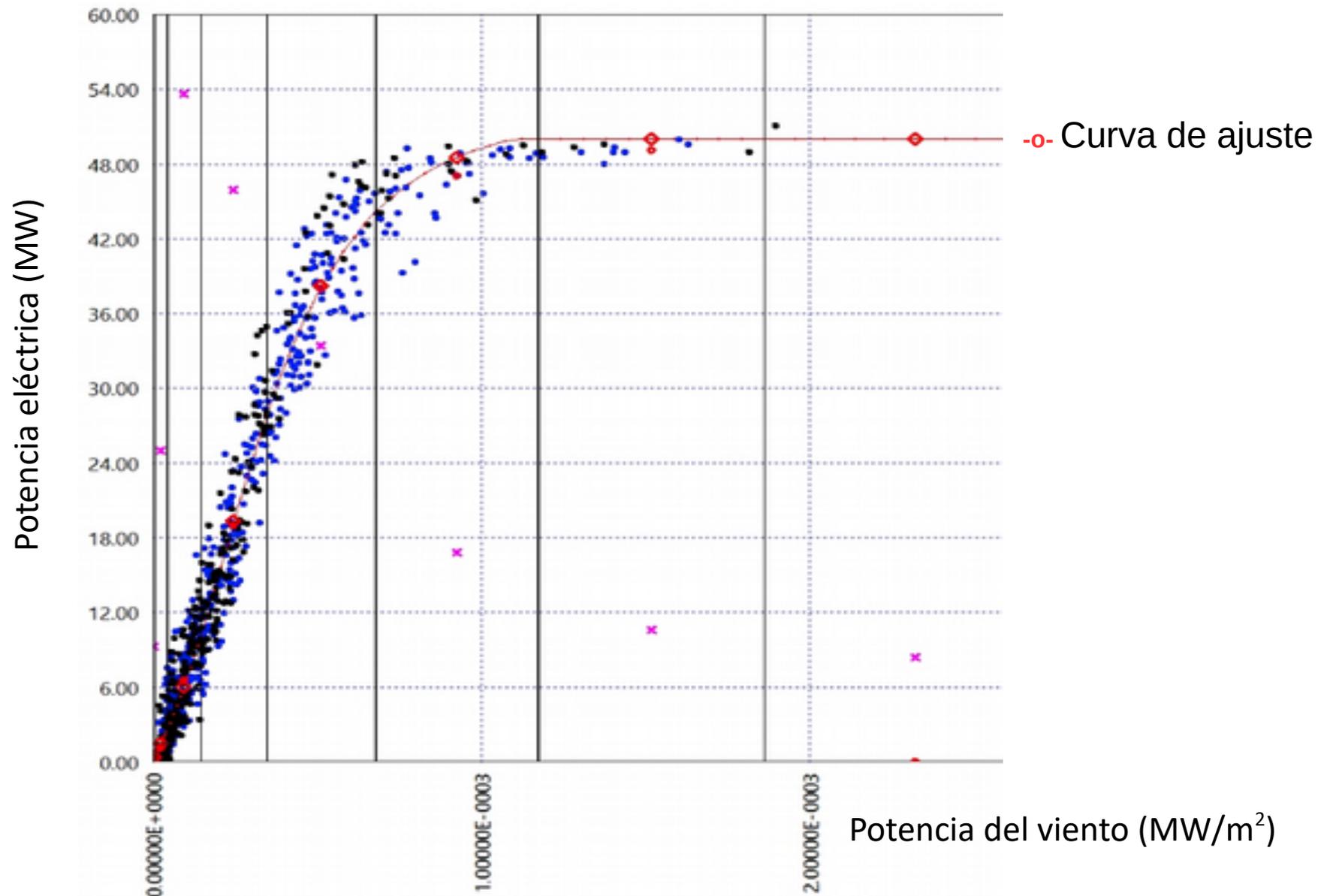
Procedimiento de obtención M.E.



Grupos por dirección de viento



Modelo empírico válido sin R.O.



Modelo teórico



- Aerogeneradores
- Grilla
- Potencia nominal de Parque
- Límite de Potencia
- Factor de Pérdidas

Parámetros de ajuste del modelo teórico

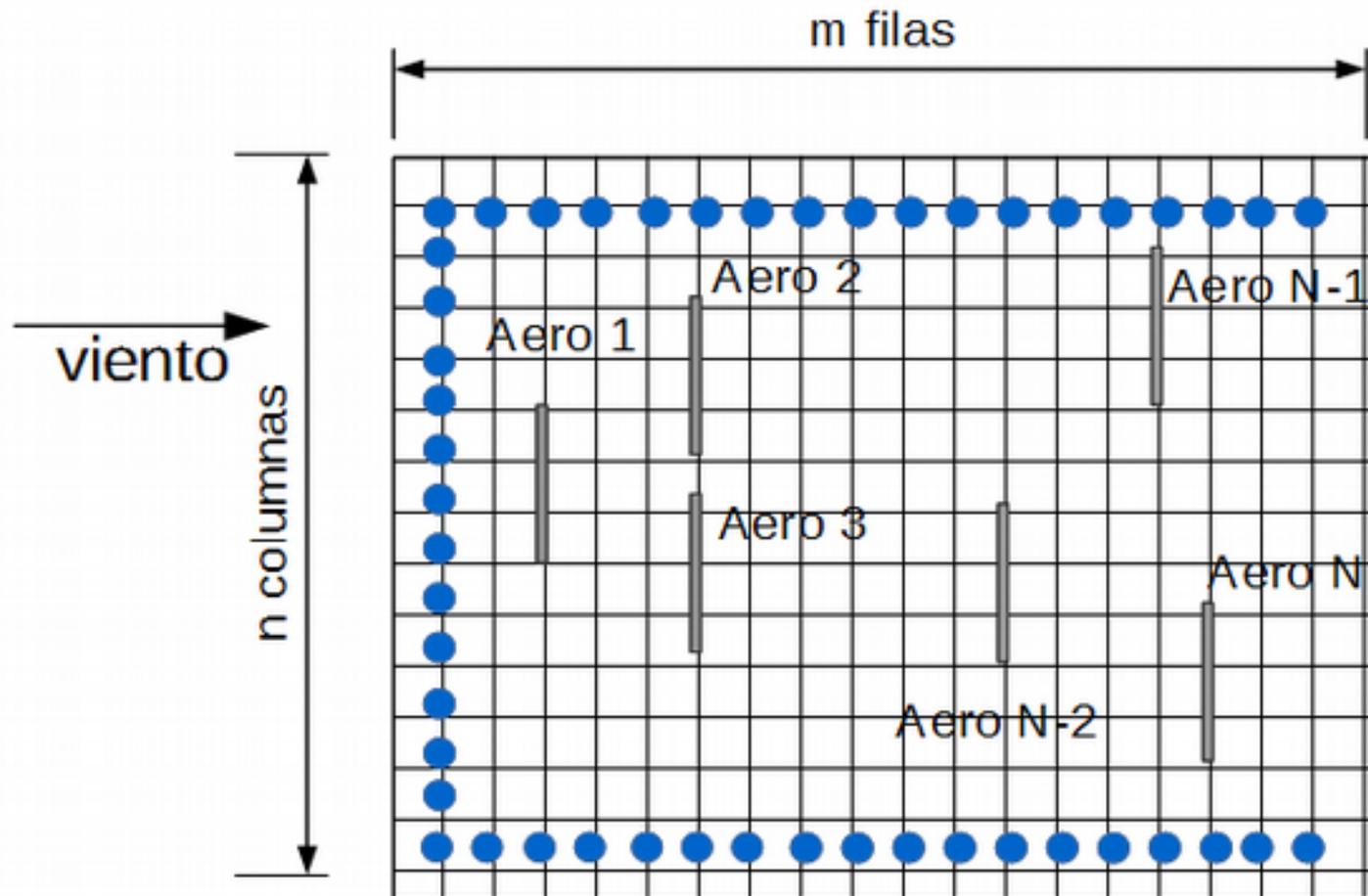


- $\gamma_{atmosfera}$: Velocidad de mezcla vertical.
- $\alpha_{terreno}$: Velocidad de mezcla horizontal.
- f_{pvPe} : Factor entre la potencia extraíble del viento y la potencia eléctrica entregada por el aerogenerador.
- η_{EM} : Relación entre la Potencia de Viento en la EM y la Potencia del Viento Libre.
- η_k : Factor de ajuste de la Potencia del Viento aplicable al aerogenerador k respecto de la Potencia del Viento Libre.

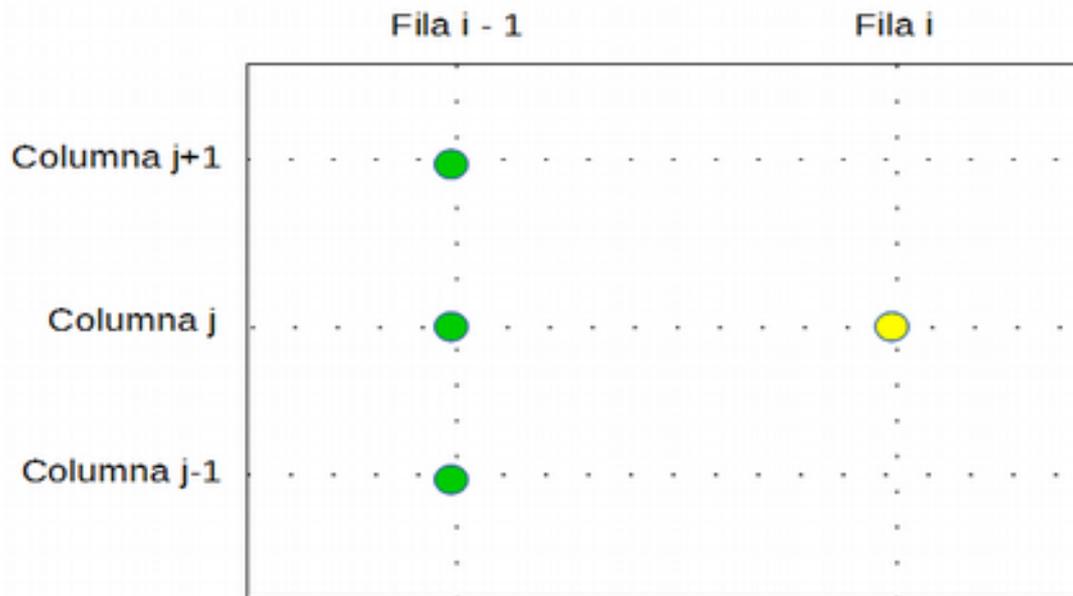
Cálculo de la potencia generada



Condiciones de borde de la grilla del parque



Cálculo de la potencia del viento



$$\alpha = \left(\frac{1}{3}\right) \left(1 - e^{-\alpha_{\text{terreno}} (\text{caja}_{dy} / \text{caja}_{dx})}\right)$$

$$\beta = 1 - 2\alpha$$

$$\gamma_{\text{superior}} = \left(1 - e^{-\gamma_{\text{atmósfera}} (\text{caja}_{dy} / 500)}\right)$$

$$\gamma_{\text{inferior}} = 1 - \gamma_{\text{superior}}$$

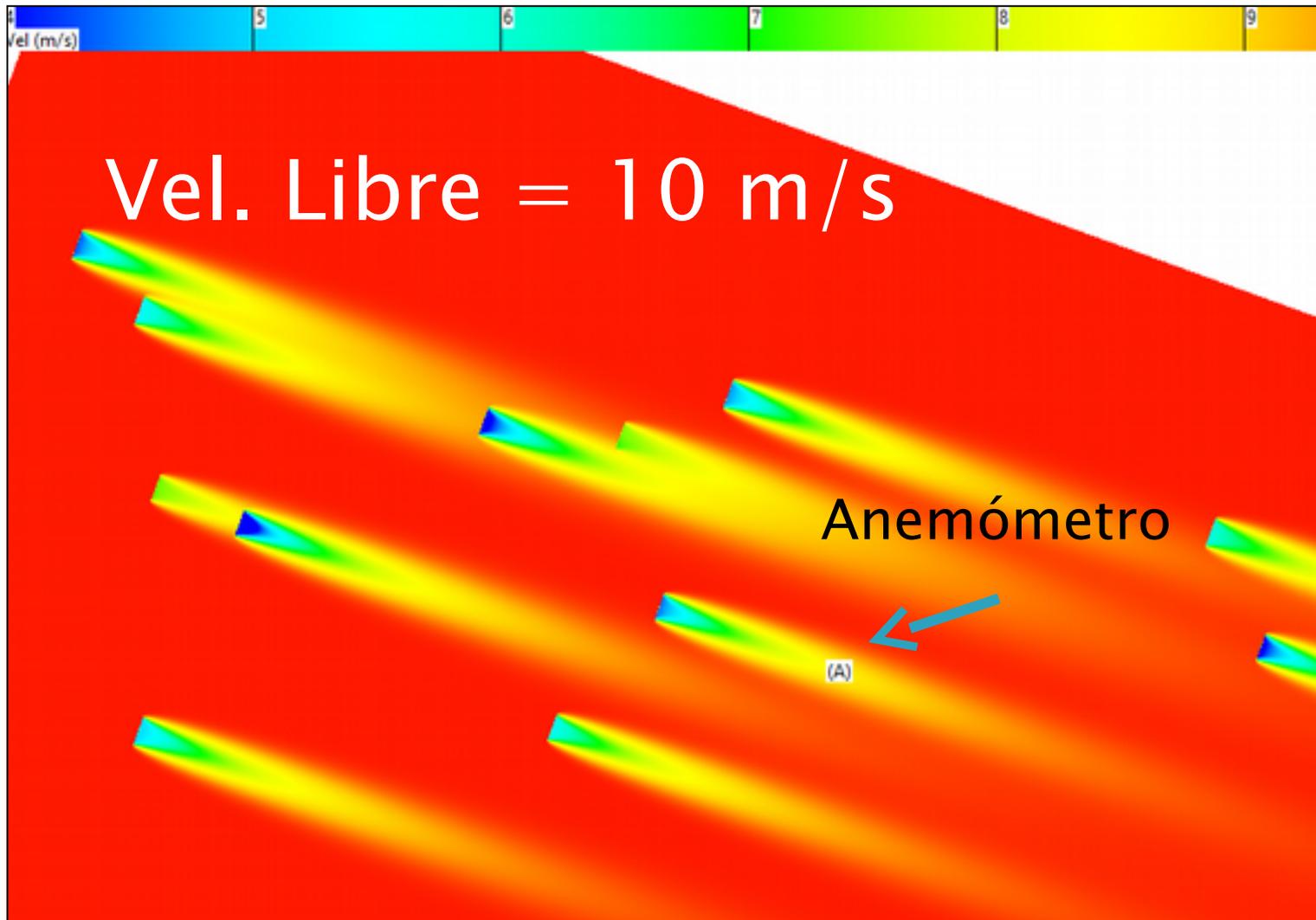
$$P v_{i,j} = [P v_{i-1,j} \cdot \beta + [P v_{i-1,j-1} + P v_{i-1,j+1}] \cdot \alpha] \cdot \gamma_{\text{inferior}} + P v_{\text{viento libre}} \cdot \gamma_{\text{superior}}$$

Metodología MT

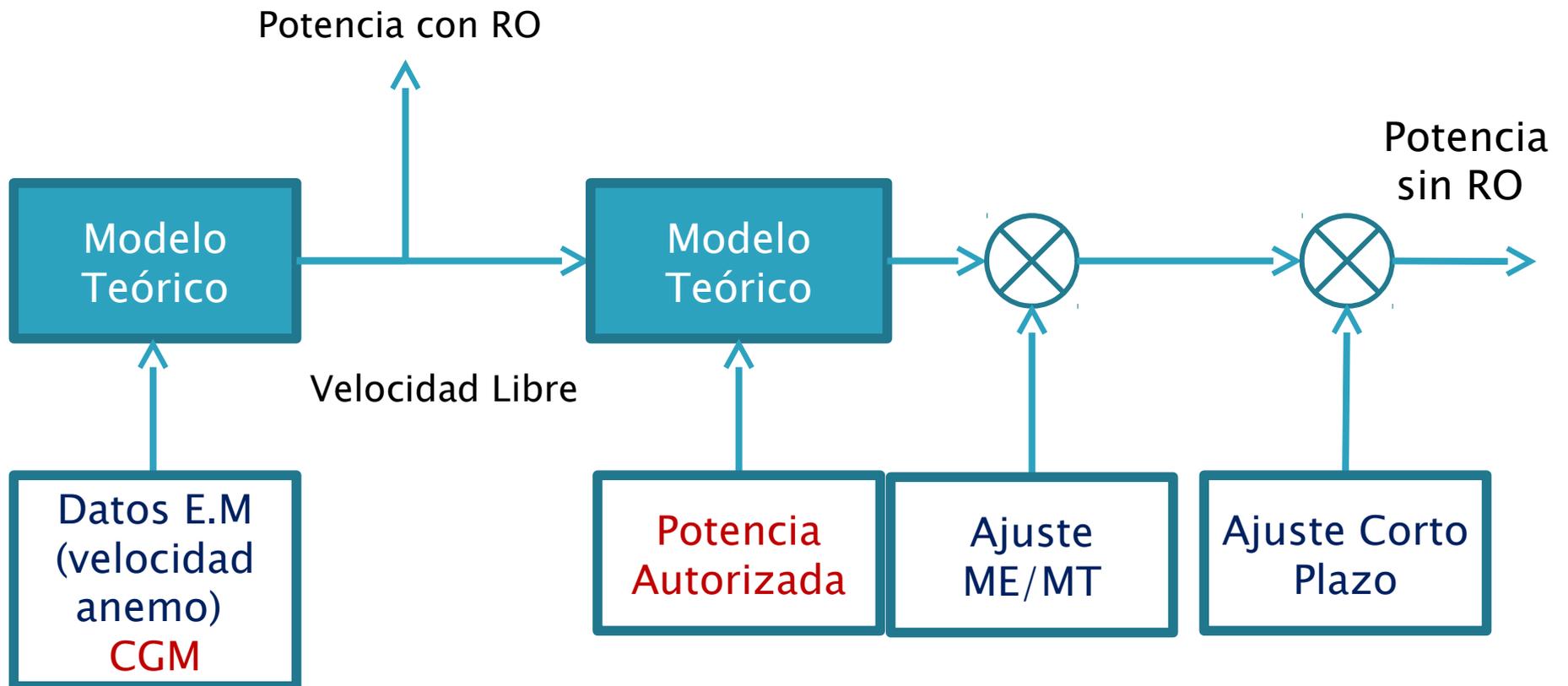
¿Por qué el MT?



- ▶ Vel Anemómetro=9 m/s, CGM=42 MW



Modelo combinado



Modelo de central generadora solar fotovoltaica.

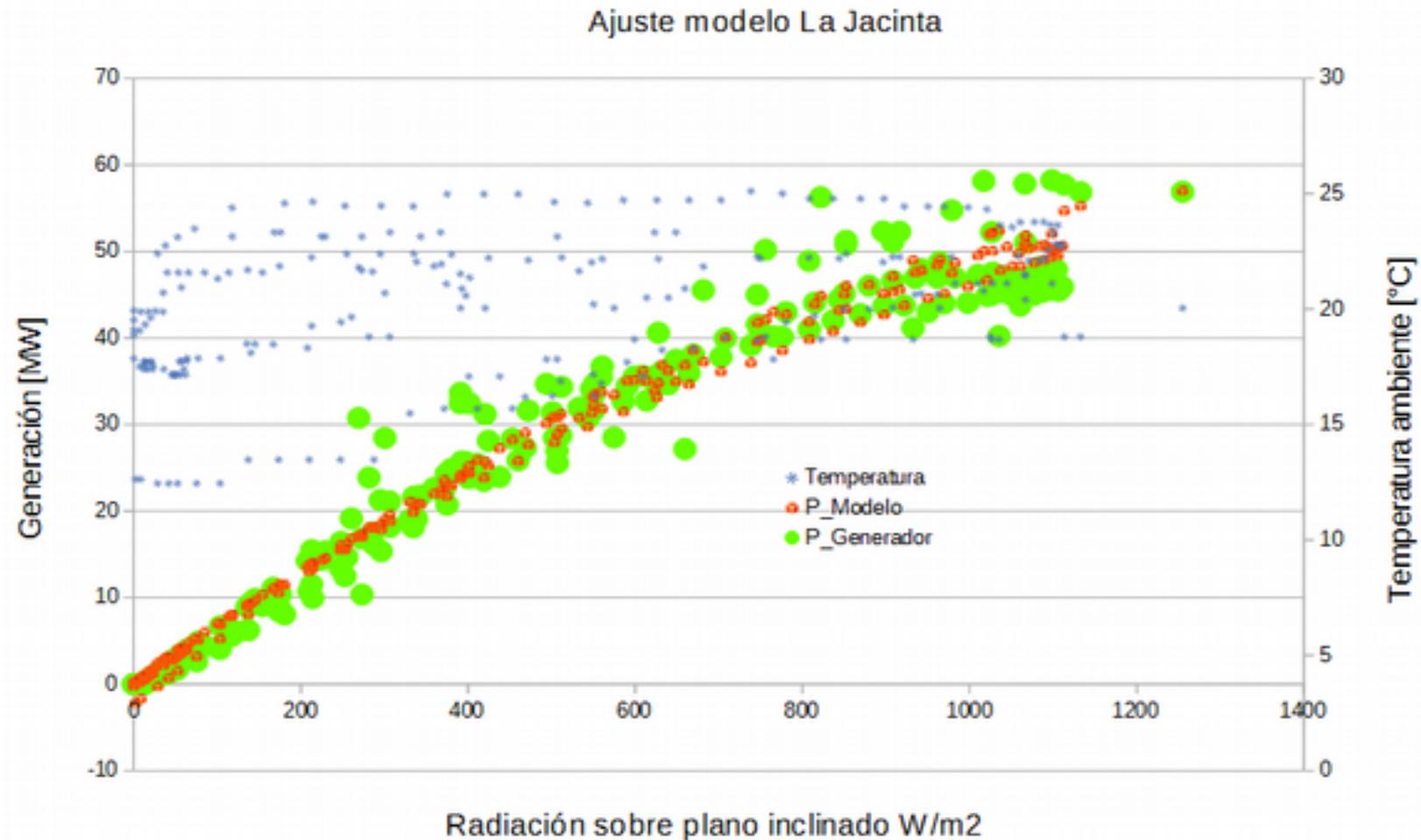


MODELO EMPÍRICO



$$P_E(r, T) = c_1 r + c_2 T + c_3 r^2 + c_4 rT + c_5 T^2$$

Ajuste de modelo de “La Jacinta”



$$P_E = 8.9E-2 r + 1.09 T - 1.84E-5 r^2 - 1.04E-3 rT - 2.27E-2 T^2 - 12.5$$

ERNC

Oportunidades de desarrollo



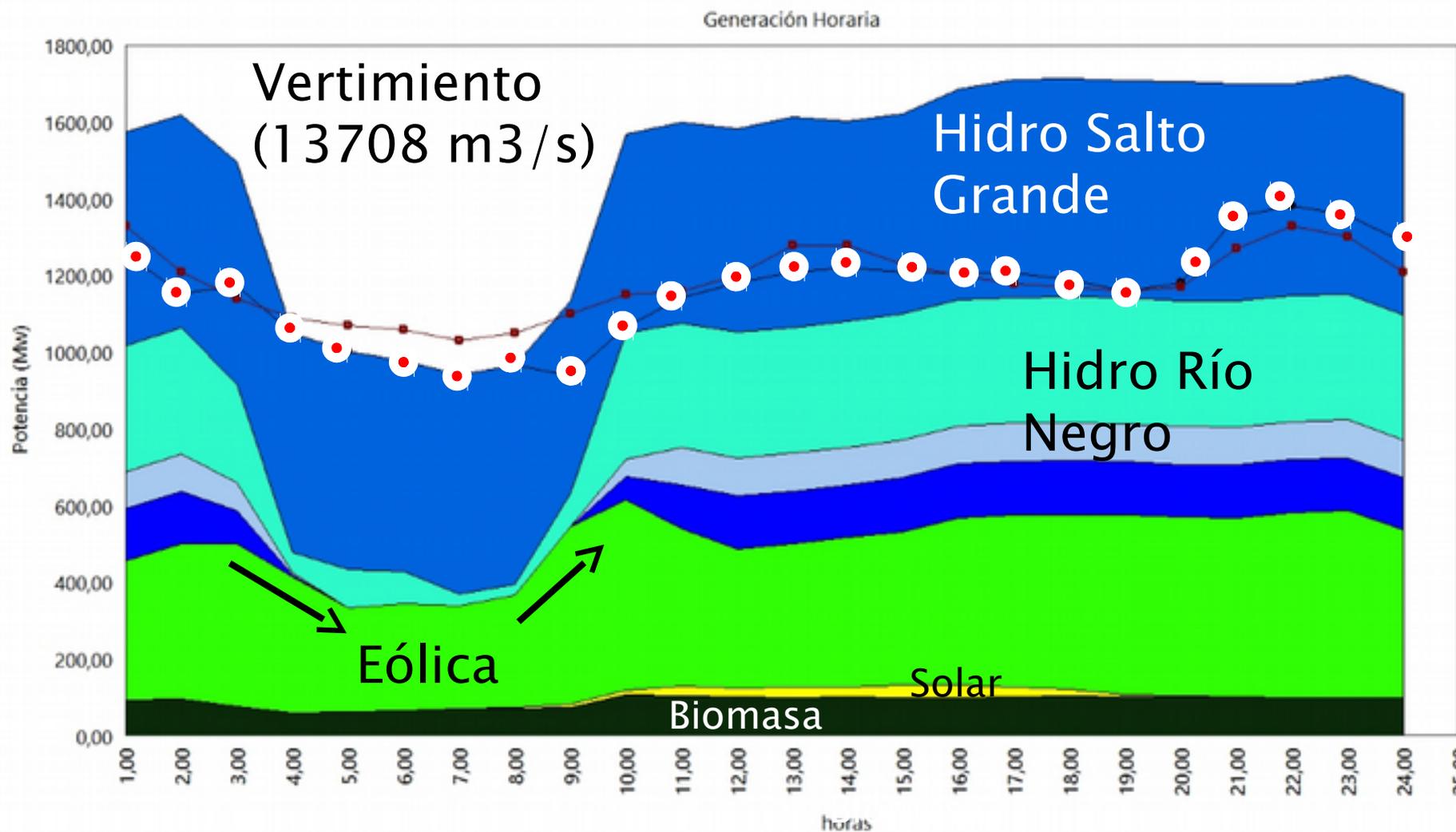
- Integración regional.
- Demanda con respuesta.
- Banco de baterías, Centrales de bombeo, Hidrógeno.

Incorporación de Pronósticos a la Programación en Tiempo Real

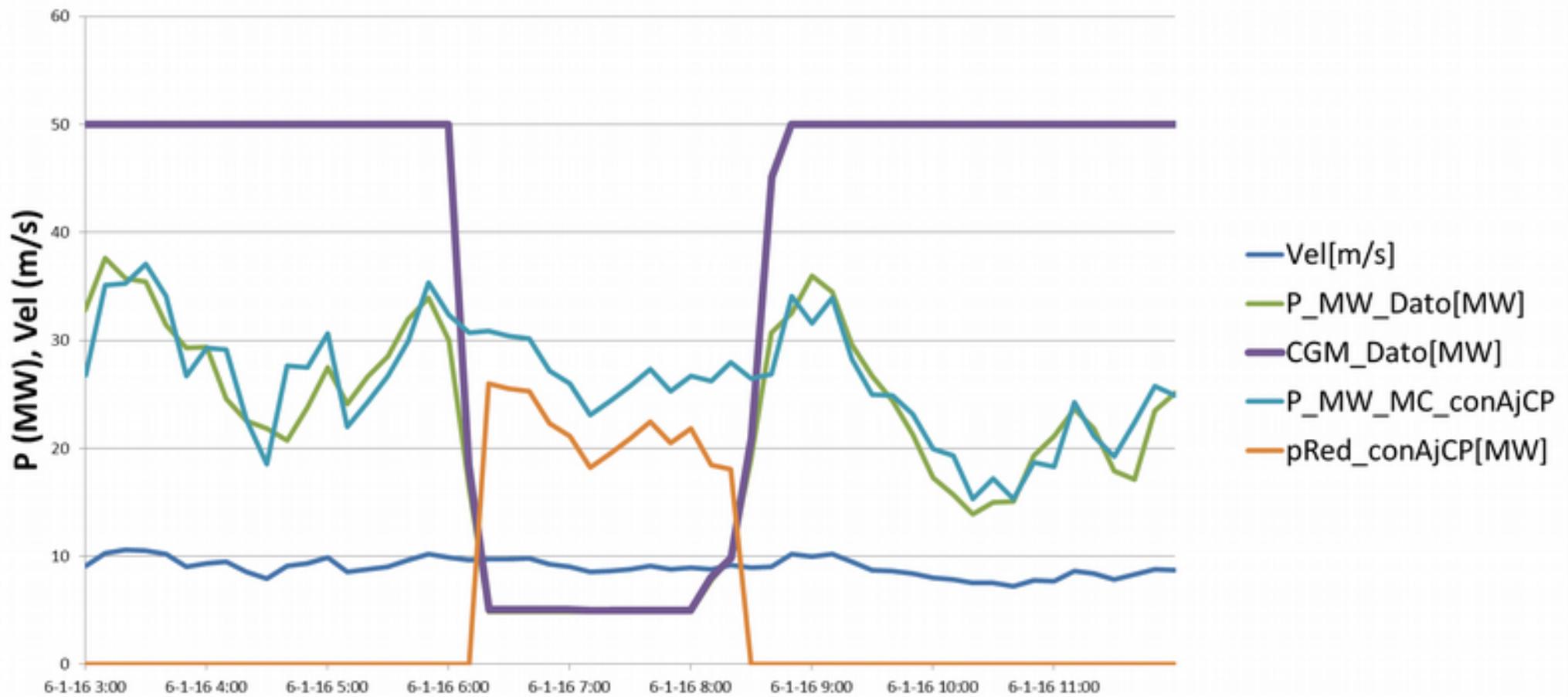
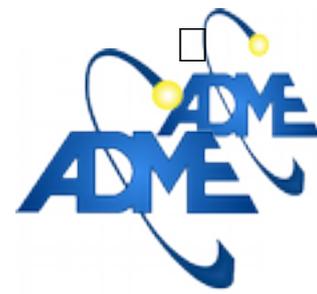


Aplicación VATES

Abastecimiento Demanda 6/1/2016 6:00 hs.



Ejemplo R.O. 6/1/16



Objetivo



- Desarrollar una aplicación que permita incorporar el pronóstico de generación eólica, solar y aportes hidrológicos en la optimización del despacho de generación, en tiempo cuasi real.

Fundamentos



PRONÓSTICO
EÓLICO y SOLAR

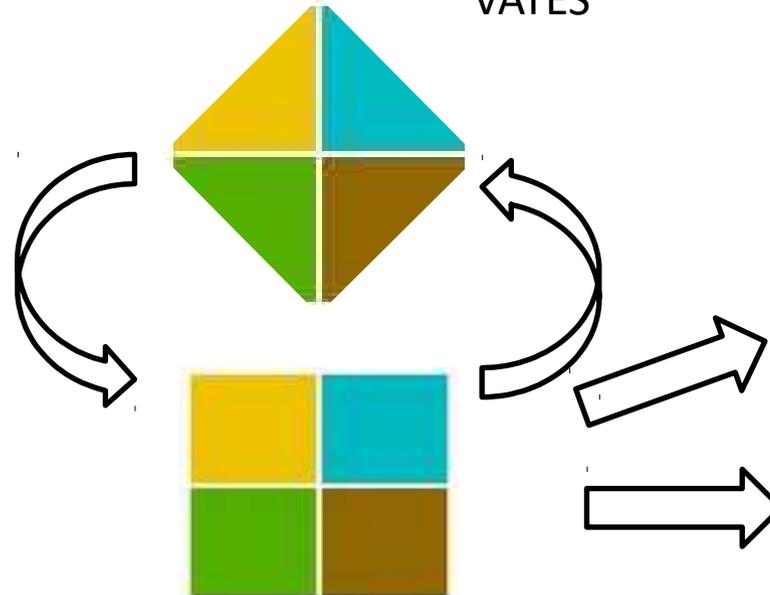


ESTADO DEL
SISTEMA



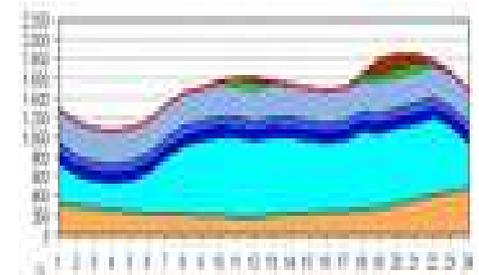
VATES

Simulación y
Optimización
para cada paso
de tiempo



SimSEE

DESPACHO



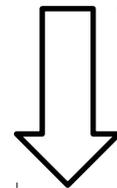
CMG



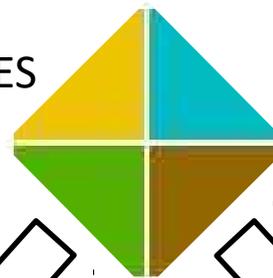
Fundamentos



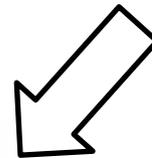
Se avanza un paso de tiempo



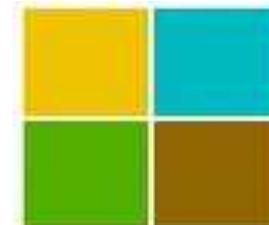
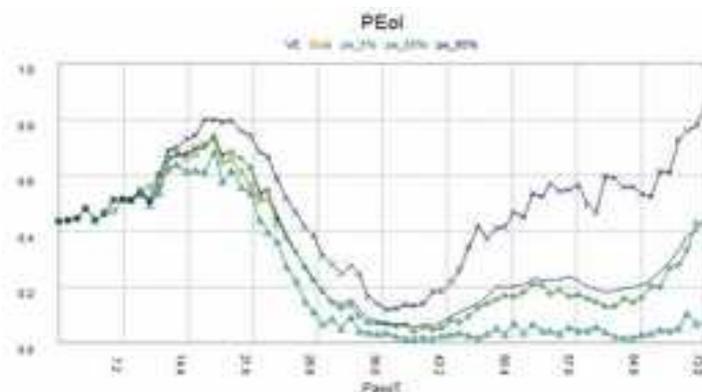
VATES



Actualiza el estado del sistema con la realidad



Recalibra el CEGH con los pronósticos



$X(a,b,c,..)$

Ejemplo de aplicación



Hipótesis:

- Sala SimSEE
 - Política de operación fija calculada con optimización de largo plazo (1 año).
 - Paso horario.
 - Aportes y disponibilidad determinísticos.
 - Crónica de la realidad = pronósticos con PE 50%.

Ejemplo de aplicación



Hipótesis Sala SimSEE:

- 1400 MW de eólica.
- 225 MW de fotovoltaica.
- 107 MW de biomasa.
- 1541 MW de hidráulica.
- 80 MW de motores a fuel oil.
- 532 MW de ciclo combinado.
- 452 MW de turbinas de gas.
- El costo variable de la energía eólica, la fotovoltaica y casi toda la biomasa se considera 0.01USD/MWh.
- El comercio internacional con Argentina se representa con 2000 MW.
- La demanda para el año 2016 es de 10708 GWh

Ejemplo de aplicación



Hipótesis:

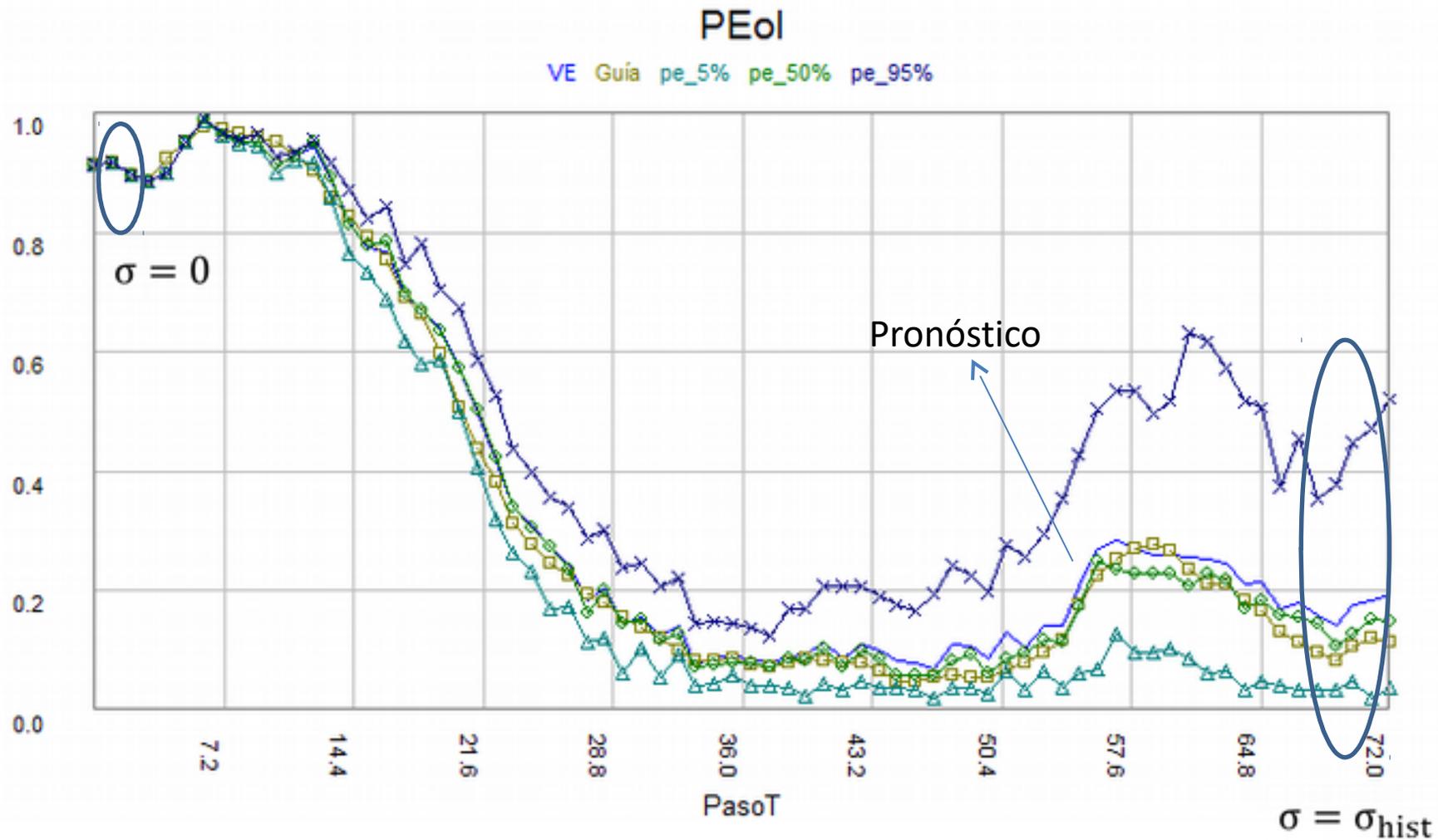
- Con Pronósticos

- Sintetizador CEGH con P.Eólica, P.Solar y temperatura con paso horario.
- Guía con pronósticos de las siguientes 72 hs actualizada cada 12 hrs.
- 4 hs con varianza 0 (determinísticos) y 68 restantes aumenta linealmente hasta llegar a la histórica.

- Sin Pronósticos

- Solo se considera el estado inicial para la calibración del CEGH.

Ejemplo de aplicación Eólica con pronósticos



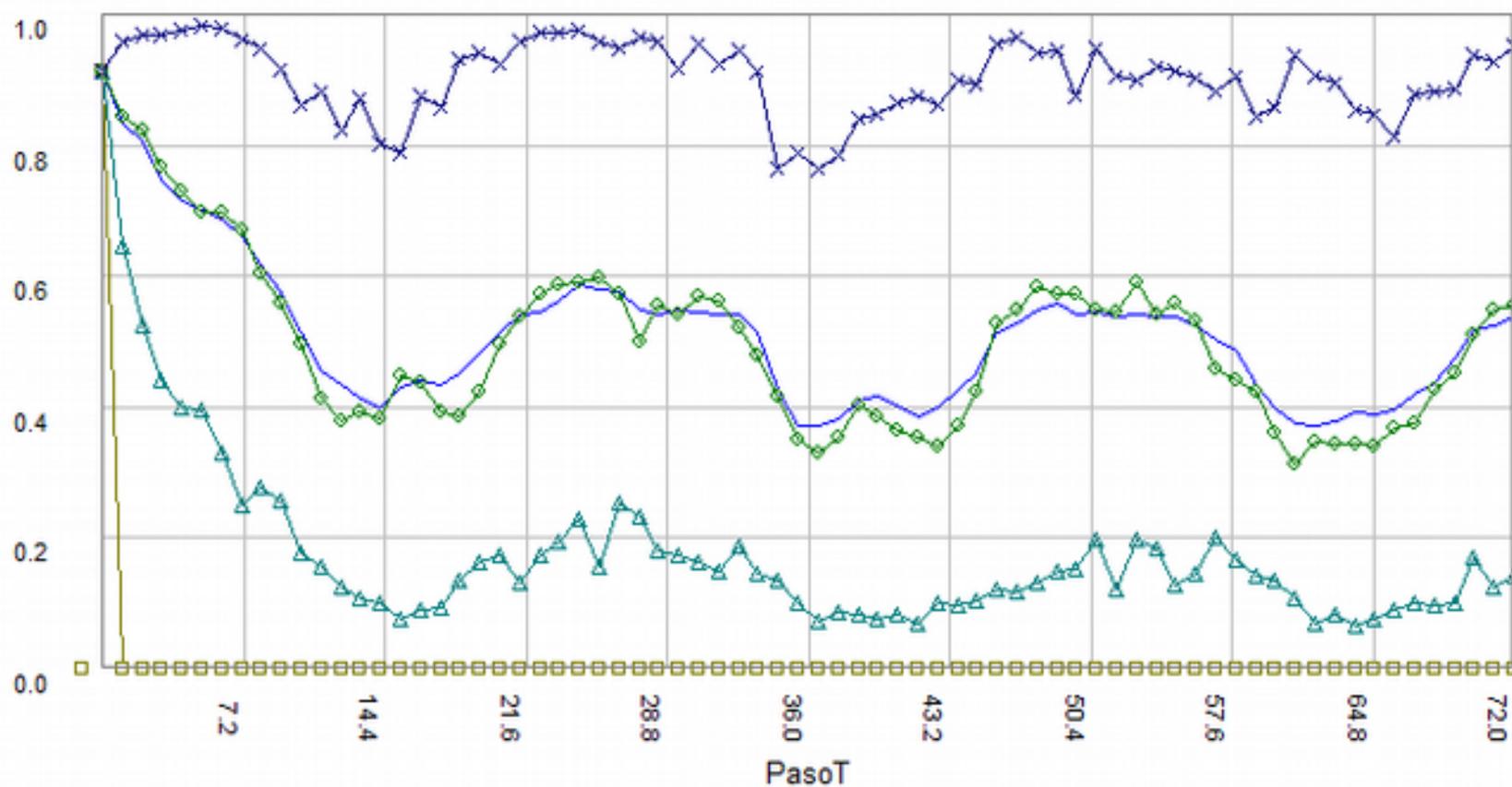
Ejemplo de aplicación

Eólica sin pronósticos



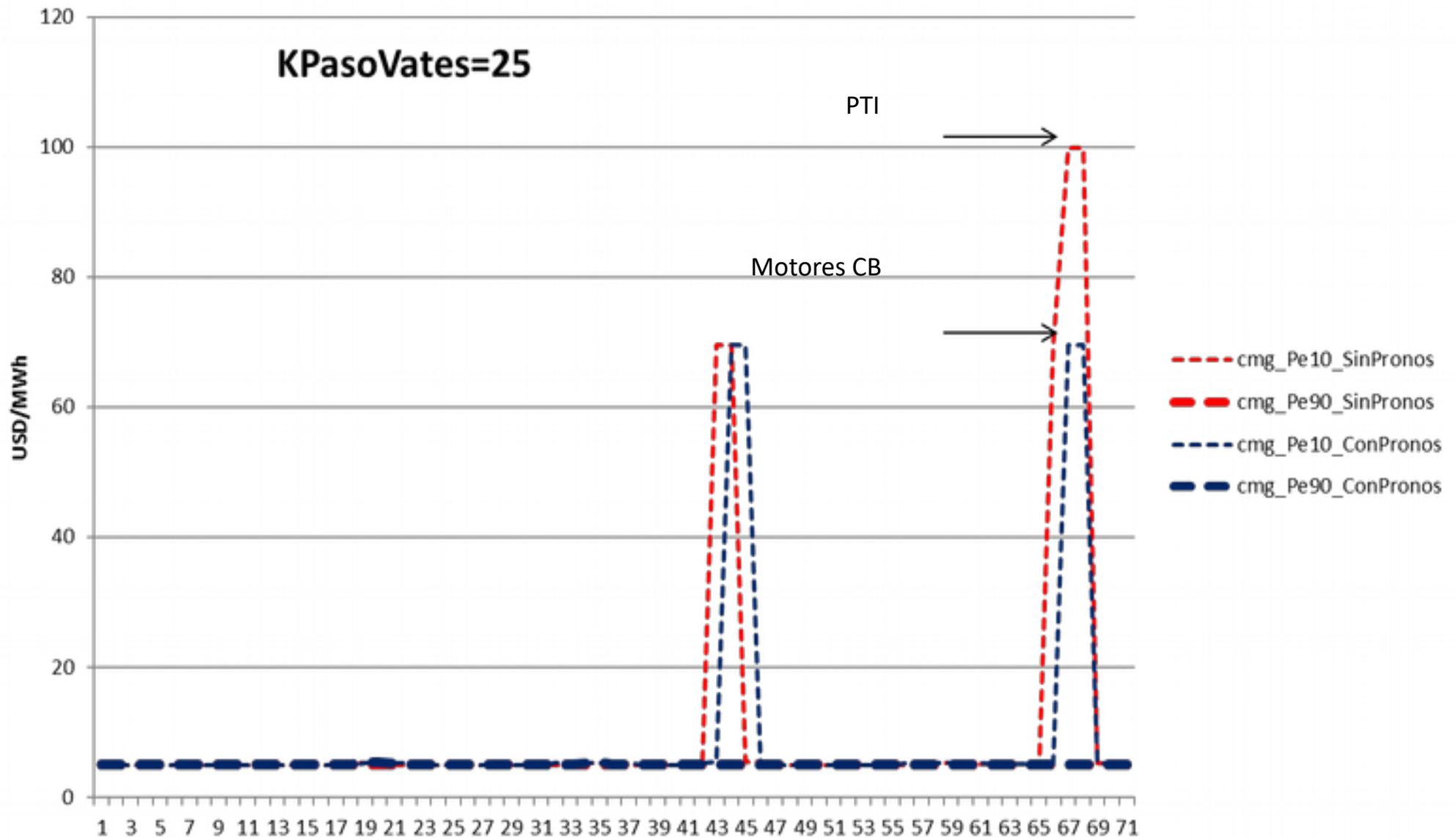
PEol

VE Guía pe_5% pe_50% pe_95%



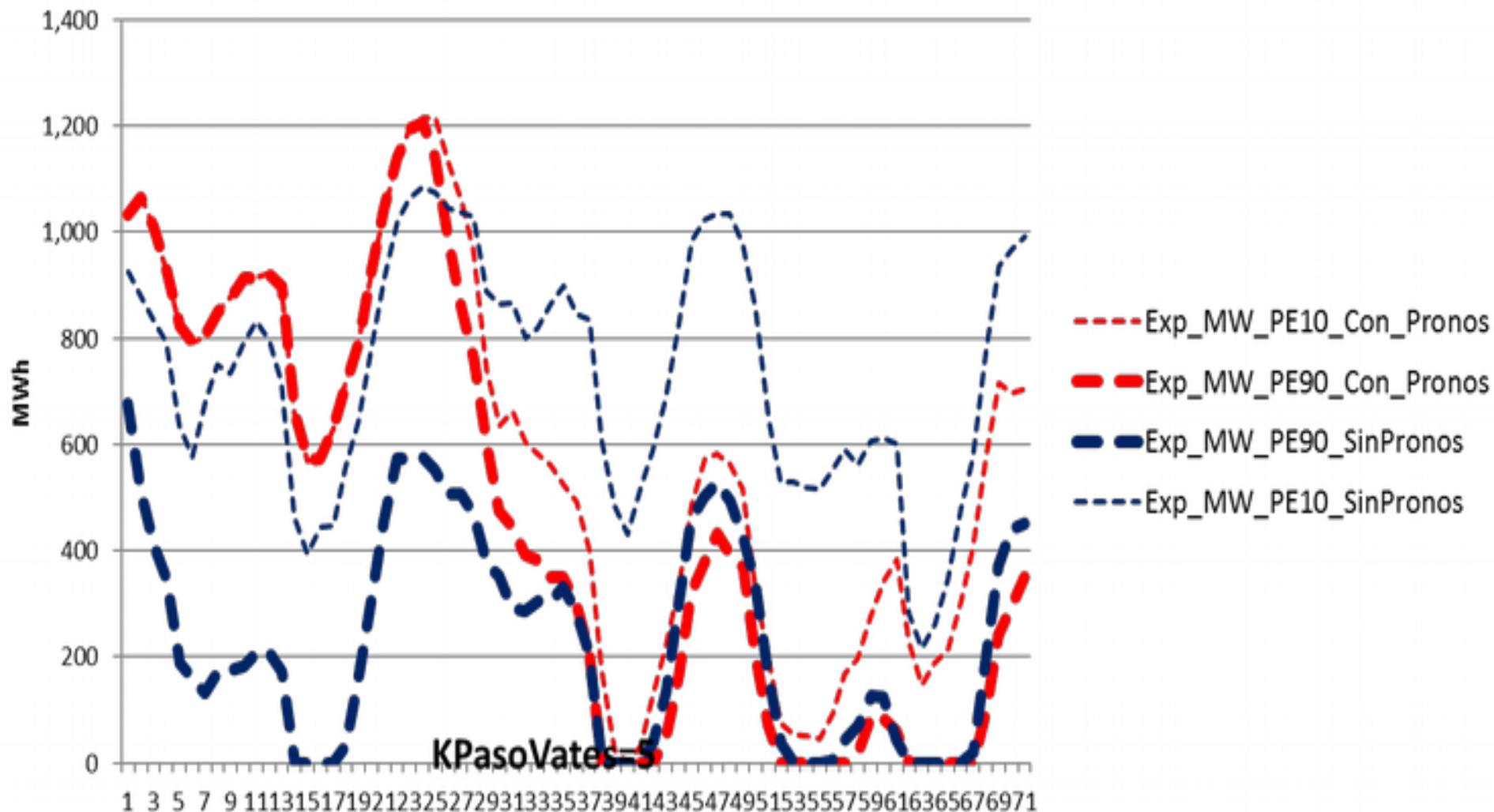
Ejemplo de aplicación

Costos marginales previstos



Ejemplo de aplicación

Exportación prevista 72 hs



Conclusión



- Tenemos las herramientas necesarias para poder incorporar los pronósticos en la programación de la operación del sistema.
- Queremos poder realizar ofertas de energía exportable con la firmeza necesaria, de manera que el que recibe la oferta, la tenga con la confianza suficiente como para incorporarla a su operación.

Conclusión

