

# 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 5. Modelado de Parques y Restricciones Operativas.



Ing. Ruben Chaer  
rchaer@adme.com.uy

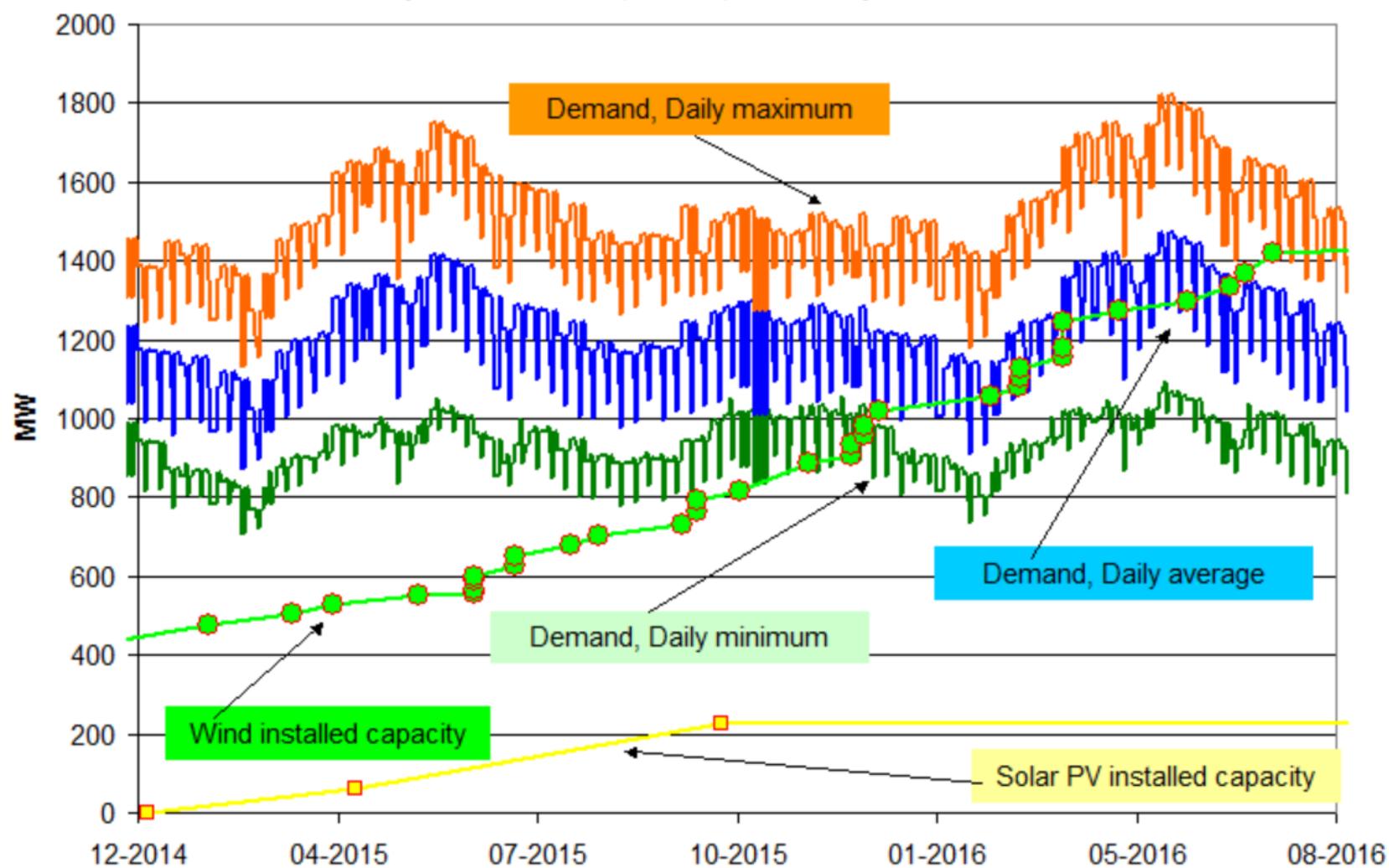


UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY



Fundación  
Julio Ricaldoni  
INGENIERIA EN EL URUGUAY

# Eólica vs. Demanda



# Modelo de central de generación eólica

Necesidad de disponer del Modelo Teórico



# Potencia del Viento

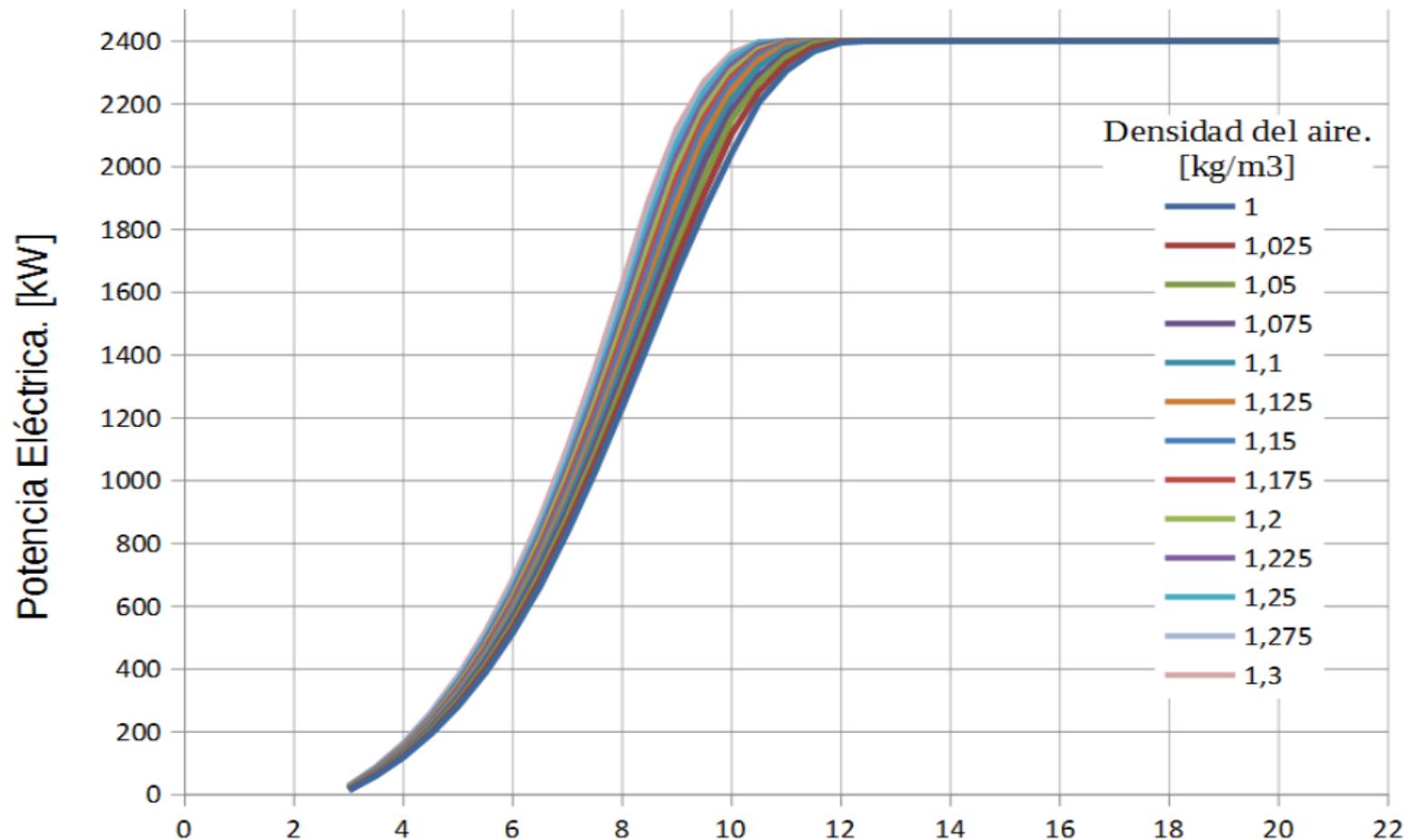


Fig. 6: Curvas Potencia-Velocidad del fabricante. ¶

$$P_v = \frac{1}{2} A \rho m v^3$$

# Modelo Empírico Válido sin RO.

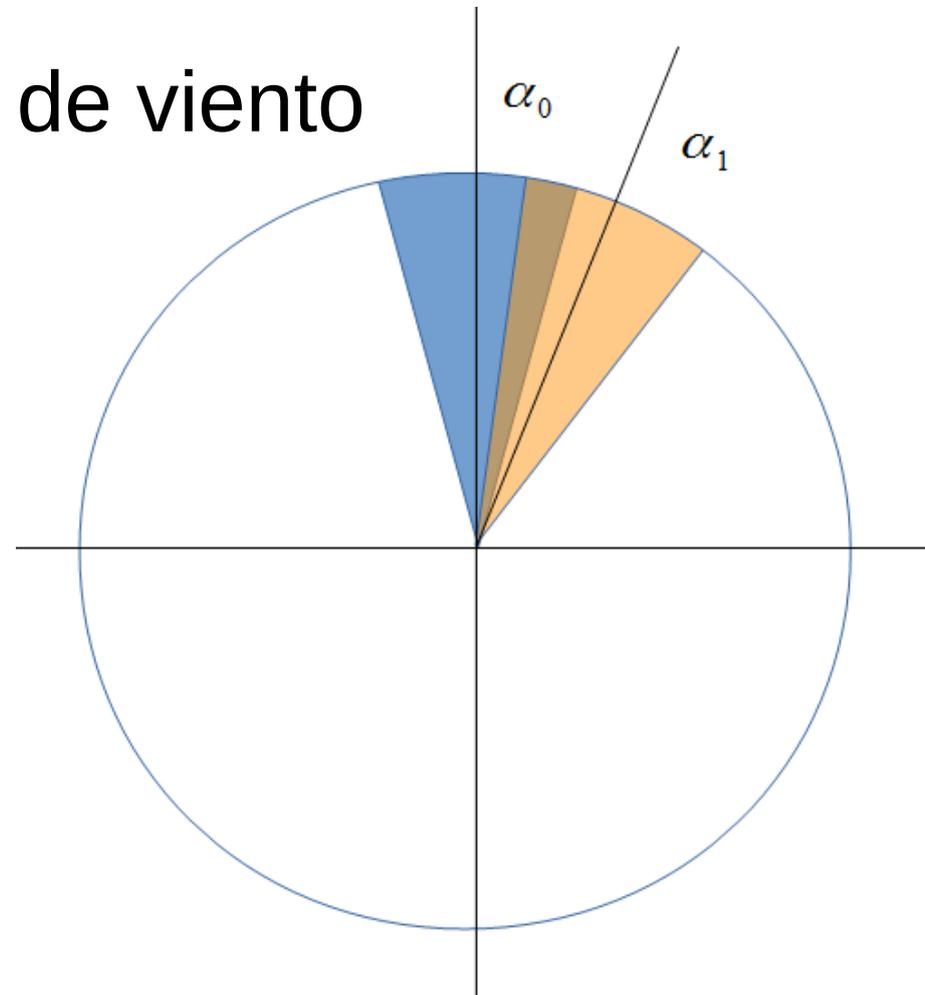
$$P_E = f_d \cdot ME(P_v, \alpha, \rho)$$

Depuración de las medidas

$$am_i = \left| (PE_i - fd_i \tilde{ME}(P_{v,i}, \alpha_i, \rho_i)) \right|$$

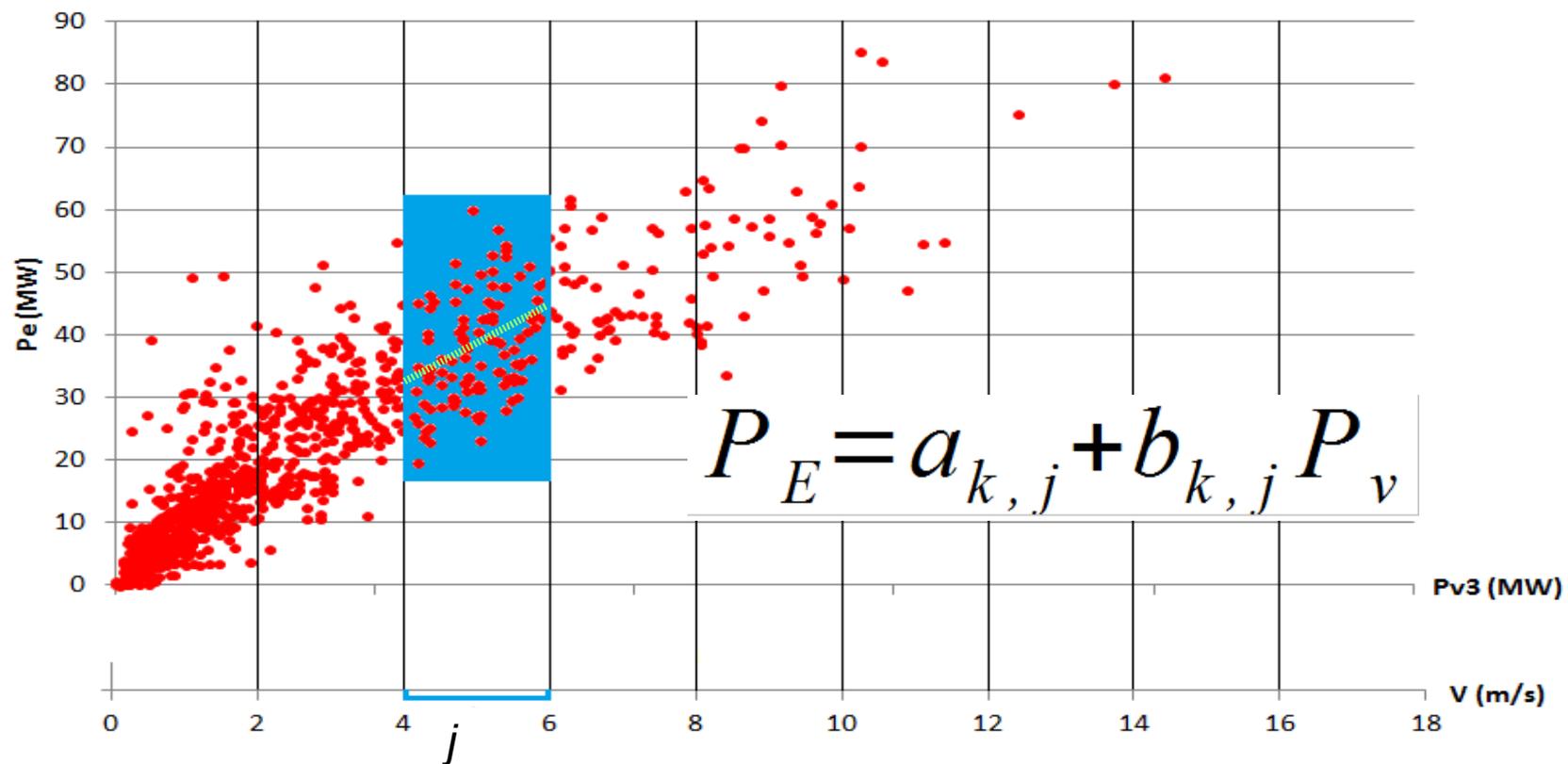
# Procedimiento de obtención del ME

Grupos por dirección de viento

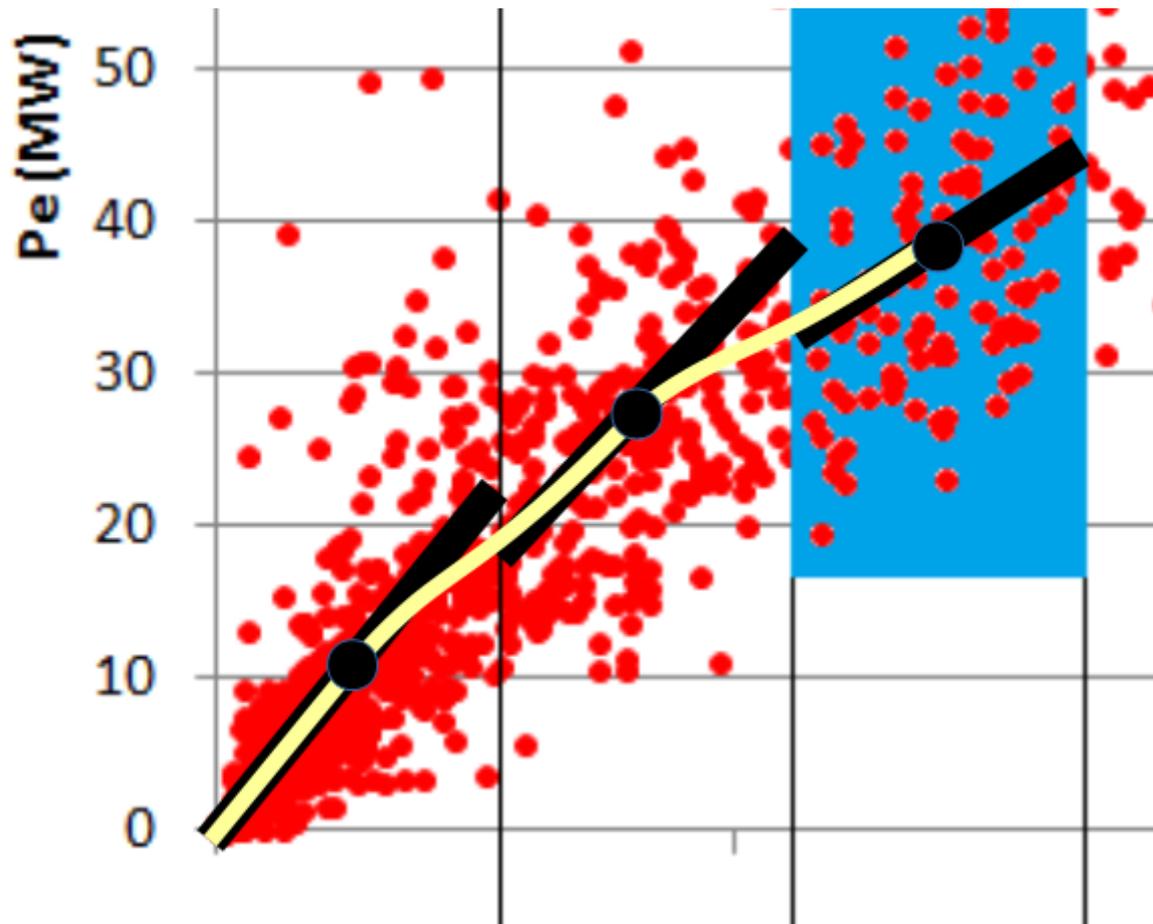


# sub- Grupo por potencia

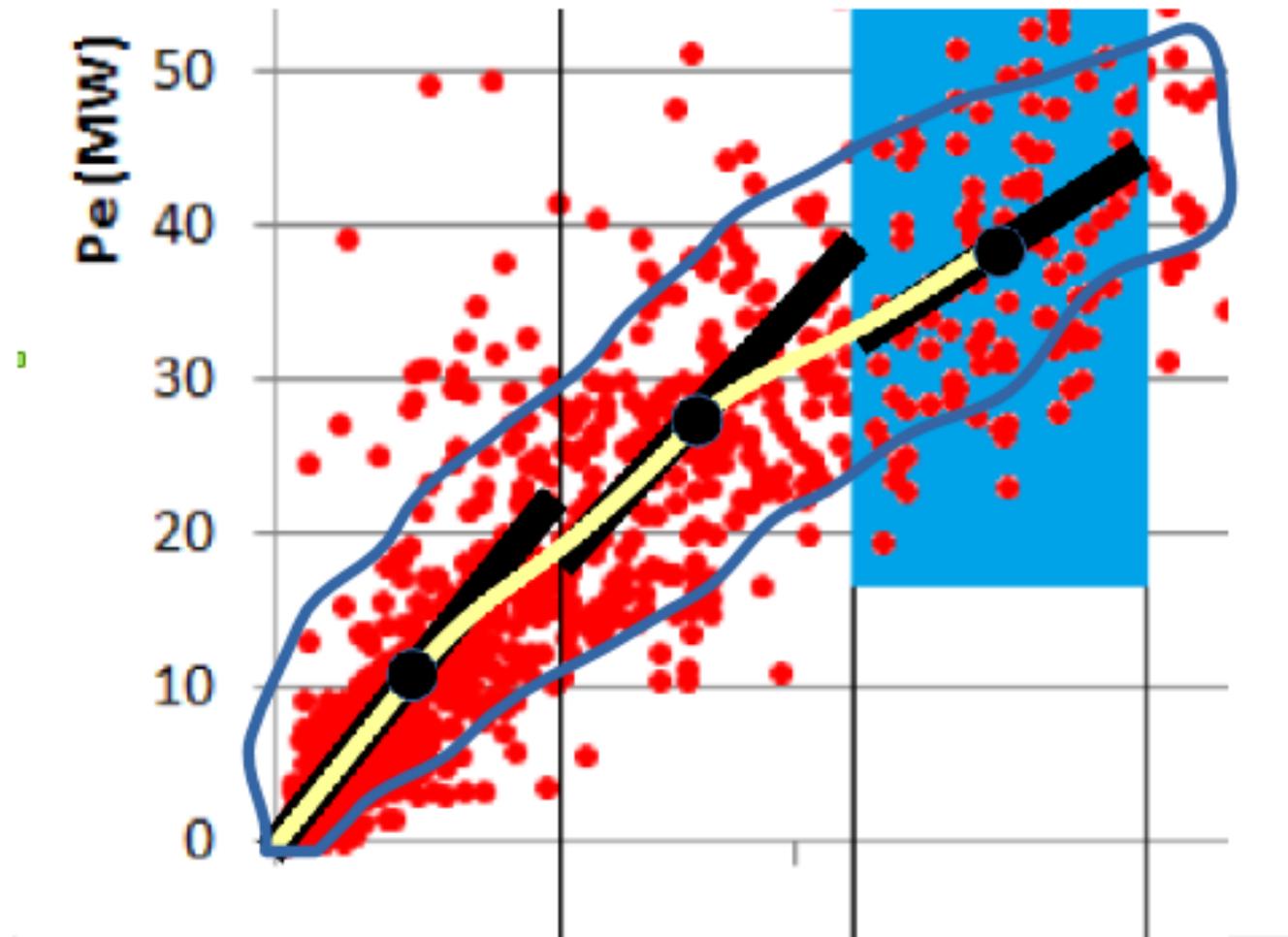
Cálculo del ME Representante de una dirección



# Interpolación de Hermite entre modelos de subgrupos.



# Depuración de las medidas



# Cálculo de la Potencia Eléctrica y Peso del ME

$$P_E = P_E(k) \frac{\alpha_{k+1} - \alpha}{\alpha_{k+1} - \alpha_k} + P_E(k+1) \frac{\alpha - \alpha_k}{\alpha_{k+1} - \alpha_k}$$

$$Peso_k = Peso_{k,j} \cdot u + Peso_{k,j+1} \cdot (1-u)$$

$$Peso = Peso_k \frac{\alpha_{k+1} - \alpha}{\alpha_{k+1} - \alpha_k} + Peso_{k+1} \frac{\alpha - \alpha_k}{\alpha_{k+1} - \alpha_k}$$

# Modelo Teórico

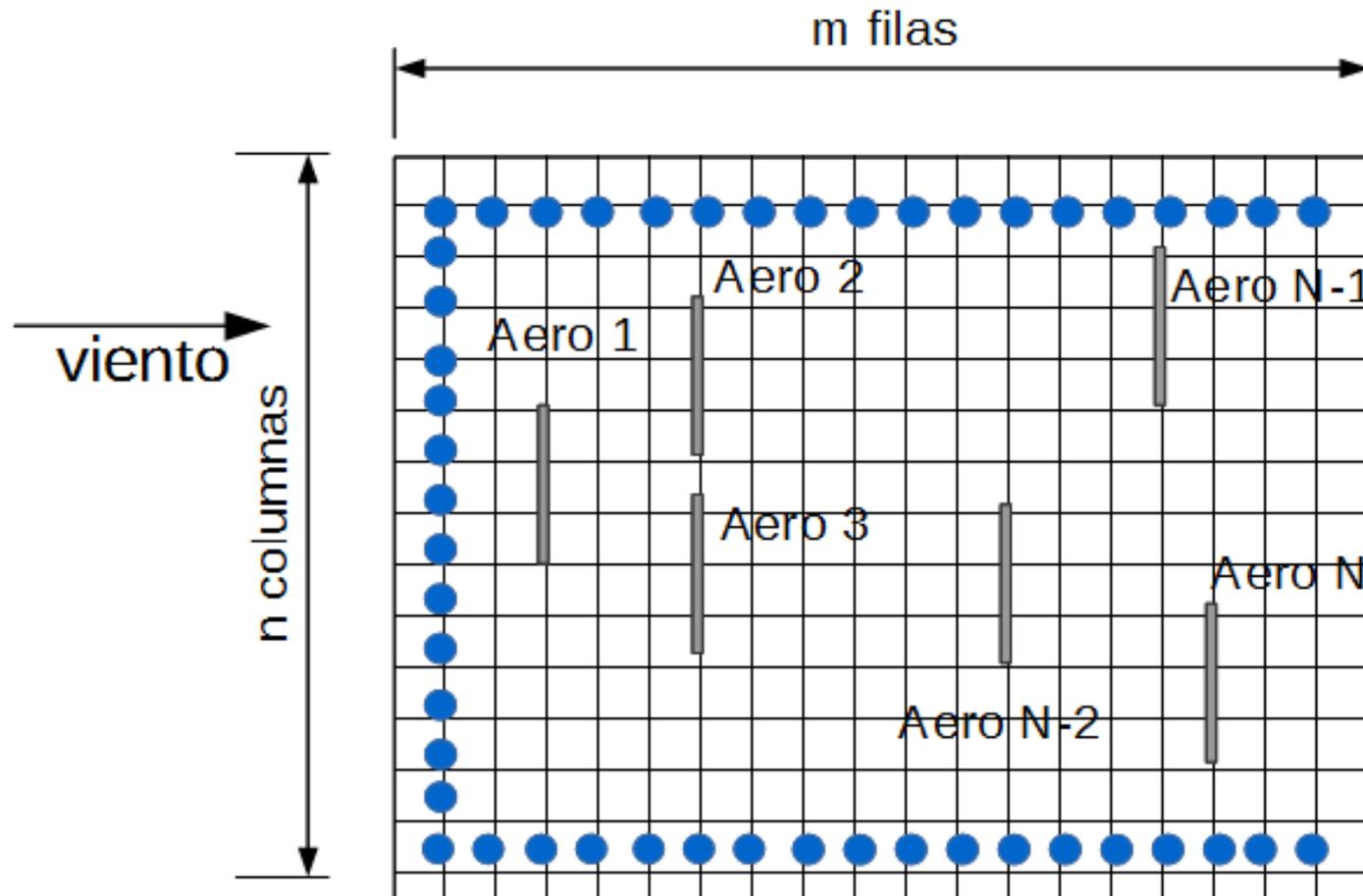
- Aerogeneradores
- Grilla
- Potencia nominal de Parque
- Límite de Potencia
- Factor de Pérdidas

# PARÁMETROS DE AJUSTE DEL MT

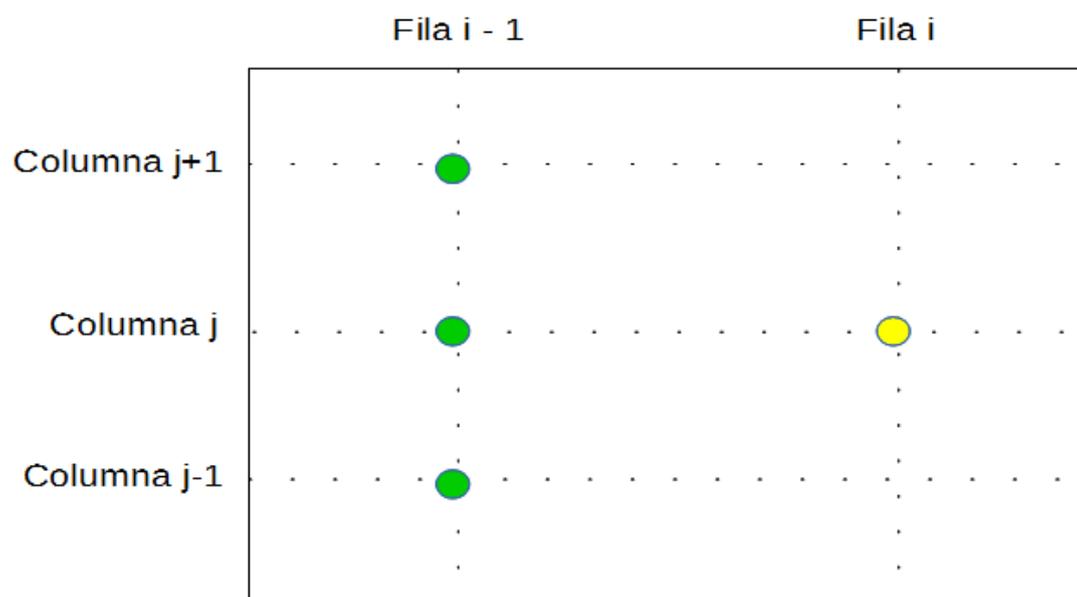
- $\gamma_{atmosfera}$  : Velocidad de mezcla vertical.
- $\alpha_{terreno}$  : Velocidad de mezcla horizontal.
- $f_{pvPe}$  : Factor entre la potencia extraíble del viento y la potencia eléctrica entregada por el aerogenerador.
- $\eta_{EM}$  : Relación entre la Potencia de Viento en la EM y la Potencia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

# Cálculo de la potencia generada por la central eólica

condiciones de borde de la grilla del parque



# Cálculo de la potencia del viento



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

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

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

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

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

# Cálculo de la potencia del viento afectada por aerogeneradores

$$P_{E/m2}^k = \frac{P_E (P v_{prom}^i \cdot \eta_k) \cdot \omega(\rho) \cdot relRed}{\pi \times D^2 / 4}$$

$$\omega(\rho) = \frac{(1 - e^{-2.17 \rho})}{(1 - e^{-2.17 \rho_{Base}})}$$

$$r = \frac{P v_{prom}^{inicial} - P_{E/m2} \cdot f_{pv3Pe}}{P v_{prom}^{inicial}}$$

$$P v_{i,j}^{afectada} = r \cdot P v_{i,j}^{inicial}$$

# Cálculo de la potencia total generada por el parque

$$P_A = \sum_{k=1}^{NroAeros} P_E (Pv_{prom}^k \cdot \eta_k) \omega(\rho) relRed_{h-1}$$

$$P_T = P_A - k_{perdidas} \times P_A^2$$

$$k_{perdidas} = \frac{FP(1-FP)}{P_N}$$

$$RelRed_h = \frac{Limite de Potencia}{P_T} \cdot RelRed_{h-1}$$

# Verificación de Hipótesis inicial de potencia de viento libre

$$c = \frac{Pv_{Anemo}^{DATO}}{Pv_{Anemo}^{MOD}}$$

$$Pv_{libre} = \frac{Pv_{anemo}}{\eta_{EM}}$$

# Calibración del MT

$$C^l = \sum_{i=1}^{NroSectores} \sum_{j=1}^{NroTramos} \{err_{Potencia}^2 + disp_{Velocidad}^2\} Peso[T_j, \alpha_i]$$

# Procedimiento de calibración y aplicación del MT para el cálculo de Restricciones Operativas

- Procedimiento de calibración.
- Factor de ajuste de corto plazo.

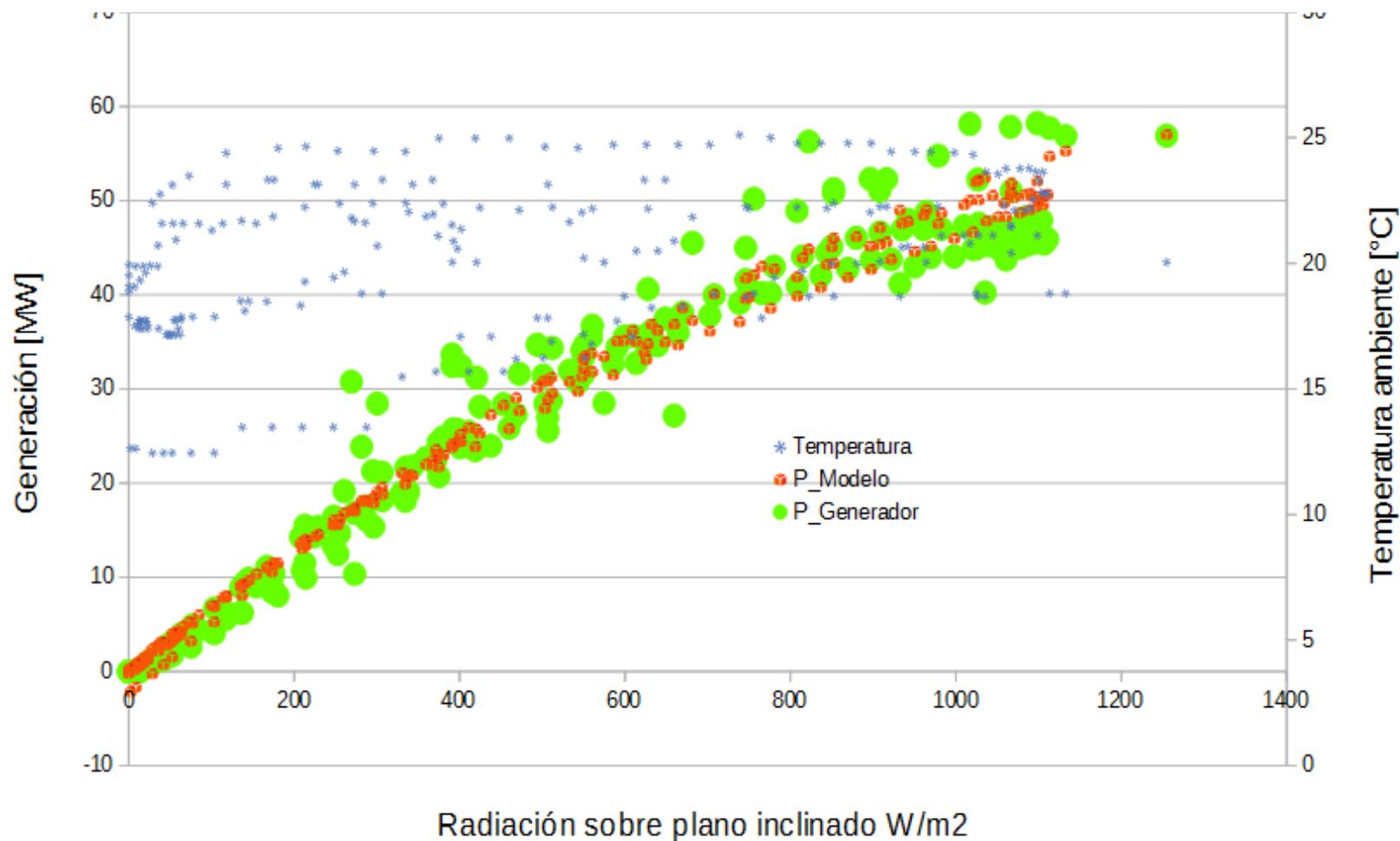
# Modelo de Central generadora solar fotovoltaica

MODELO EMPÍRICO



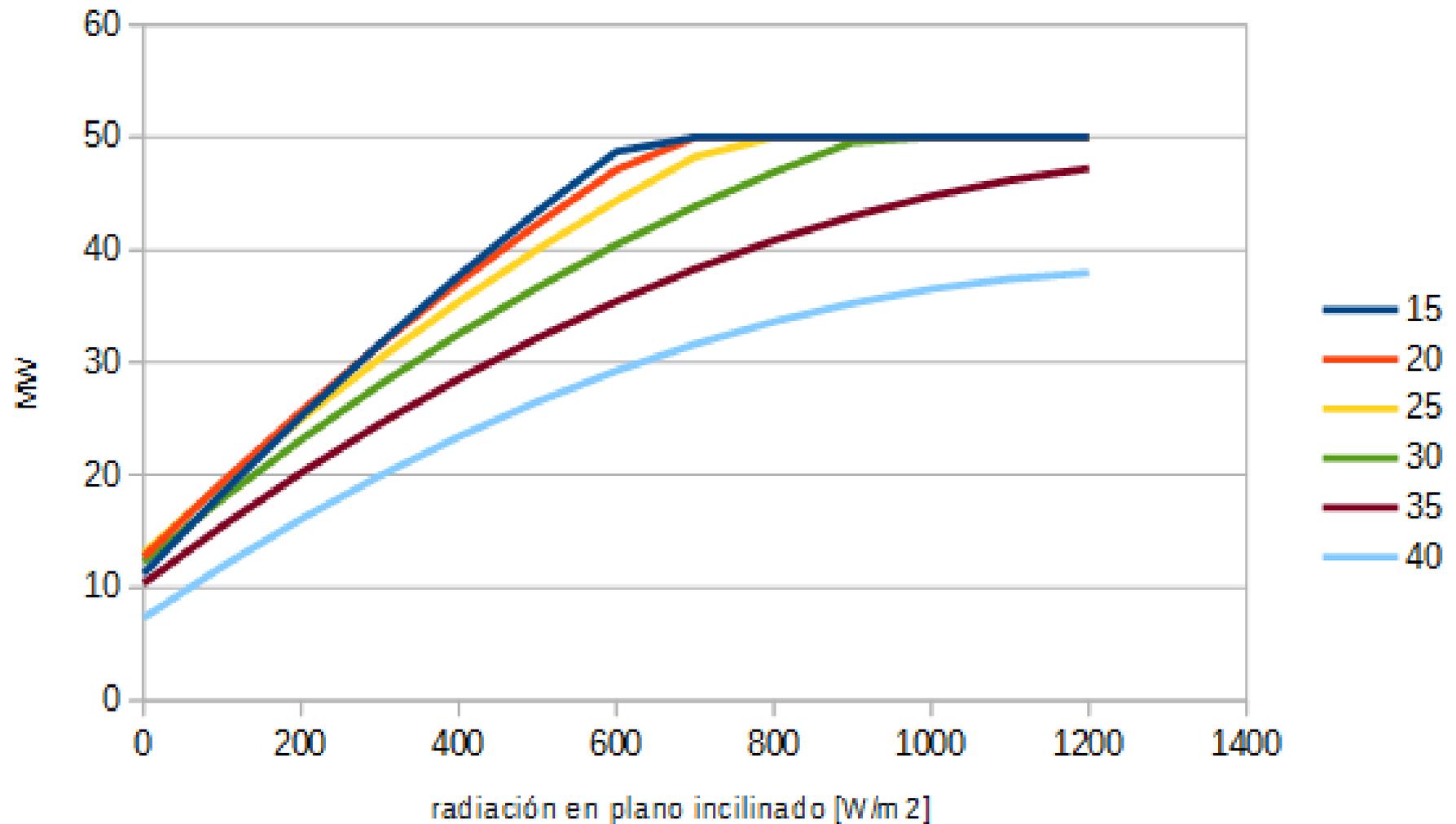
$$P_E(r, T) = c_1 r + c_2 T + c_3 r^2 + c_4 rT + c_5 T^2$$

# Ajuste de modelo de “La Jacinta”



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

# Dependencia de la curva de generación de la planta con la temperatura ambiente



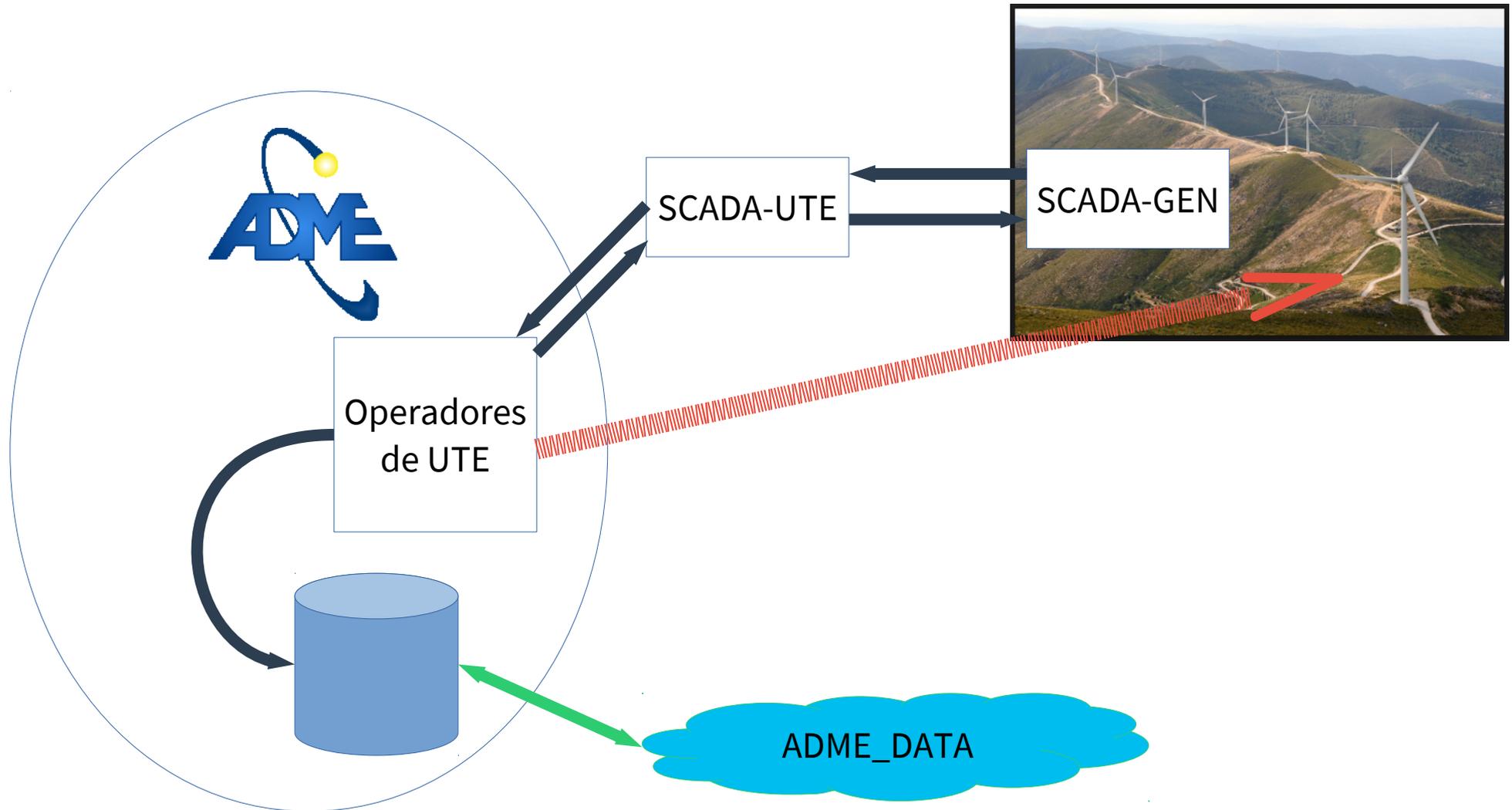
# Juegos de parámetros y filtrado de datos

- Modelado por Grupos de Medidas
- Filtrado de medidas

# Procedimiento de calibración y aplicación del MT para el cálculo de Restricciones Operativas

- Procedimiento de Calibración
- Factor de ajuste de corto plazo

# Consigna de Generación Máxima (CGM)

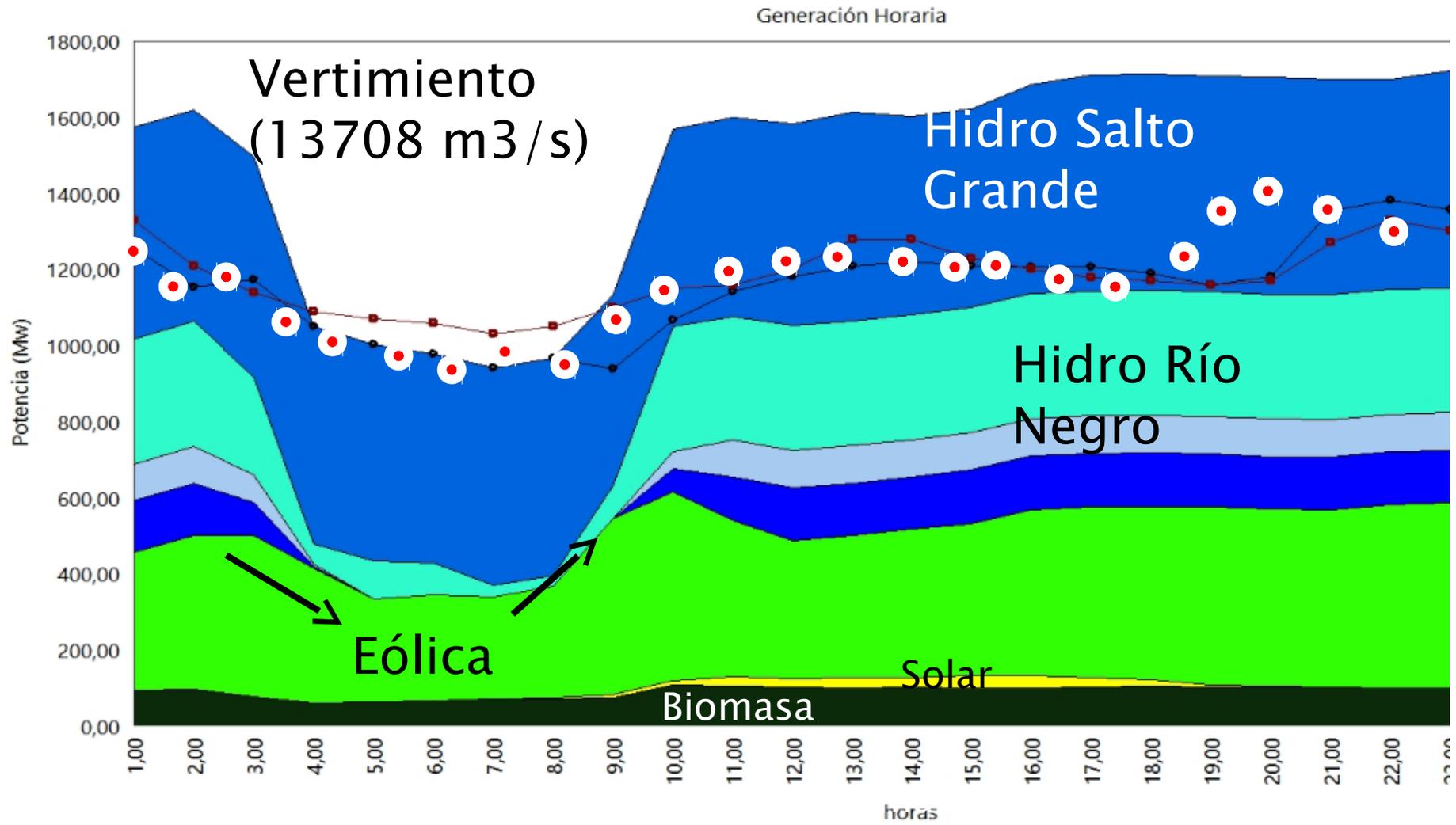


## Procedimiento RO

EL día 13 de enero de 2016 ADME comunica a los Participantes vía el SII del procedimiento.

- **CGM (Consiga de Generación Máxima)**
- **Criterio de Conveniencia Operación Segura del SIN.**
- **Criterio de Despacho Económico.**
- **Disponibilidad de la información.**
- **Modelos de plantas generadoras.**
- **Criterio adicional (FER).**

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

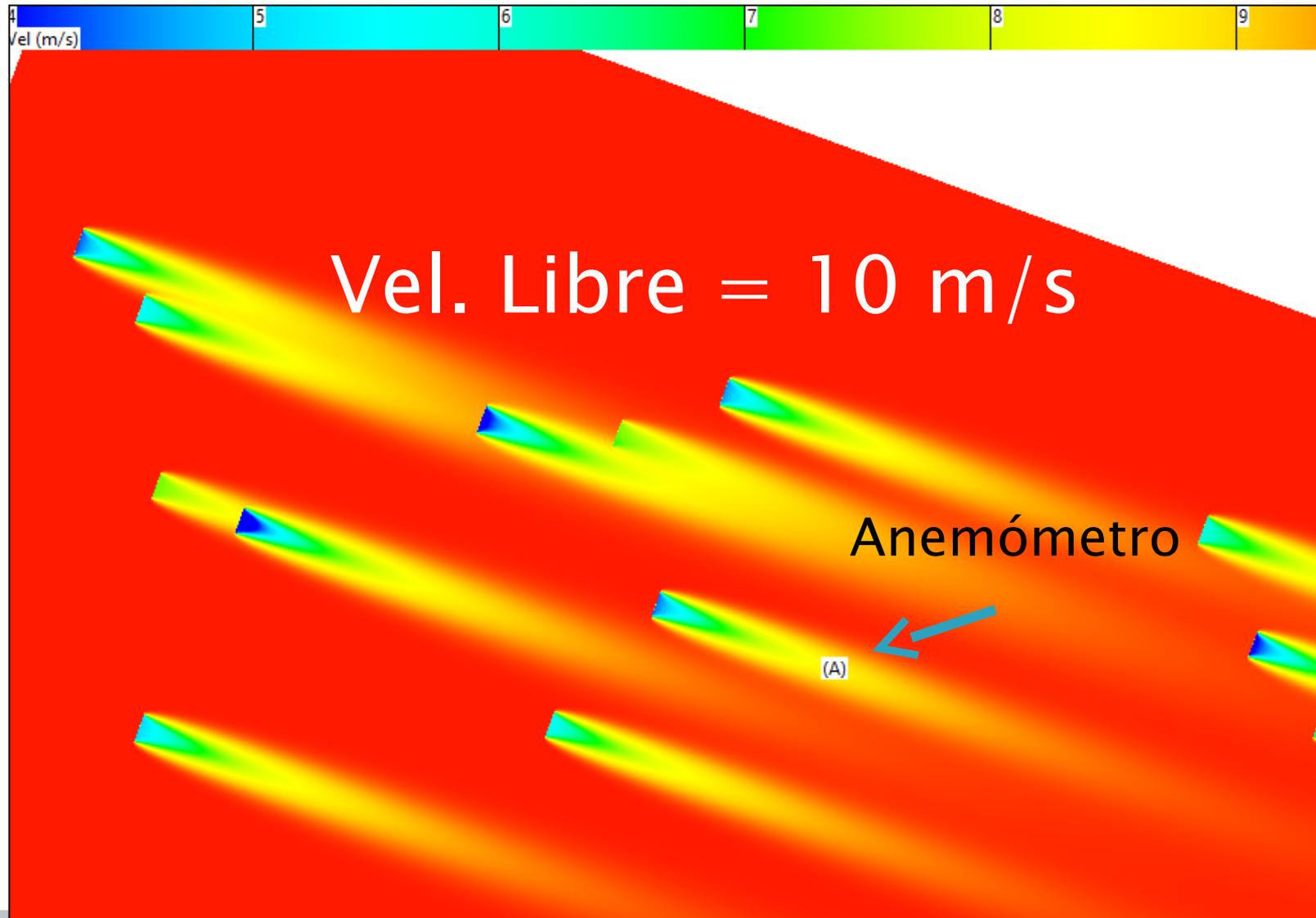


# Metodología (Modelo Teórico)

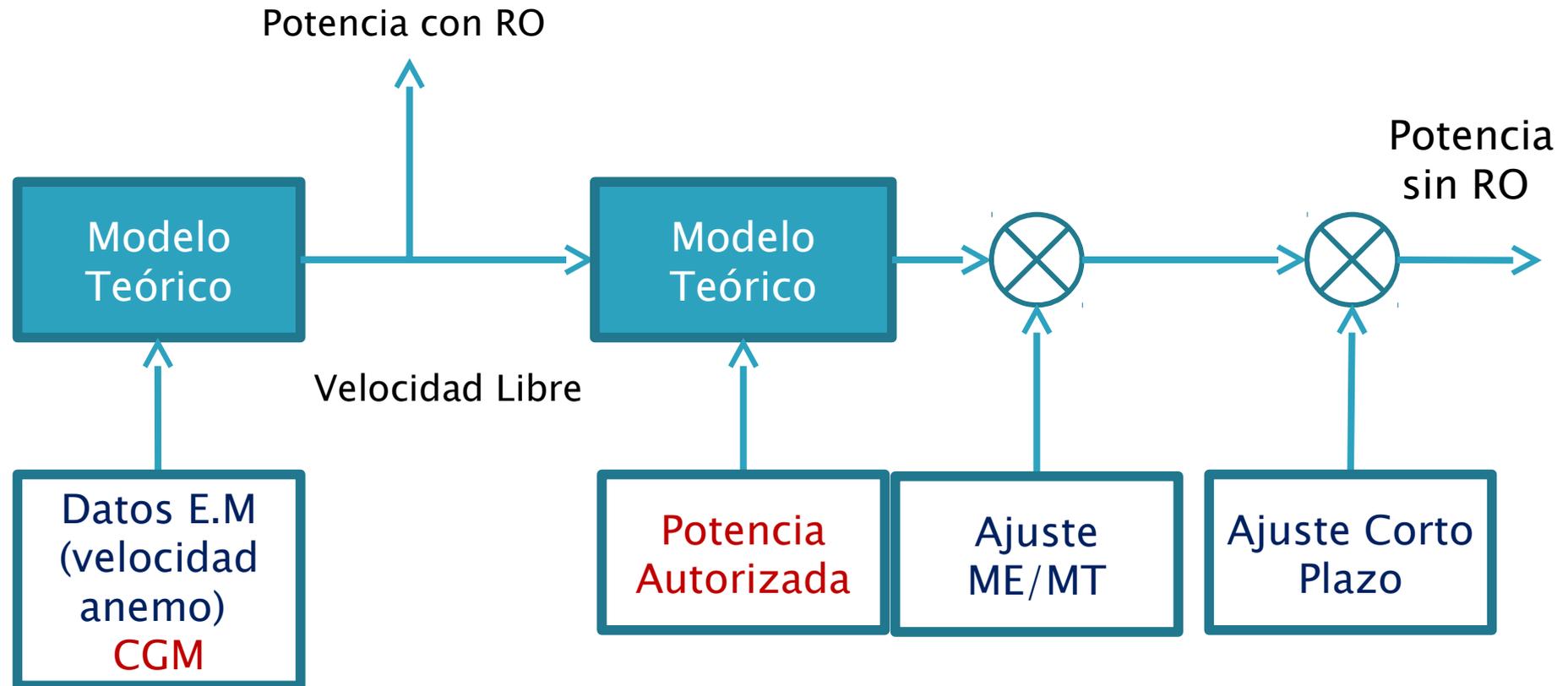


## ¿Por qué el MT?

- ▶ Vel Anemómetro=9 m/s, CGM=42 MW

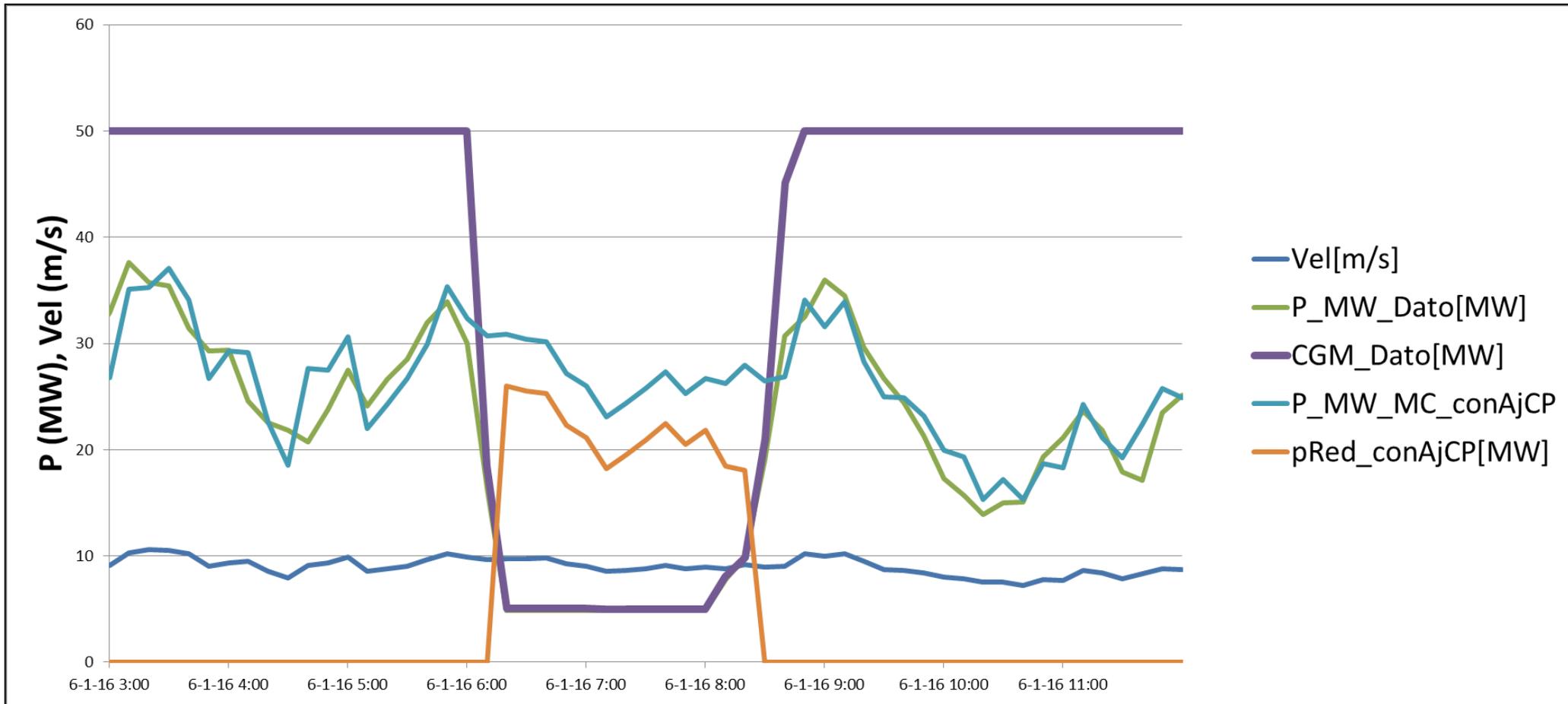


# Modelo Combinado





# Ejemplo (RO 6/1/16)





# **Análisis de producción eólica en función de variables meteorológicas medidas y pronosticadas**

# Punto de partida

- ▶ Datos de generación eólica real
- ▶ Datos meteorológicos medidos por las estaciones de medida (MET) de los parques
- ▶ Potencia estimada en base a modelo ADME\_WindSim para el mismo período
- ▶ Pronósticos meteorológicos para las ubicaciones de los parques estudiados

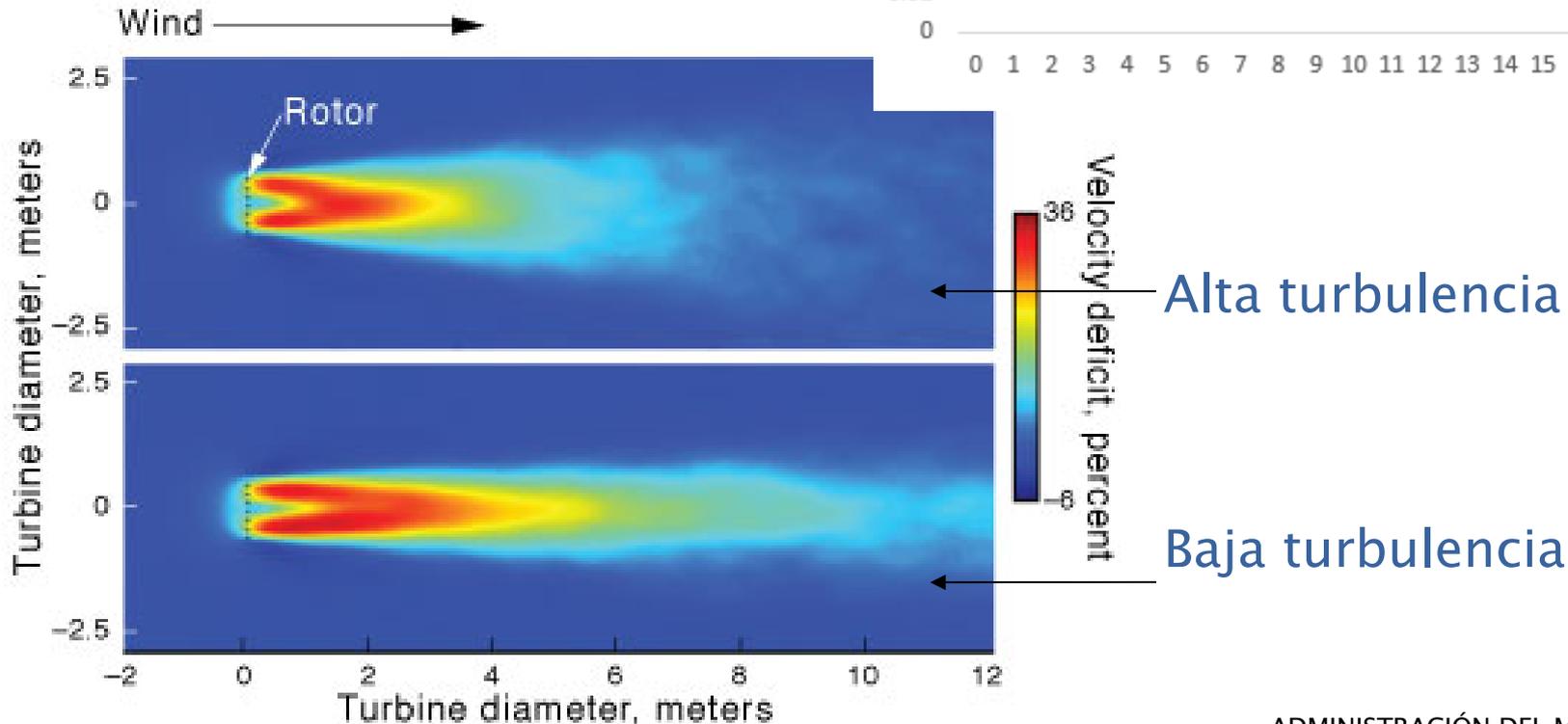
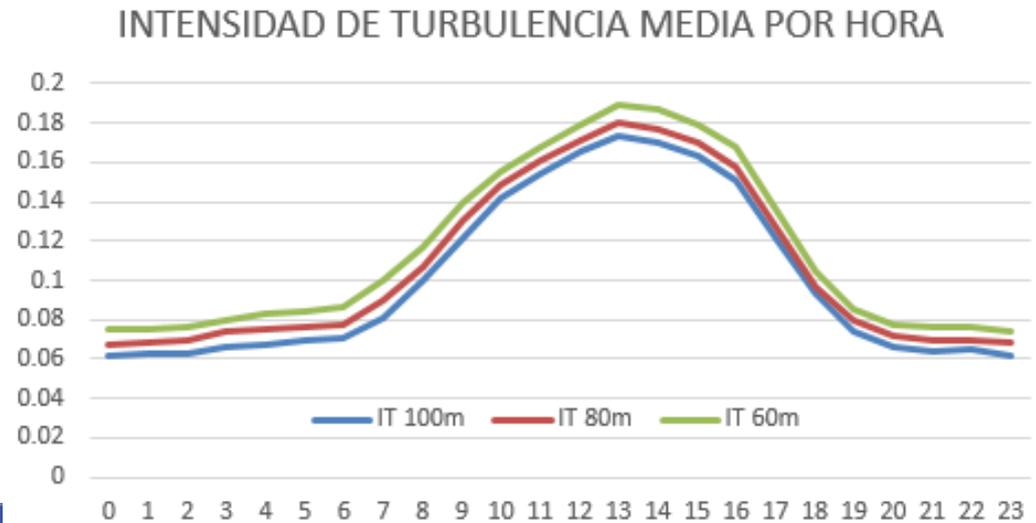
# Análisis realizados

- ▶ Influencia del estado atmosférico sobre la potencia real (aproximación día/noche)
- ▶ Filtrado espacial de velocidad
- ▶ Filtrado dinámico de la velocidad y la potencia
- ▶ Posible aporte de otras variables meteorológicas disponibles en la estimación de la potencia real utilizando el modelo CEGH (Correlaciones en Espacio Gaussiano con Histograma)
- ▶ Análisis de las salidas del modelo ADME\_WindSim enfocado a su potencial uso para pronósticos

# Influencia del estado atmosférico

## → Estelas de AGs

- ▶ Prolongación del efecto estela en eventos de baja turbulencia
- ▶ Asociado a la noche, estado atmosférico estable

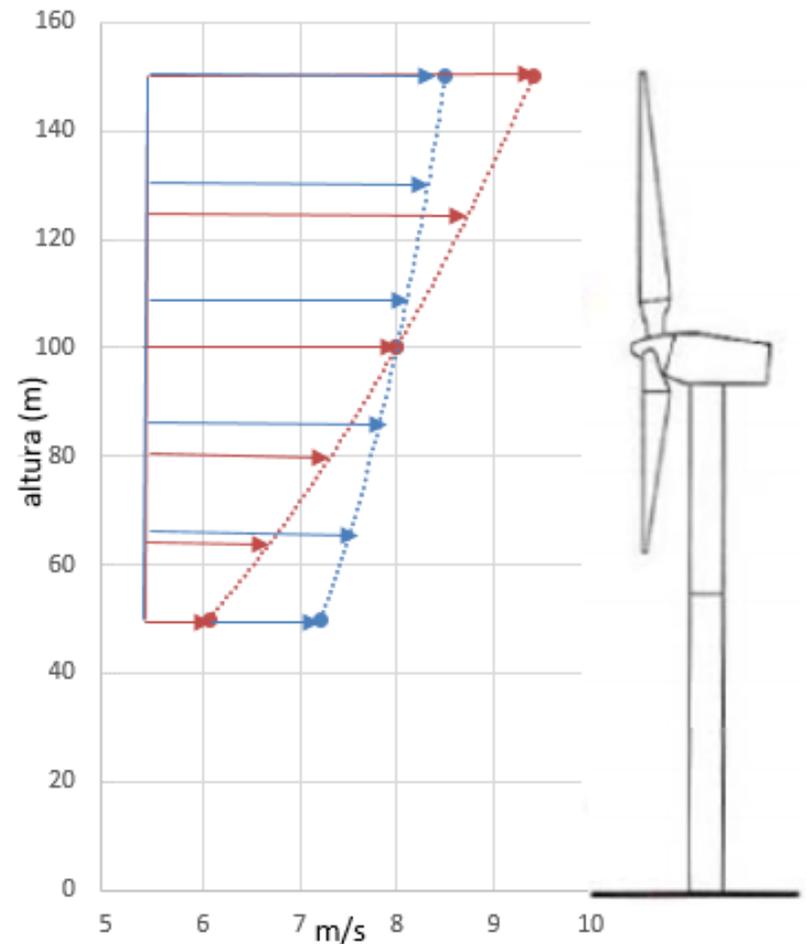
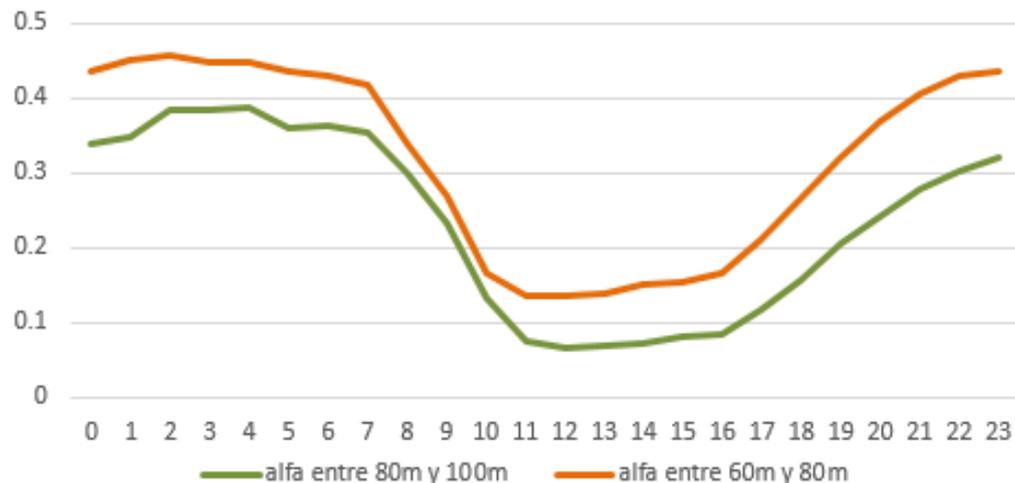


# Influencia del estado atmosférico

## → Perfil vertical

- ▶ Profundización del gradiente de velocidades visto por el aerogenerador
- ▶ Asociado a la noche, estado atmosférico estable

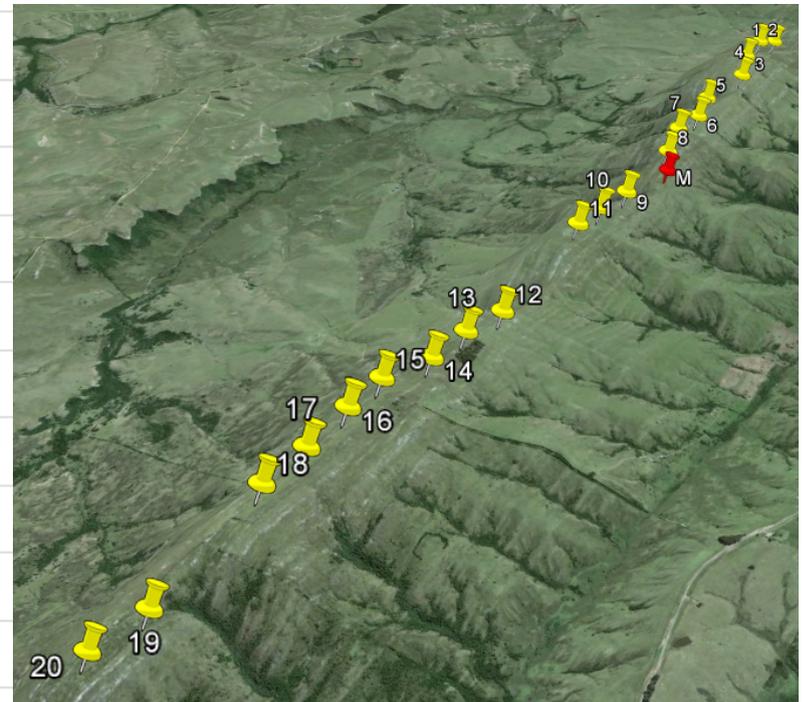
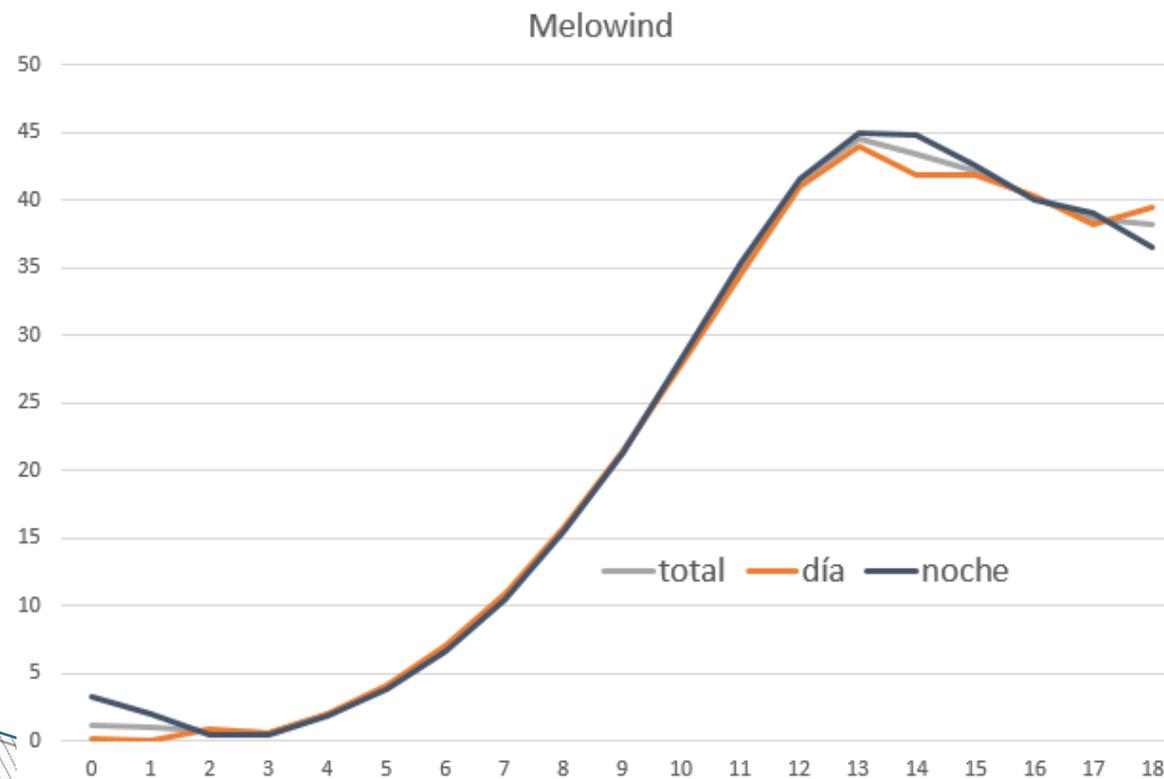
Alfa promedio por hora del día entre distintas altura de medición



# Influencia del estado atmosférico

## → Curva de parque 1

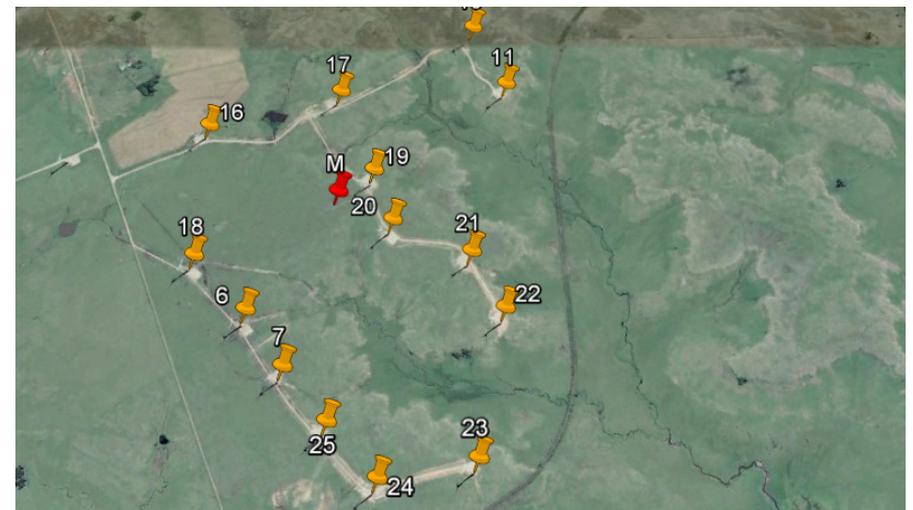
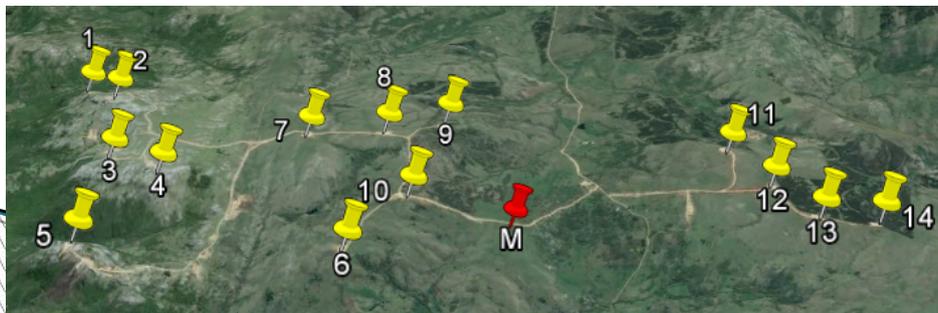
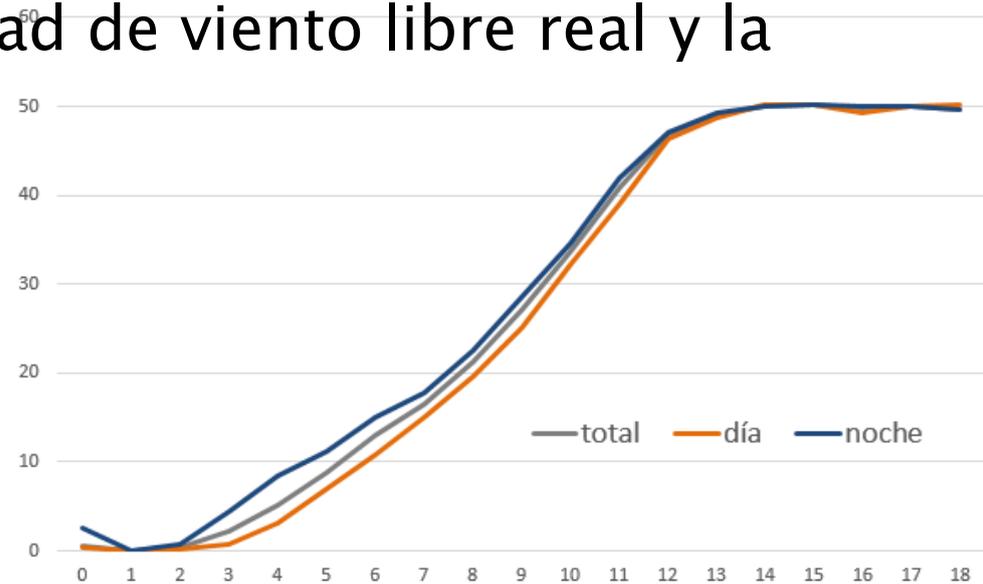
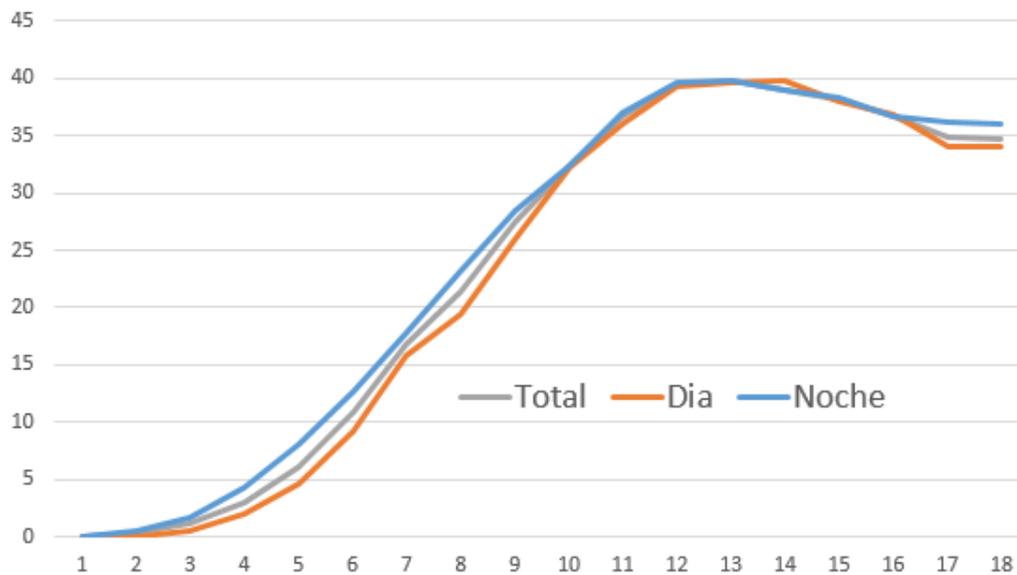
- Potencia real vs Velocidad MET
- MET con baja afectación por estelas de AG
- Resultado esperado según bibliografía



# Influencia del estado atmosférico

## → Curva de parque 2

- MET afectada por la presencia del parque
- Discrepancias entre la velocidad de viento libre real y la medida en MET



# Influencia del estado atmosférico

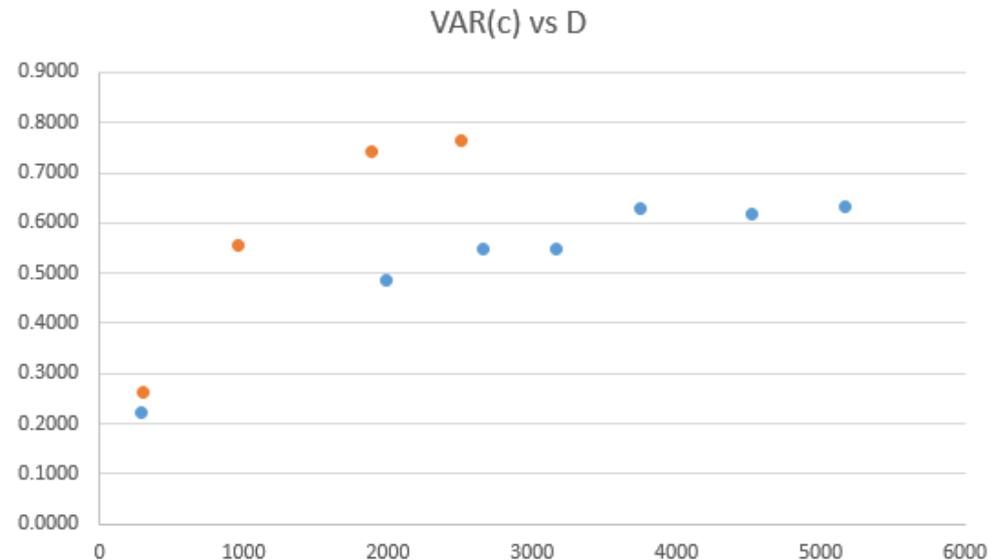
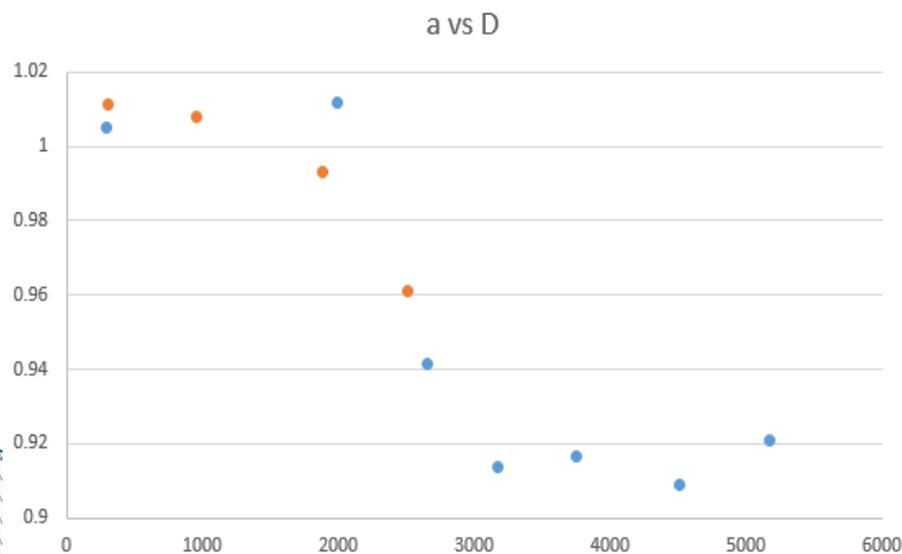
## → Conclusión 1 – afectación MET

- ▶ La afectación de la velocidad medida en MET debido a los diferentes niveles de turbulencia día/noche es mas influyente sobre los resultados que la afectación de la eficiencia en la generación potencia
- ▶ Mejoras ADME\_WindSim:
  - Introducción de corrección por IT en las iteraciones entre velocidad MET y velocidad libre
  - Para pronósticos se descarta opción de correlación de PRONOS con MET. Se modela con PRONOS como viento libre sin considerar MET.

# Filtrado espacial de la velocidad

Se estudiaron dos casos particulares de grupos de AGS en torno a una MET sin afectación por estelas:

- ▶ Función de transferencia  $\rightarrow V_{aero} = a * V_{anemo} + b + \text{error}(c)$
- ▶  $R^2$  de la correlación  $> 0,85$
- ▶ Dos casos  $\rightarrow$  importancia de la buena exposición de la torre
- ▶ La varianza del error se mantiene estable a partir de los 4km



# Filtrado espacial de la velocidad

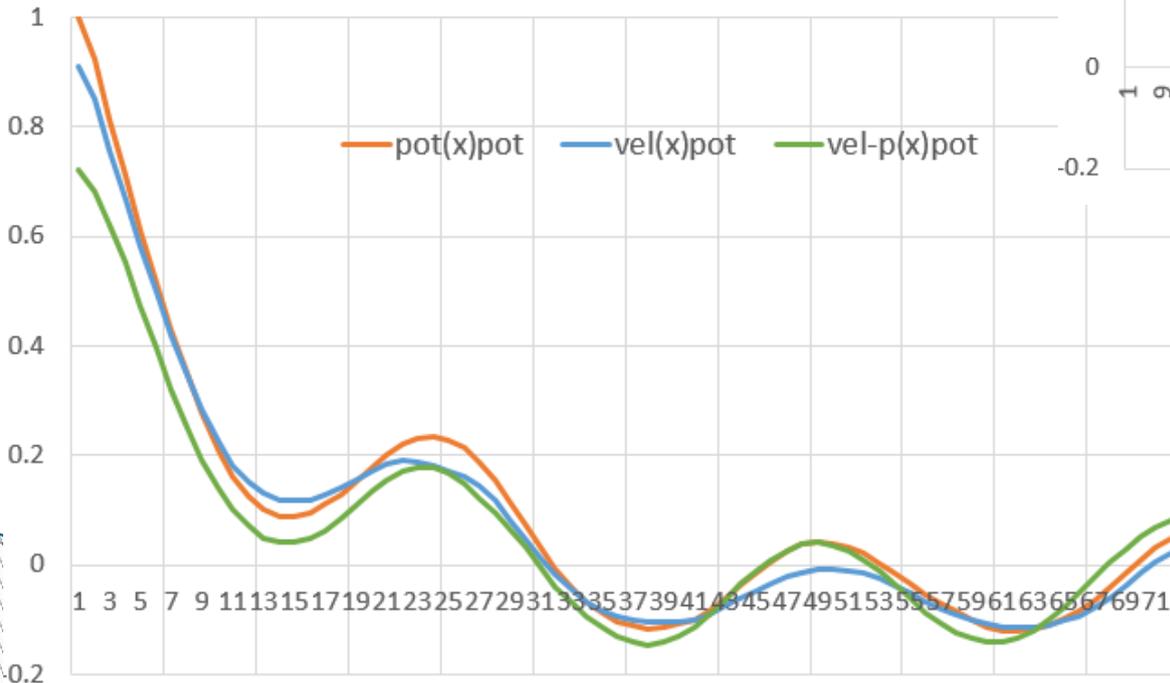
## → Conclusión 2 - limitaciones MET

- ▶ La velocidad medida en MET puede ser un indicador muy pobre de la velocidad realmente vista por los Ags, incluso en direcciones no afectadas por estelas.

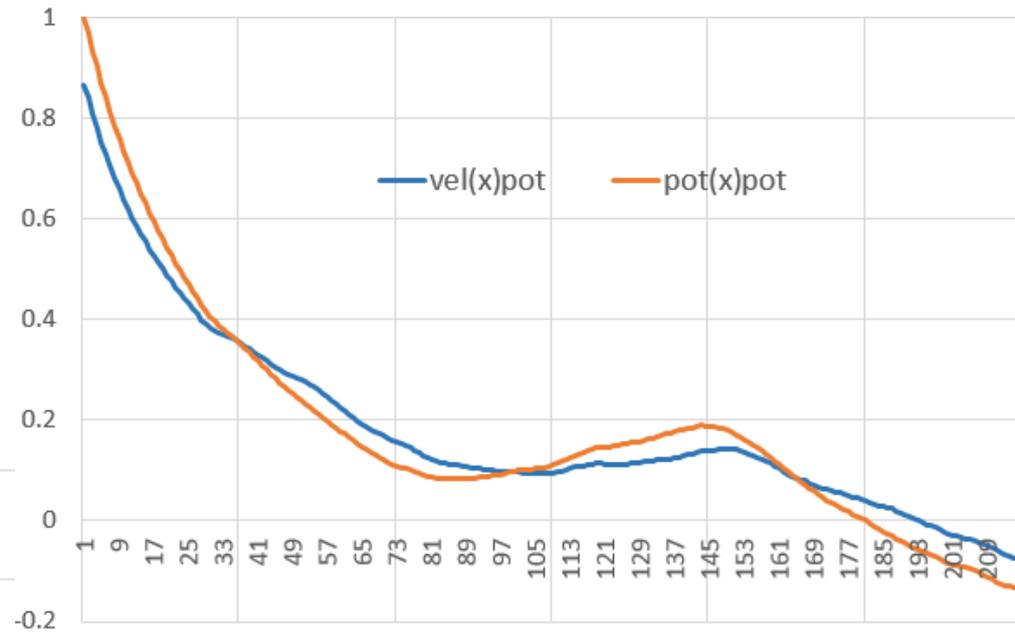
# Filtrado dinámico

- Procesos con muy alta inercia
- Reducción del error en las potencias estimadas (CEGH) es muy significativa si se agrega información del paso anterior.

Covarianzas de la Potencia - paso horario



Covarianzas de la Potencia - paso 10min



Representación de la dinámica:

Paso horario:  
 $0.6 \cdot \text{vel}(t) + 0.4 \cdot \text{pot}(t-1)$

Paso 10min:  
 $0.2 \cdot \text{vel}(t) + 0.8 \cdot \text{pot}(t-1)$

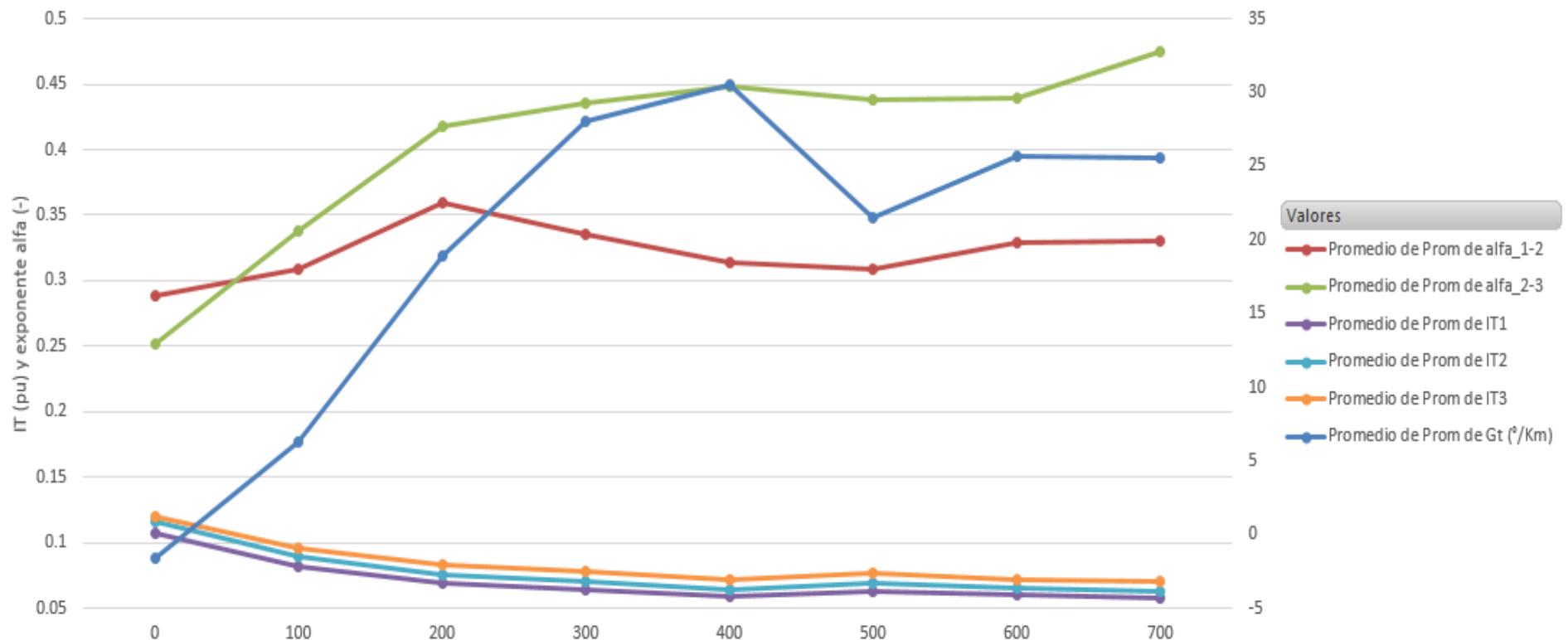
# Filtrado dinámico

## → Conclusión 3 – memoria CP

- ▶ Fuerte incidencia en los resultados del modelo de la memoria de corto plazo de la potencia
- ▶ Mejoras ADME\_WindSim:
  - Introducción del filtrado dinámico de velocidad y potencia según paso de tiempo correspondiente
  - Para pronósticos es muy importante la realimentación de corto plazo con la potencia real (observar menor covarianza vel pronos – POT).

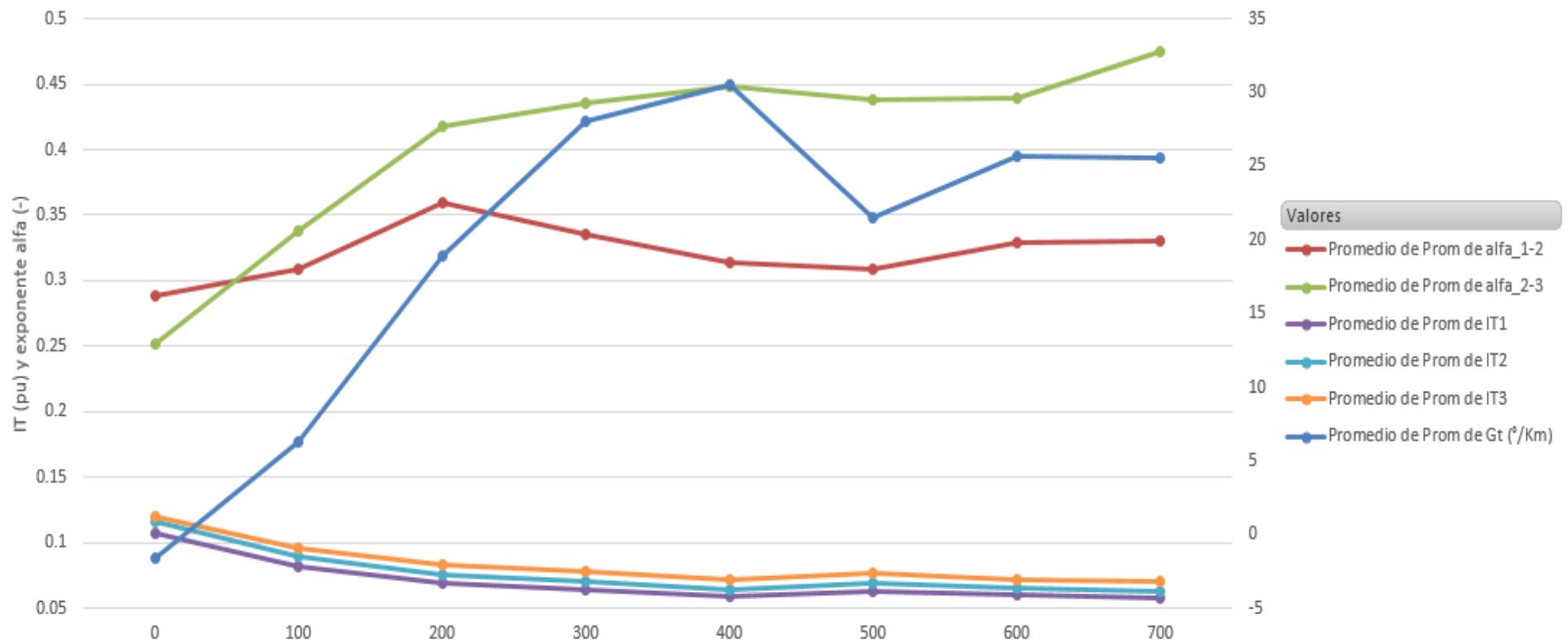
# Aporte de otras variables meteo

promedios de las variables indicadoras del estado atmosférico durante la noche, en función de la radiación media del día anterior.



# Aporte de otras variables meteo

promedios de las variables indicadoras del estado atmosférico durante la noche, en función de la radiación media del día anterior.

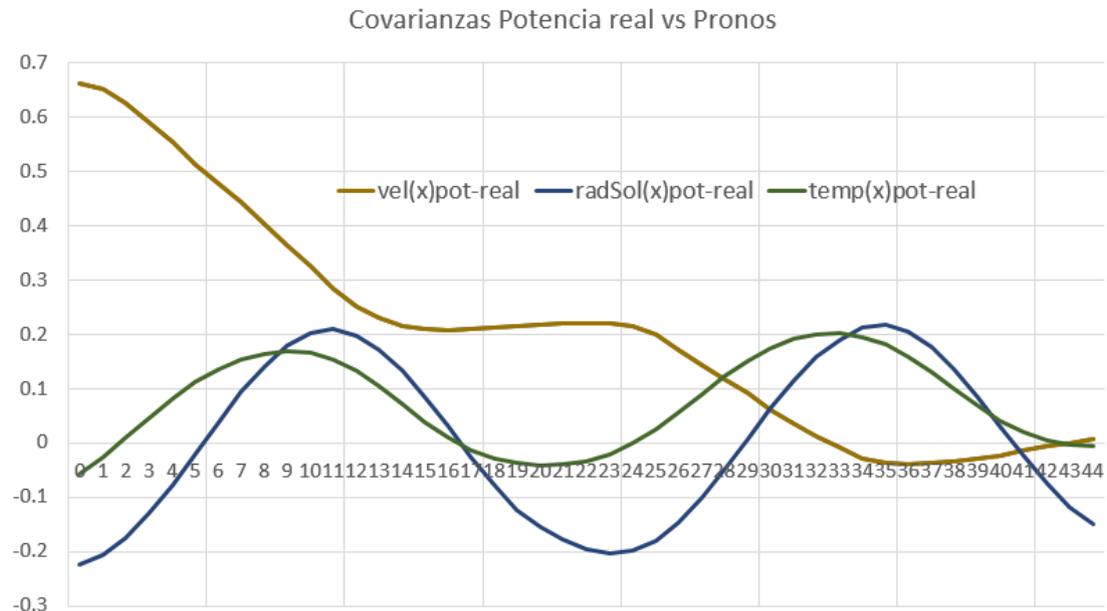


# Aporte de otras variables meteo

## → PRONOS

- ▶ No se dispone de Intensidad de Turbulencia
- ▶ Se reduce el aporte de la separación por hora
- ▶ Radiación y Temperatura realizan un aporte no despreciable a la mejora de la estimación de la potencia

(adicional al que podría considerarse incluido en el cálculo de la densidad pronosticada)

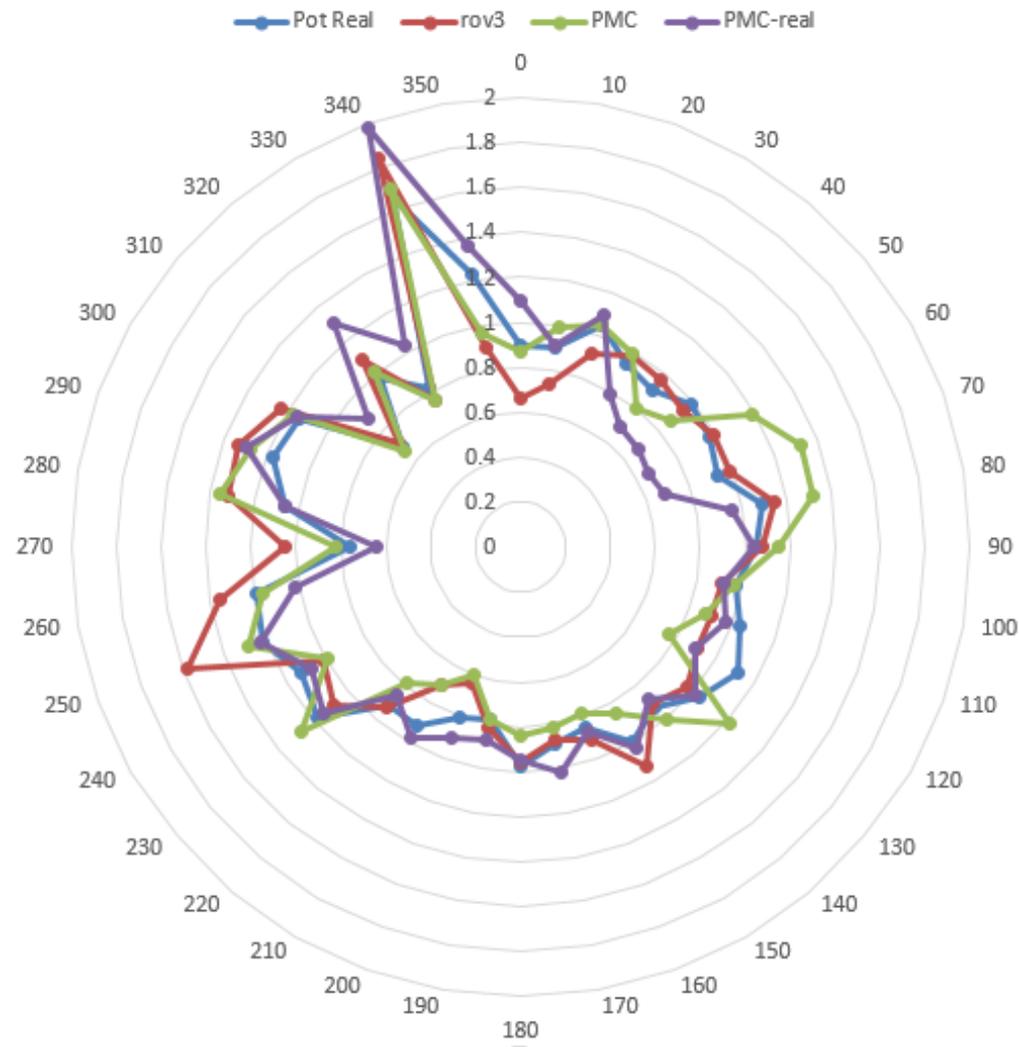


# Aporte de otras variables meteo

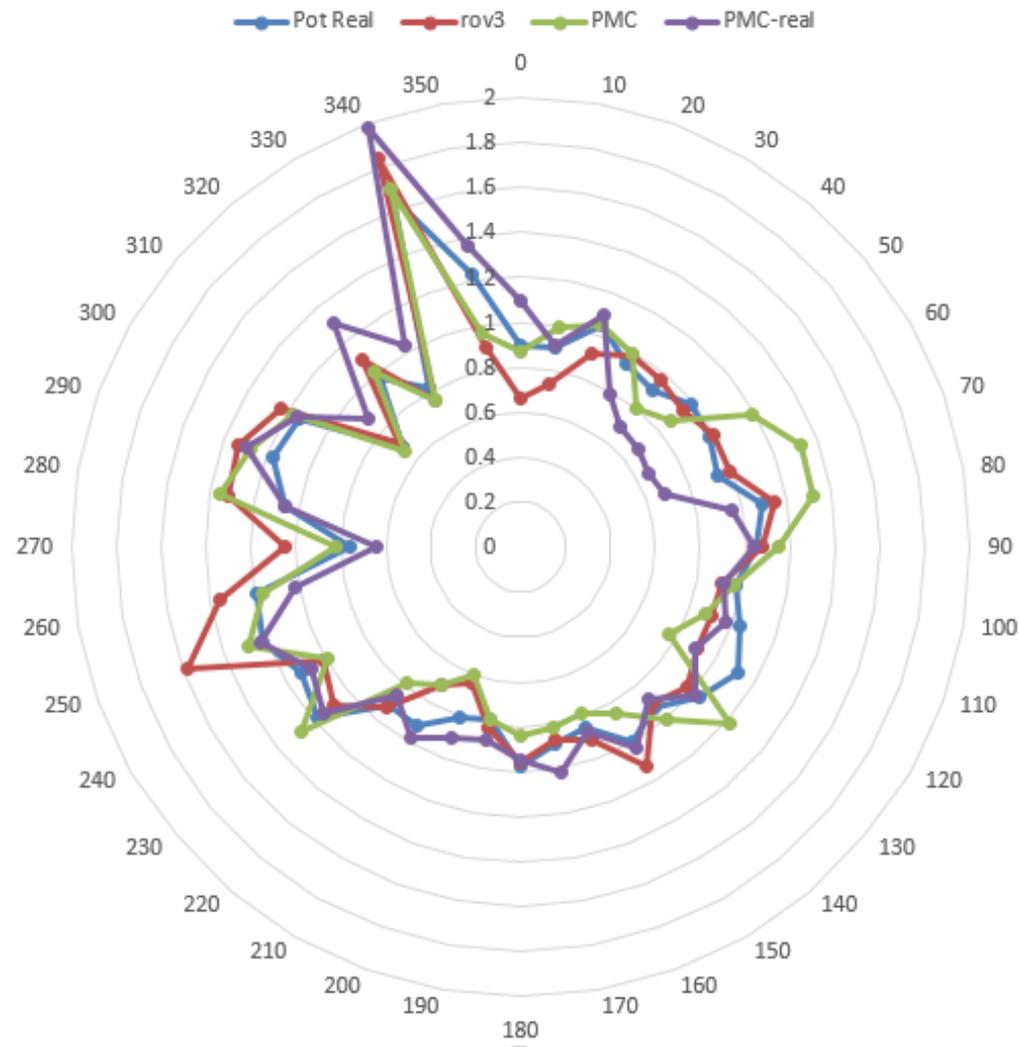
## → Conclusión 4

- ▶ Si bien se detecta posible influencia positiva del aporte de las variables evaluadas, es necesario reevaluar luego de introducir correcciones por dinámica del proceso.
- ▶ Ciclo diario pierde relevancia comparativa al utilizar PRONOS respecto de modelado con datos MET → influencia del horario sobre iteración MET-viento libre
- ▶ La dinámica de PRONOS es mucho peor que la realidad → mayor necesidad aún de corrección de corto plazo.

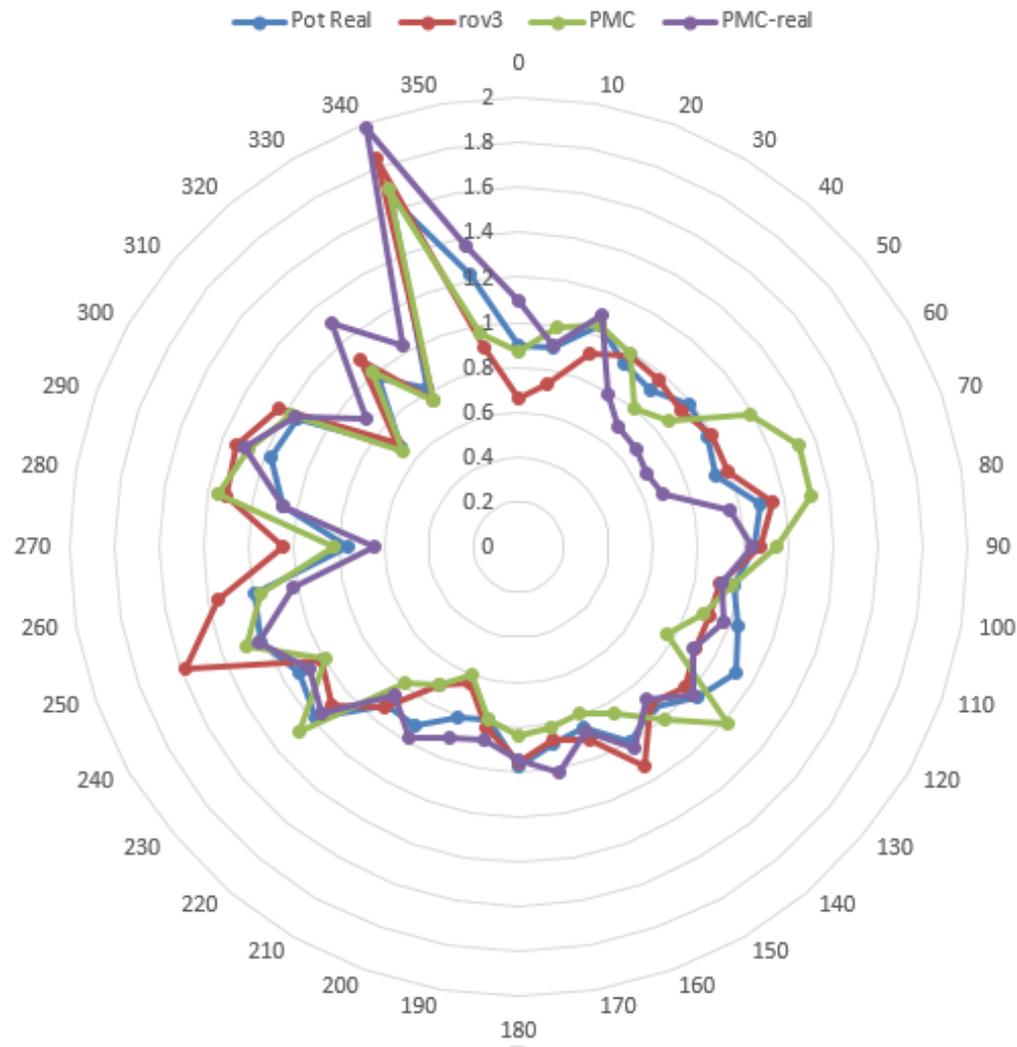
# Salidas modelo ADME\_WindSim



# Salidas modelo ADME\_WindSim



# Salidas modelo ADME\_WindSim



# Conclusiones

- ▶ A seguir trabajando!



- ▶ Muchas gracias por su atención!