



## **Pronóstico de la producción por ERV**

Metodología y estadísticas

**Dr.-Ing. Matthias Müller-Mienack**

**Director del Departamento de Estudios e Investigación**

**Cochabamba, 15 de Noviembre del 2017**

# Contenido

1. Estadísticas para el pronóstico de ER
2. Pronóstico de generación eólica
3. Pronóstico de generación solar
4. Propósitos diversos de los pronósticos combinados para ERV

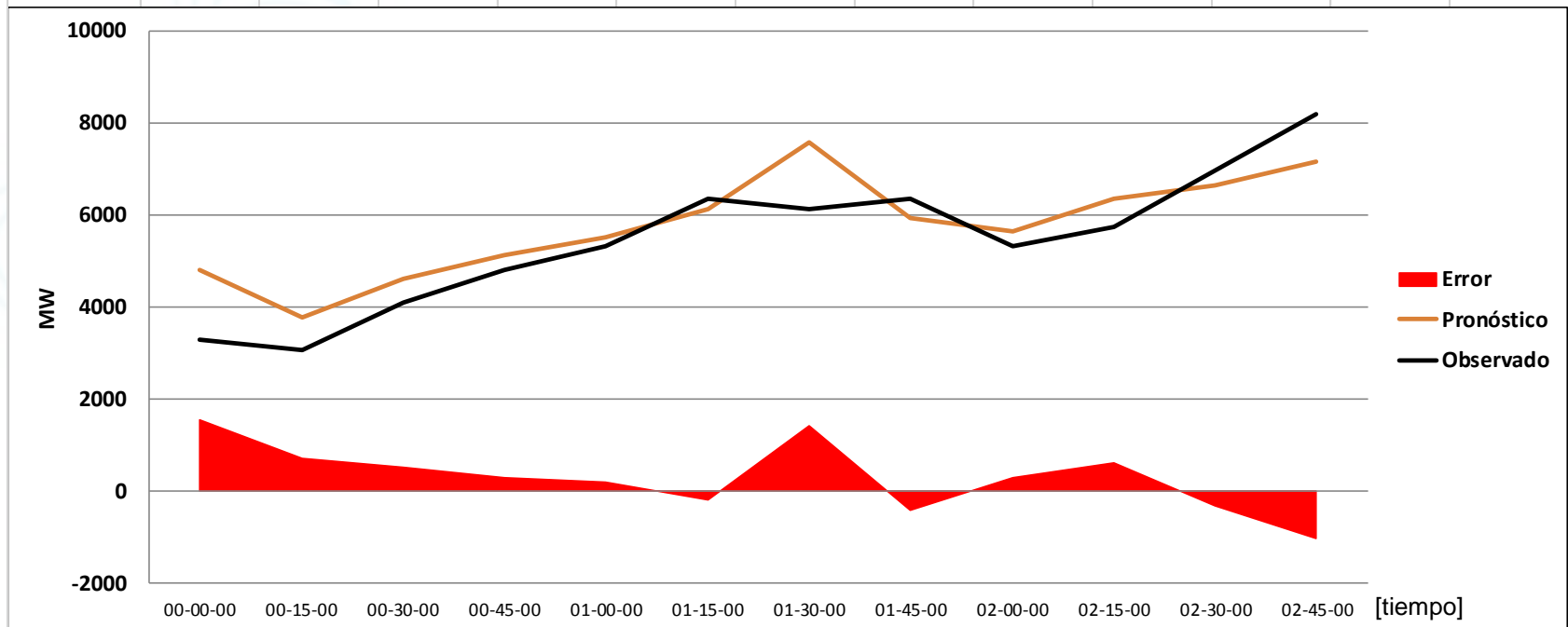
# 1. Estadísticas para el pronóstico de ER

GRIDLAB

# Estadísticas para el pronóstico de ER

## Cálculo de la raíz del error cuadrático de la media (RMSE)

Tiempo	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45
Pronóstico	4811	3788	4606	5118	5528	6142	7575	5937	5630	6347	6654	7166
Observado	3276	3071	4095	4811	5323	6347	6142	6347	5323	5732	6961	8189
Error	1535	717	512	307	205	-205	1433	-409	307	614	-307	-1024



<b>RMSE = 771,7 MW</b>	<b>nRMSE = 14,1%</b>	<b>RMSE relacionado a la potencia eólica del área ( 13 GW) = 5,9%</b>
------------------------	----------------------	---

Fórmula:  
 $V(\sum_{i=1...n} (\text{Pron. } i - \text{Observ. } i)^2/n)$

Fórmula:  
 $\text{RMSE} / \bar{\phi} (\text{Observado})$

Fórmula:  
 $\text{RMSE} / \text{potencia eólica instalada del área considerada}$

# Estadísticas para el pronóstico de ER

## Cálculo de la raíz del error cuadrático de la media (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n [(pronóstico(i) - observado(i))^2]}$$

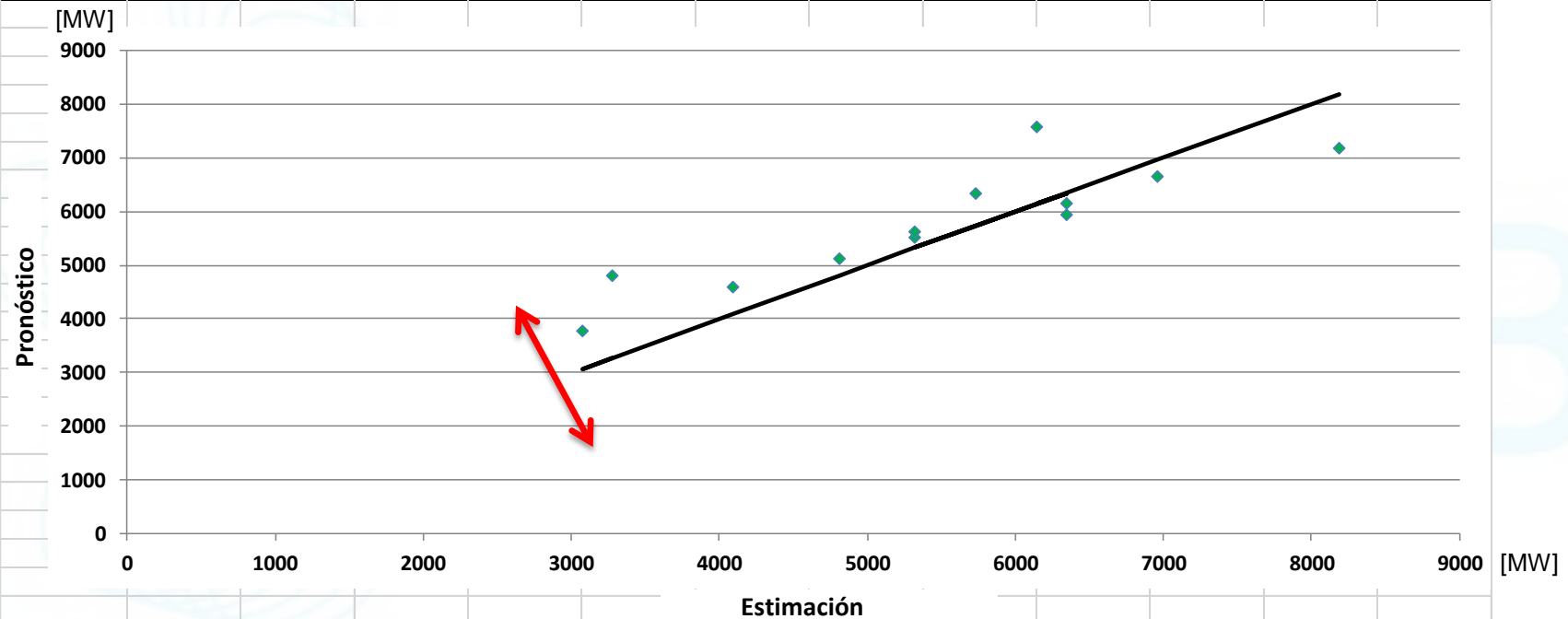
Donde n= número de tiempos considerados

$$RMSE \text{ _relacionado} = \frac{1}{MW \text{ _instalados}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n [(pronóstico(i) - observado(i))^2]}$$

# Estadísticas para el pronóstico de ER

Cálculo de tendencias (Bias) (= distorsión del error del pronóstico)

Tiempo	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45
Pronóstico	4811	3788	4606	5118	5528	6142	7575	5937	5630	6347	6654	7166
Observado	3276	3071	4095	4811	5323	6347	6142	6347	5323	5732	6961	8189
Error	1535	717	512	307	205	-205	1433	-409	307	614	-307	-1024



Tendencia =	307,1 MW	Error max. pos. =	46,9%	Error max. neg. =	-12,5%
-------------	----------	-------------------	-------	-------------------	--------

Fórmula:	Fórmula:	Fórmula:
$\frac{1}{n} * \sum_{i=1...n} (\text{pronóstico } i - \text{observado } i)$	$\text{Max} ((\text{Pronóstico} - \text{Observado}) / \text{Observado})$	$\text{Min} ((\text{Pronóstico} - \text{Observado}) / \text{Observ.})$

## 2. Pronóstico de generación eólica

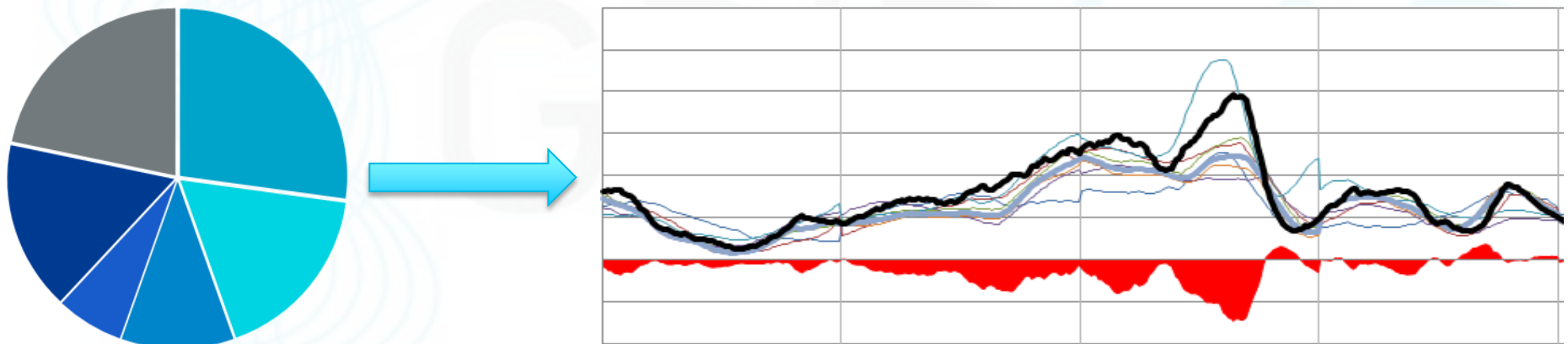
# Aspectos generales del pronóstico de suministro eólico

- Aportación externa de metadatos de pronósticos
  - Datos del pronóstico de potencia eólica [valores en MW] provisto por 6 diferentes proveedores (al 2017, 7 proveedores: EnergyMeteoSystems, IWES, EuroWind, MeteoGroup, WEPROG, Meteologica, Prognos Energy)
  - 4 áreas observables: Alemania, área de control, regiones de las Distribuidoras, nodos de las TSOs
- Intervalos de los pronósticos (frecuencia dependiendo de el área observable):
  - D-3 → 8 p.m., D-2 / D-1 / intradía → 8 a.m., 2 p.m., 8 p.m. } optimizaciones adicionales continuas
  - Intradía a corto plazo: h-1, h-2, h-4



## Aspectos generales del pronóstico de suministro eólico

- Combinación de los pronósticos por la TSO con ponderación dependiendo de la precisión del proveedor (un sistema de bonificación al mejor proveedor fue discutido pero no implementado)



# Caso de estudio:

## RMSE para Alemania

Descendiente hasta la granja eólica



# Generación eólica y RMSE

Pronóstico de generación eólica – en Alemania

(D-1 8 a.m. vs. generación estimada)

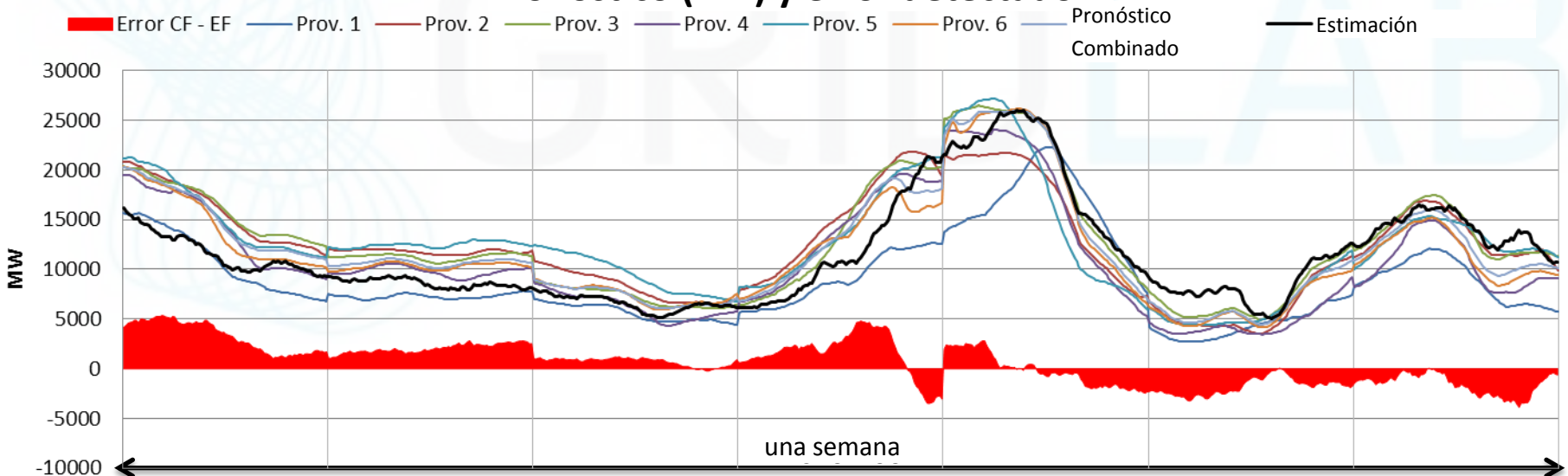


Proveedor	RMSE
Proveedor 1	8.13%
Proveedor 2	6.88%
Proveedor 3	5.65%
Proveedor 4	6.39%
Proveedor 5	7.35%
Proveedor 6	5.25%

Pronóstico ponderado combinado según la experiencia de la TSO

**RMSE rel. a la potencia inst.:  
5.11 %**

## Pronóstico (D-1) y error detectado

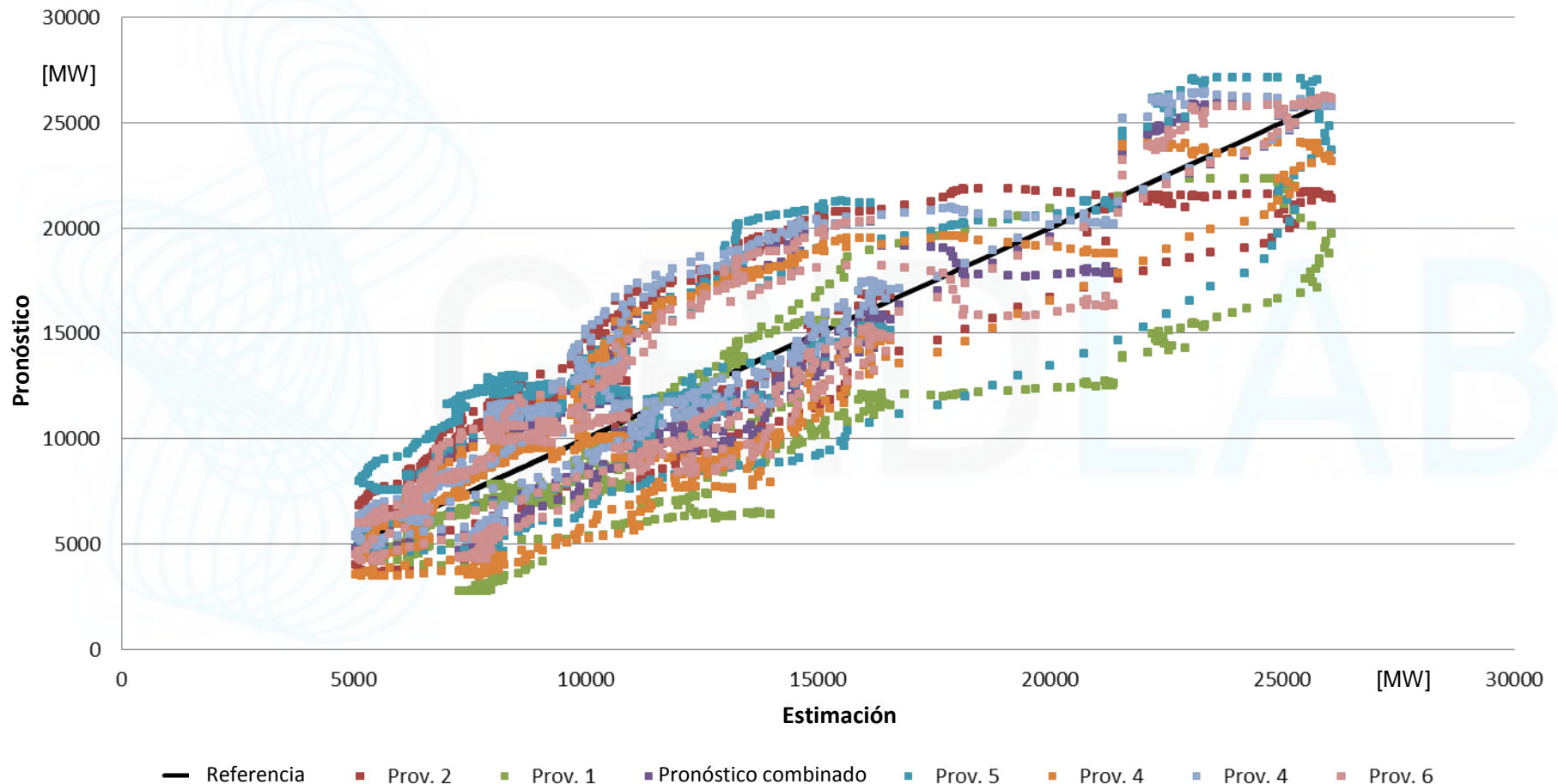


# Diagrama de dispersión

Pronóstico de generación eólica – en Alemania

(D-1 8 a.m. vs. generación estimada)

**Diagrama de Dispersión**



# Generación eólica y RMSE

Pronóstico de generación eólica – en el área de control de 50Hertz  
(D-1 8 a.m. vs. generación estimada)

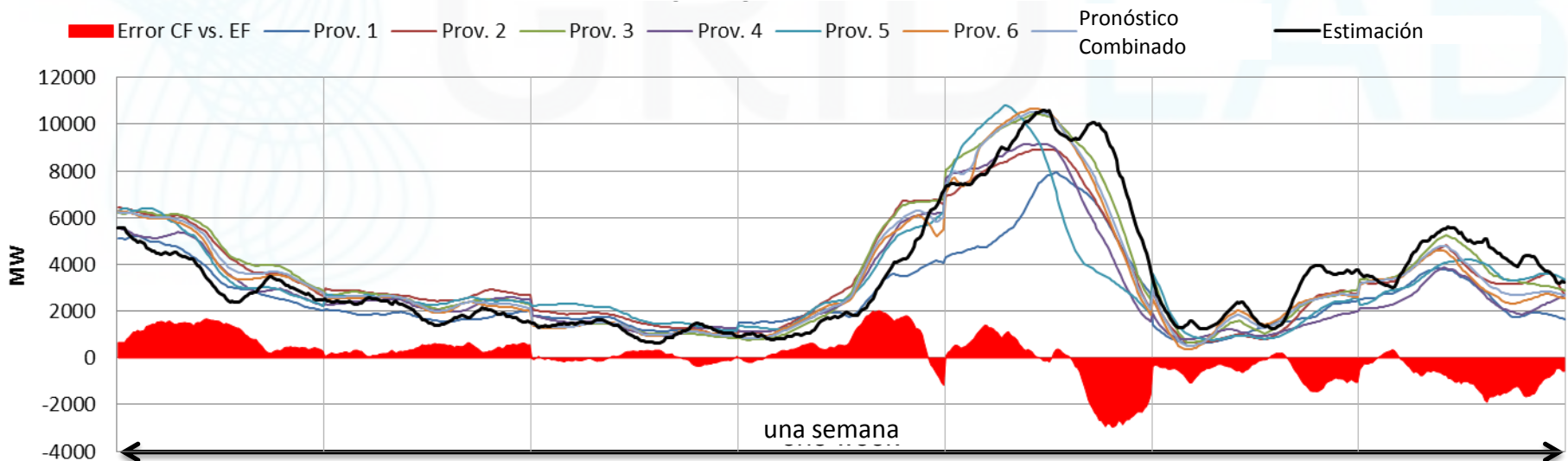


Proveedor	RMSE
Proveedor 1	8.90%
Proveedor 2	7.08%
Proveedor 3	5.95%
Proveedor 4	8.13%
Proveedor 5	9.46%
Proveedor 6	6.28%

Pronóstico ponderado combinado según la experiencia de la TSO

**RMSE rel. a la potencia inst.:  
6.00 %**

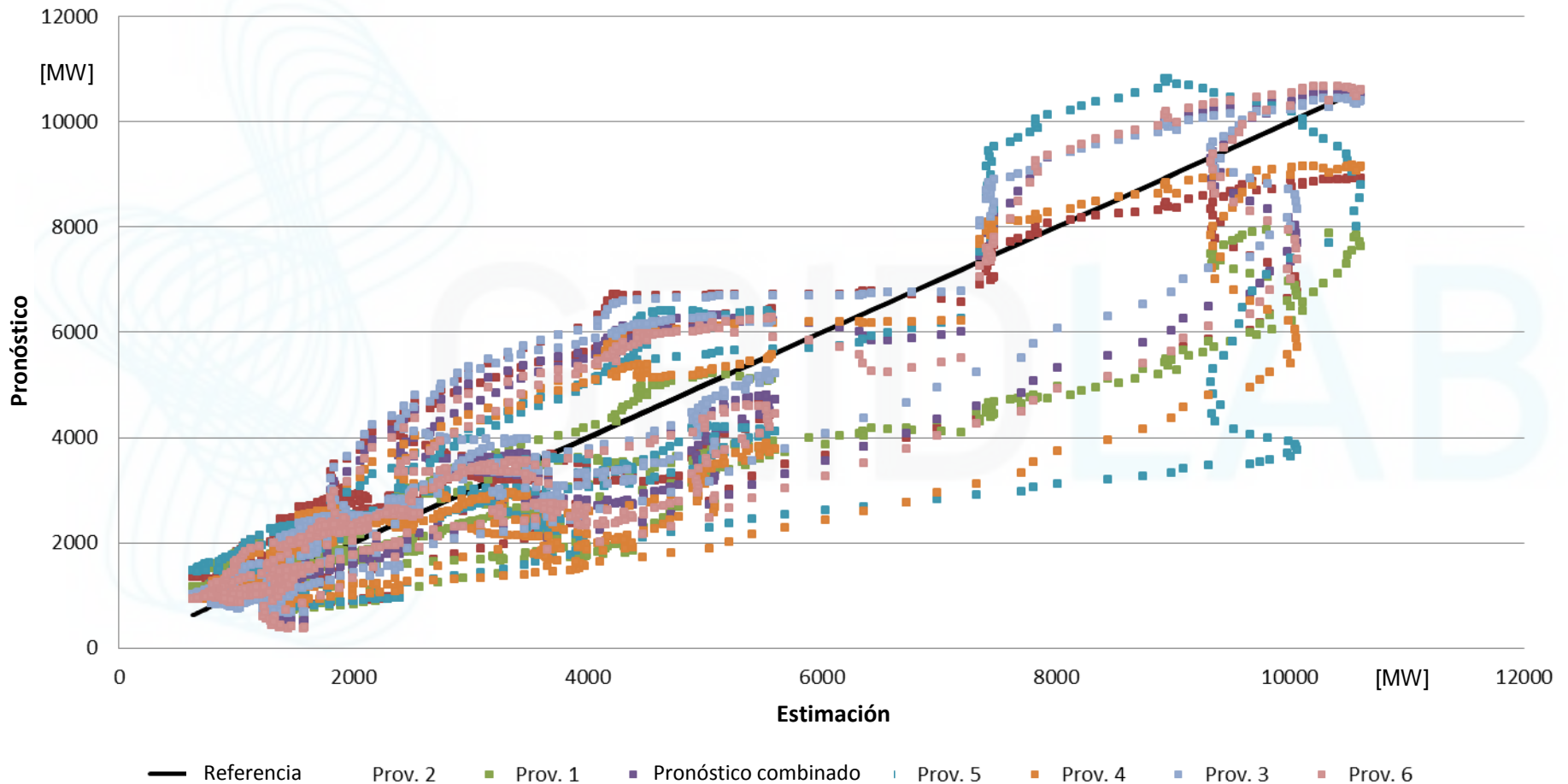
## Pronóstico (D-1) y error detectado



# Diagrama de dispersión

Pronóstico de generación eólica – en el área de control de 50Hertz  
(D-1 8 a.m. vs. generación estimada)

**Diagrama de Dispersión**



# Generación eólica y RMSE

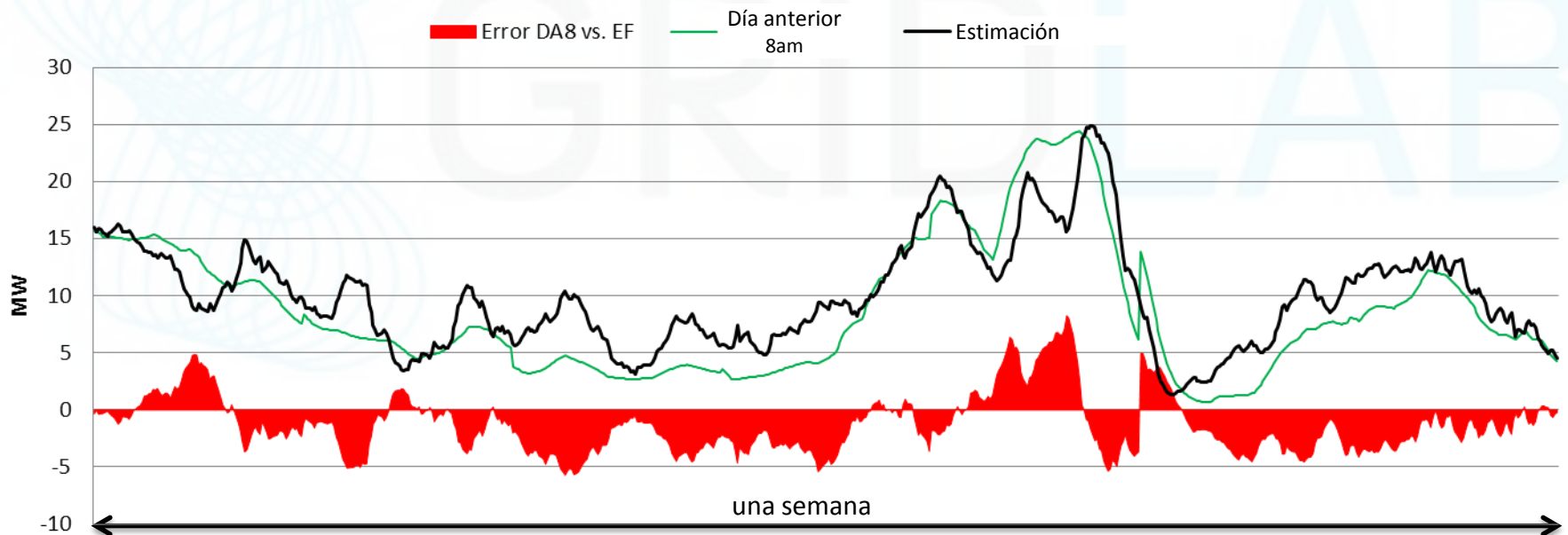
Pronóstico de generación eólica – en la granja eólica  
(D-1 8 a.m. vs. generación estimada)



Tiempo		Día anterior 8 AM	Estimación
00-00-00	00-15-00	15.65	15.99
00-15-00	00-30-00	15.59	15.62
00-30-00	00-45-00	15.53	15.91
00-45-00	01-00-00	15.47	15.78
01-00-00	01-15-00	15.16	15.46

Un proveedor entrega un pronóstico nodal cercano a la realidad

**RMSE rel. a la potencia inst.: 7.53 %**



# Generación eólica y RMSE

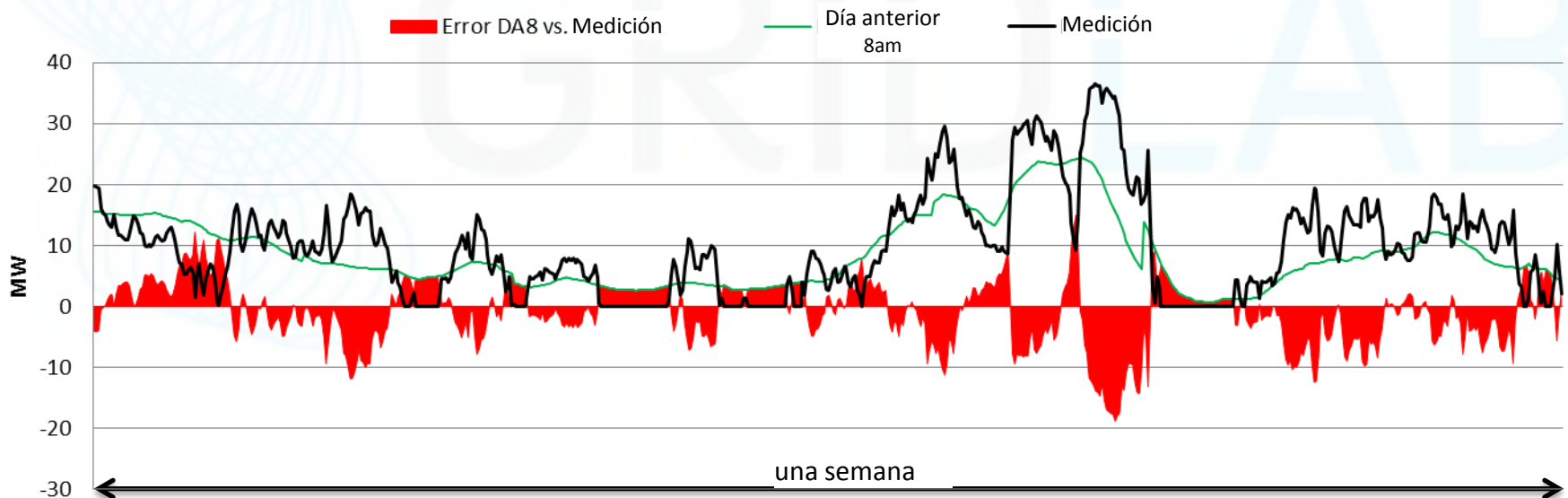
Pronóstico de generación eólica – en la granja eólica  
(D-1 8 a.m. vs. generación cuantificada)



Tiempo		Día anterior 8 am	Medición
00-00-00	00-15-00	15.65	19.72
00-15-00	00-30-00	15.59	19.68
00-30-00	00-45-00	15.53	19.48
00-45-00	01-00-00	15.47	16.01
01-00-00	01-15-00	15.16	15.37

Un proveedor entrega un pronóstico nodal cercano a la realidad

**RMSE rel. a la potencia  
inst.: 13.70%**





# Generación eólica y RMSE

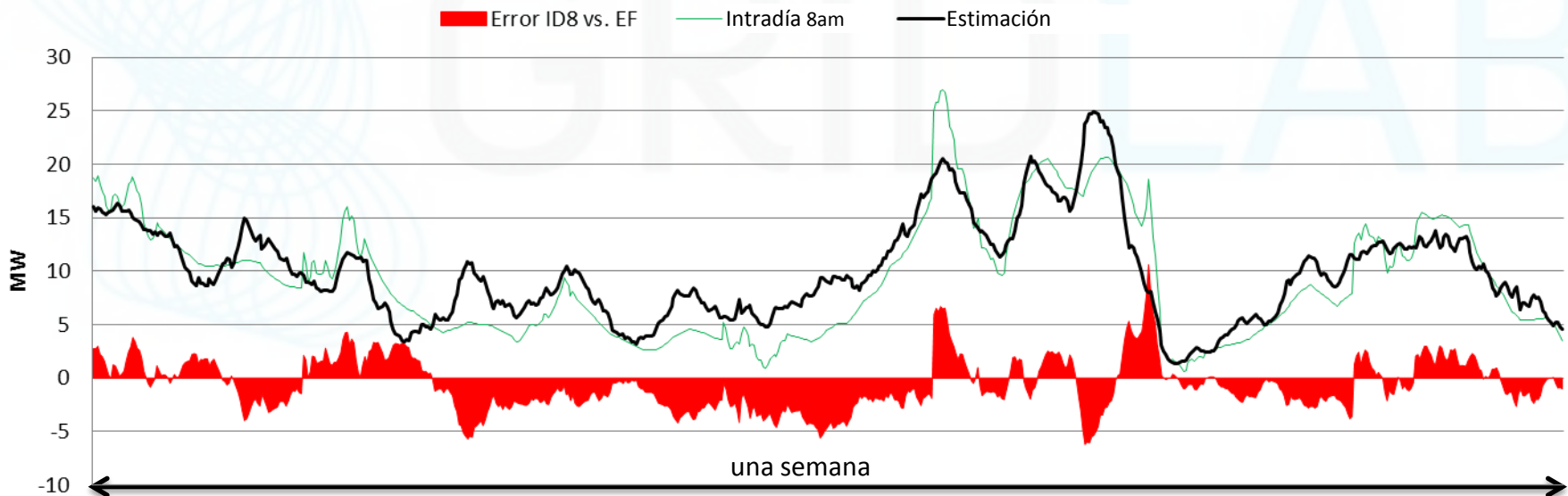
Pronóstico de generación eólica – en la granja eólica  
(Intradía 8 a.m. vs. generación estimada)



Tiempo		Intradía 8 am	Estimación
00-00-00	00-15-00	18.76	15.99
00-15-00	00-30-00	18.4	15.62
00-30-00	00-45-00	18.91	15.91
00-45-00	01-00-00	18.03	15.78
01-00-00	01-15-00	17.49	15.46

Un proveedor entrega un pronóstico nodal cercano a la realidad

**RMSE rel. a la potencia inst.: 6.51 %**



# Generación eólica y RMSE

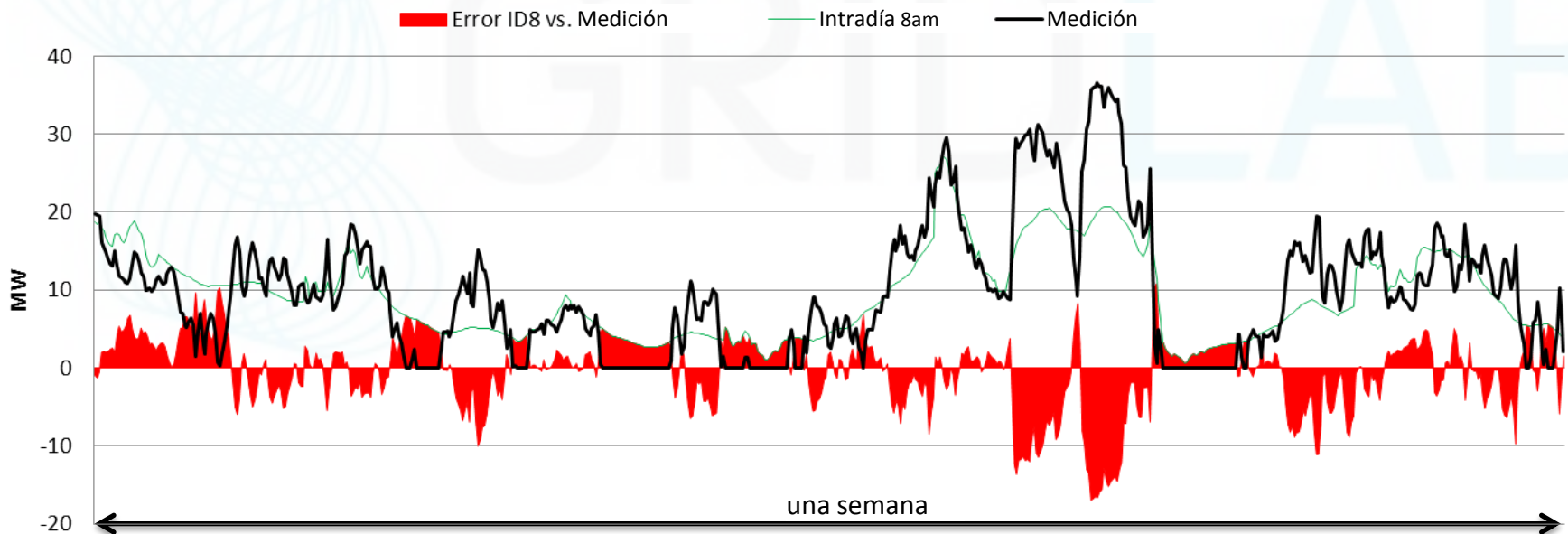
Pronóstico de generación eólica – en la granja eólica  
(Intradía 8 a.m. vs. generación cuantificada)



Tiempo	Intradía 8 am	Medición	
00-00-00	00-15-00	18.76	19.72
00-15-00	00-30-00	18.4	19.68
00-30-00	00-45-00	18.91	19.48
00-45-00	01-00-00	18.03	16.01
01-00-00	01-15-00	17.49	15.37

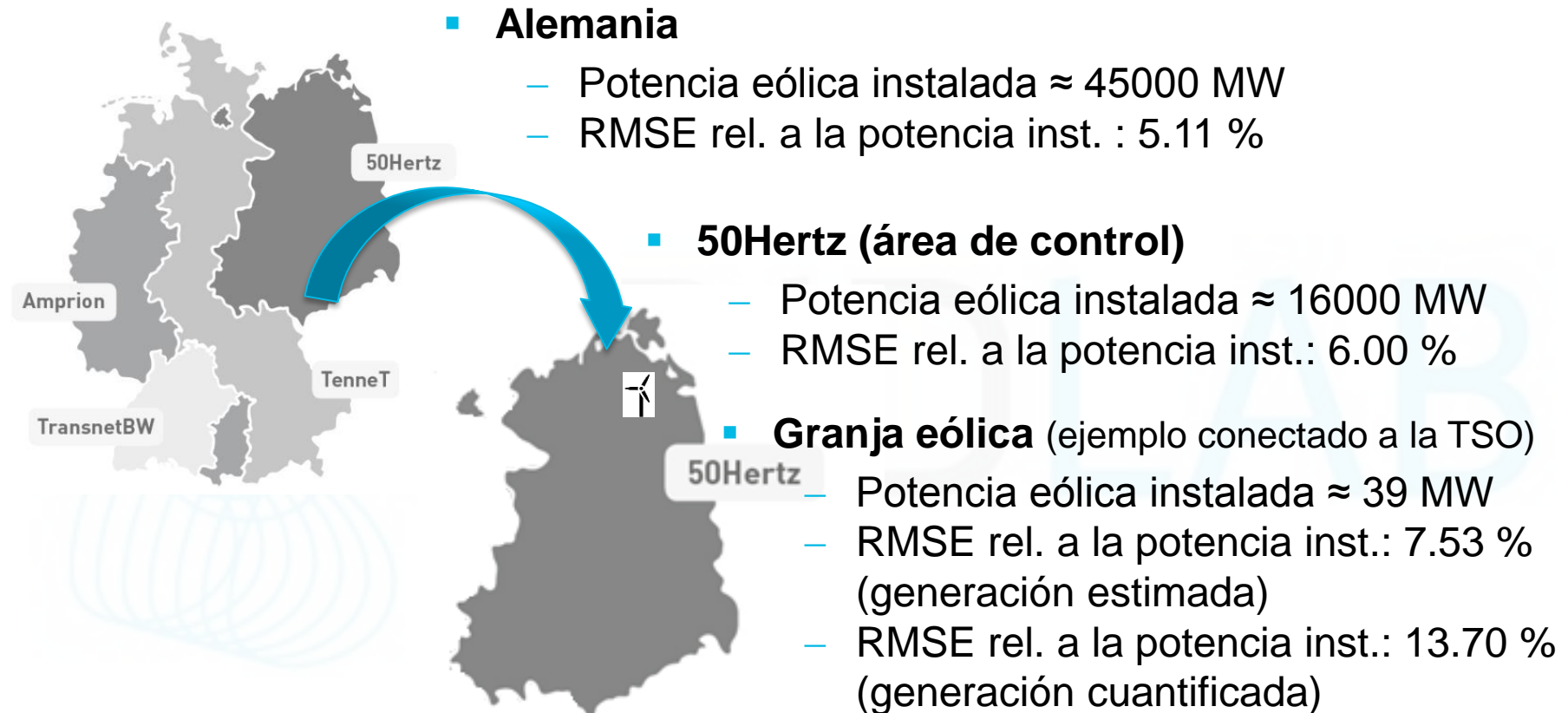
Un proveedor entrega un pronóstico nodal cercano a la realidad

**RMSE rel. a la potencia inst.: 12.11 %**



# Conclusiones para una semana

Exactitud del pronóstico de generación eólica  
(ejemplo: día anterior 8 a.m. vs. estimación)



### **3. Pronóstico de generación solar**

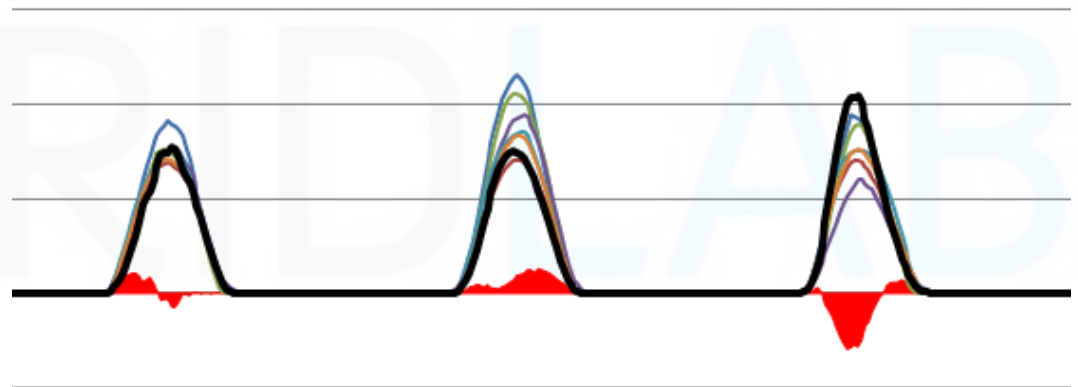
GRIDLAB

# Aspectos generales del pronóstico para suministro fotovoltaico

- Aportación externa de metadatos de pronósticos
  - Información del pronóstico de potencia FV [valores en MW] dados por 5 proveedores: EnergyMeteoSystems, Meteocontrol, Enercast, EnergyWeather, Meteologica
  - 4 áreas observables: Alemania, área de control, regiones de las Distribuidoras, nodos de las TSOs
- Intervalos del pronóstico (frecuencia dependiendo del área observable):
  - D-4 → 8 a.m., 2 p.m.;
  - D-3 / D-2 / D-1 / intradía → 8 a.m., 2 p.m., 8 p.m. } optimizaciones adicionales continuas

## Aspectos generales del pronóstico para suministro fotovoltaico

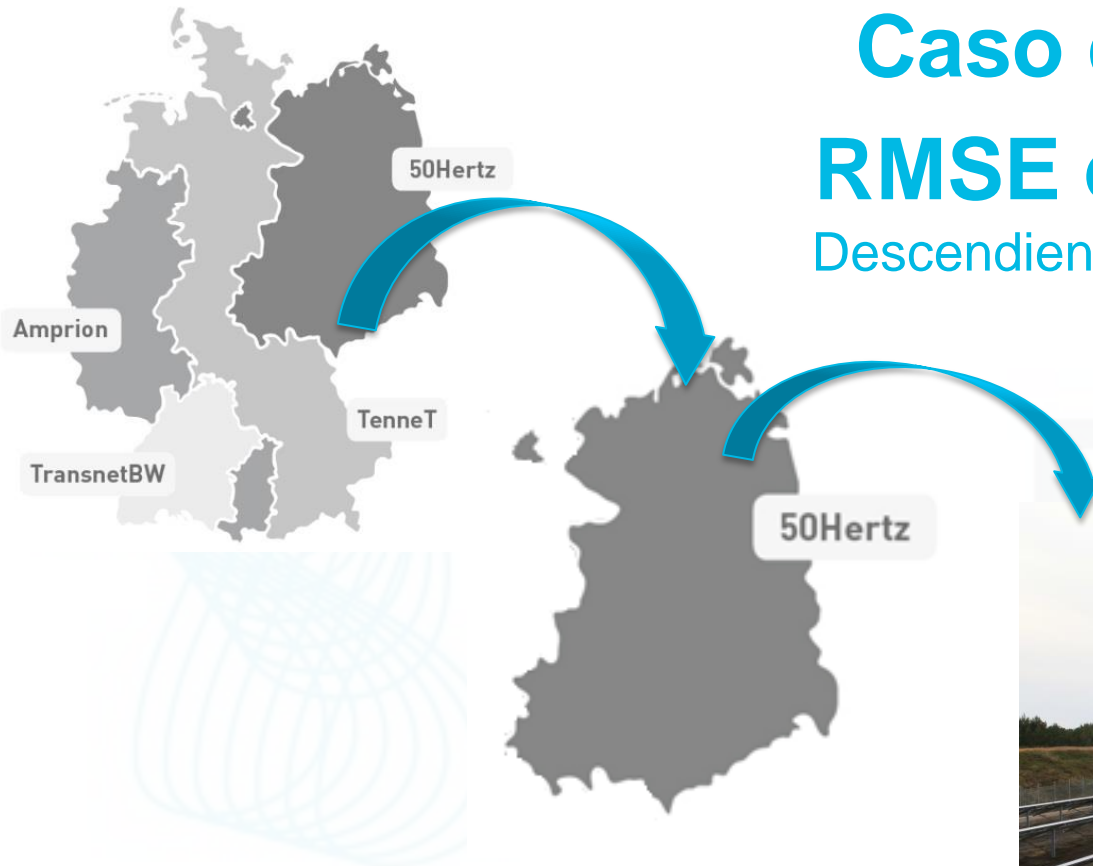
- Pronóstico combinado por la TSO ponderando la exactitud del proveedor (un sistema de bonificación para el mejor proveedor fue discutido pero al final no fue implementado)
- Horas nocturnas son excluidas del cálculo del RMSE



# Caso de estudio:

## RMSE en Alemania

Descendiente hasta la región FV



# Generación FV y RMSE

Pronóstico de generación FV – en Alemania

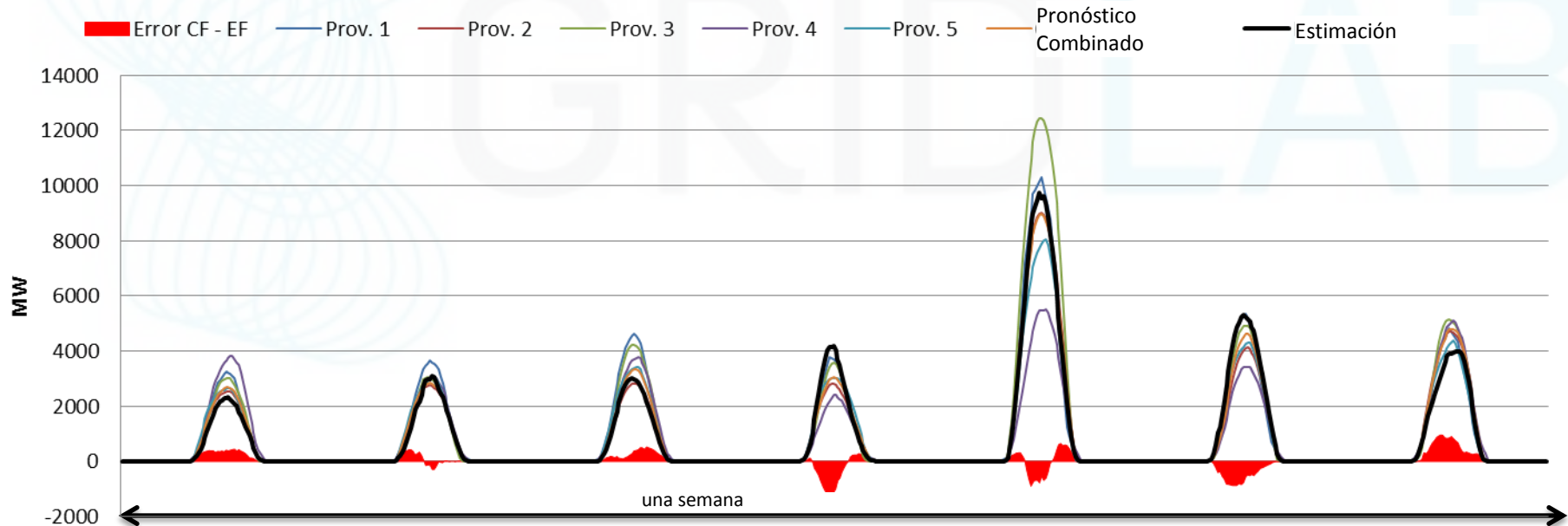
(D-1 8 a.m. vs. generación estimada)



Proveedor	RMSE
Proveedor 1	1.43%
Proveedor 2	1.30%
Proveedor 3	2.48%
Proveedor 4	3.17%
Proveedor 5	1.40%

Pronóstico combinado ponderado según la experiencia de 50Hertz

**RMSE rel. a la potencia inst.:  
1.11 %**



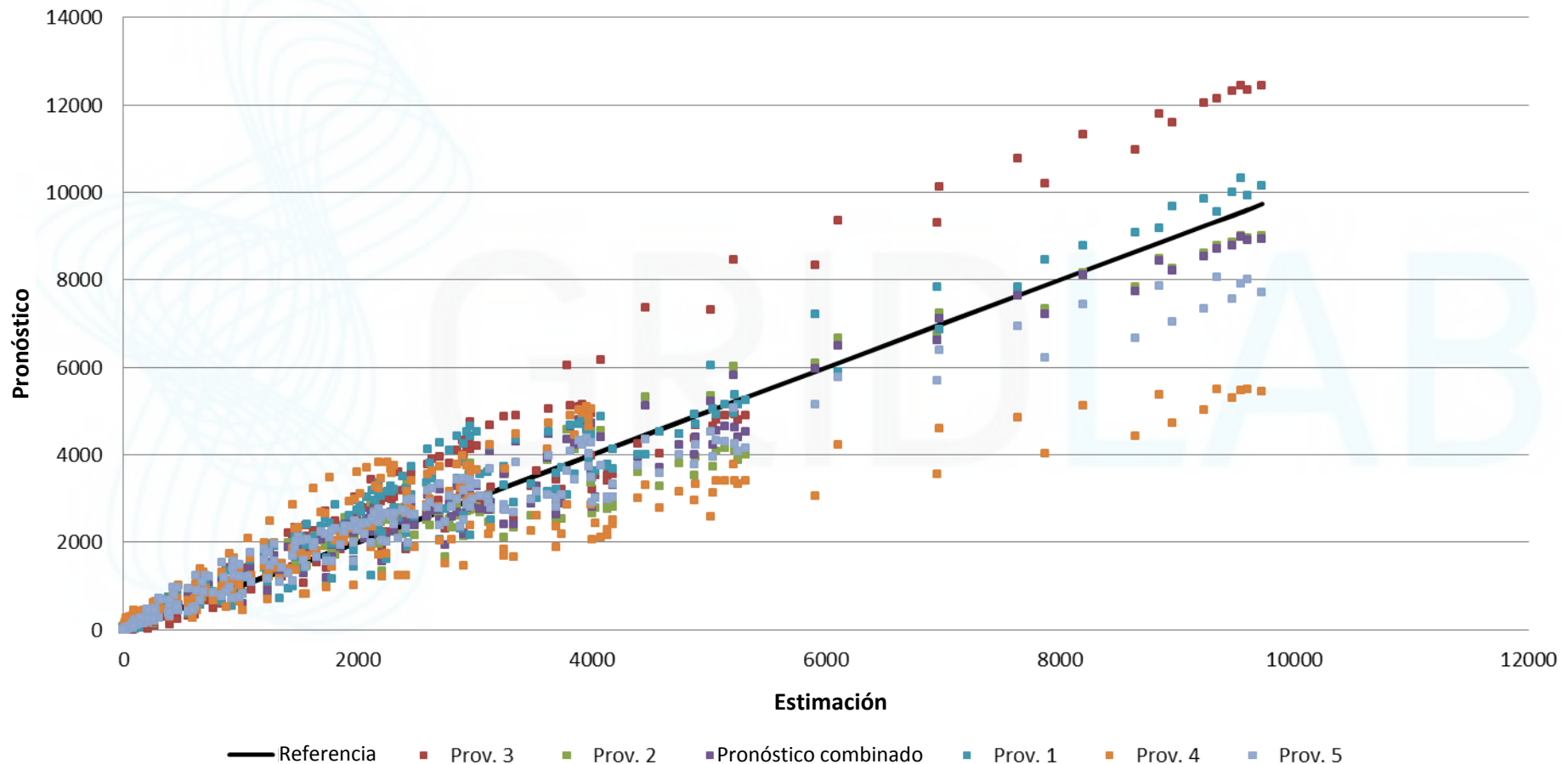


# Diagrama de dispersión

Pronóstico de generación FV – en Alemania

(D-1 8 a.m. vs. generación estimada)

**Diagrama de Dispersión**



# Generación FV y RMSE

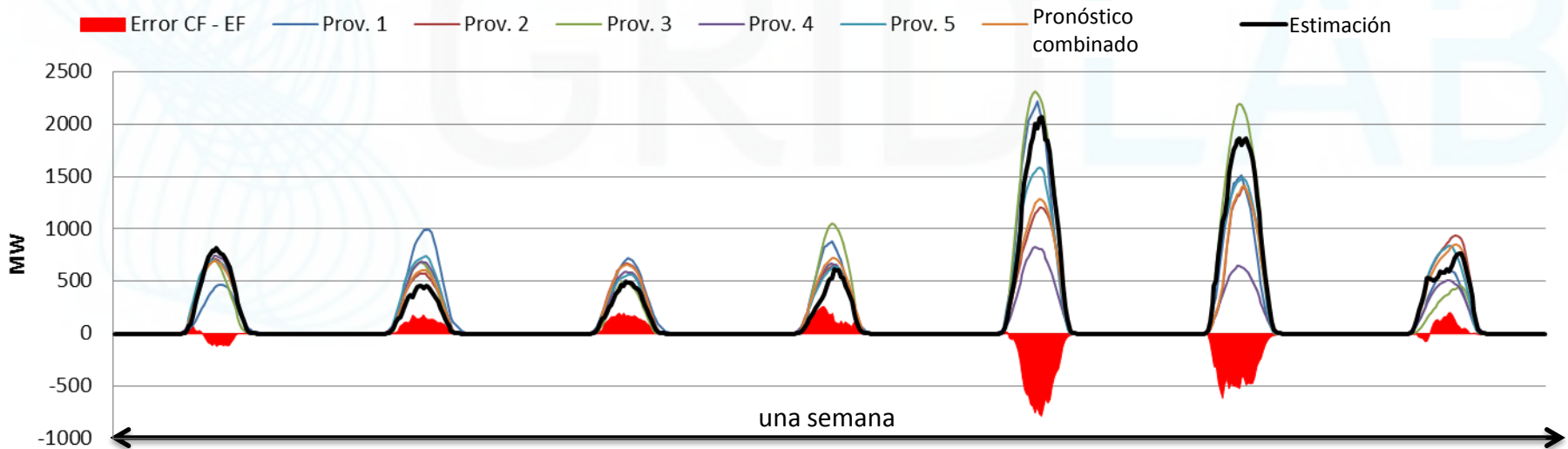
Pronóstico de generación FV – en área de control de 50Hertz  
(D-1 8 a.m. vs. generación estimada)



Proveedor	RMSE
Proveedor 1	2.85%
Proveedor 2	2.89%
Proveedor 3	2.29%
Proveedor 4	4.91%
Proveedor 5	2.01%

Pronóstico combinado ponderado según la experiencia de 50Hertz

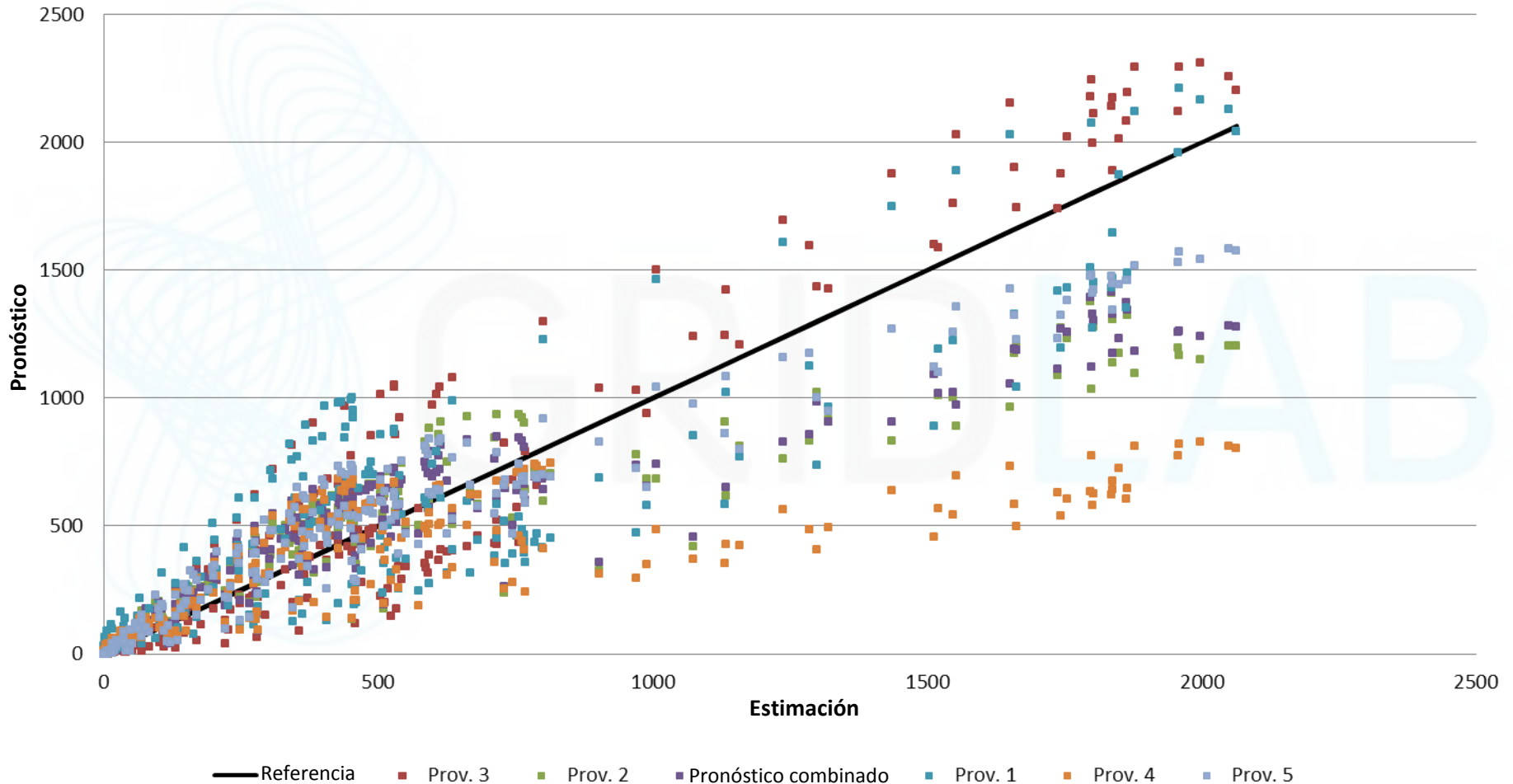
**RMSE rel. a la potencia inst.:  
2.73 %**



# Diagrama de dispersión

Pronóstico de generación FV – en el área de control de 50Hertz  
(D-1 8 a.m. vs. generación estimada)

**Diagrama de Dispersión**



# Generación FV y RMSE

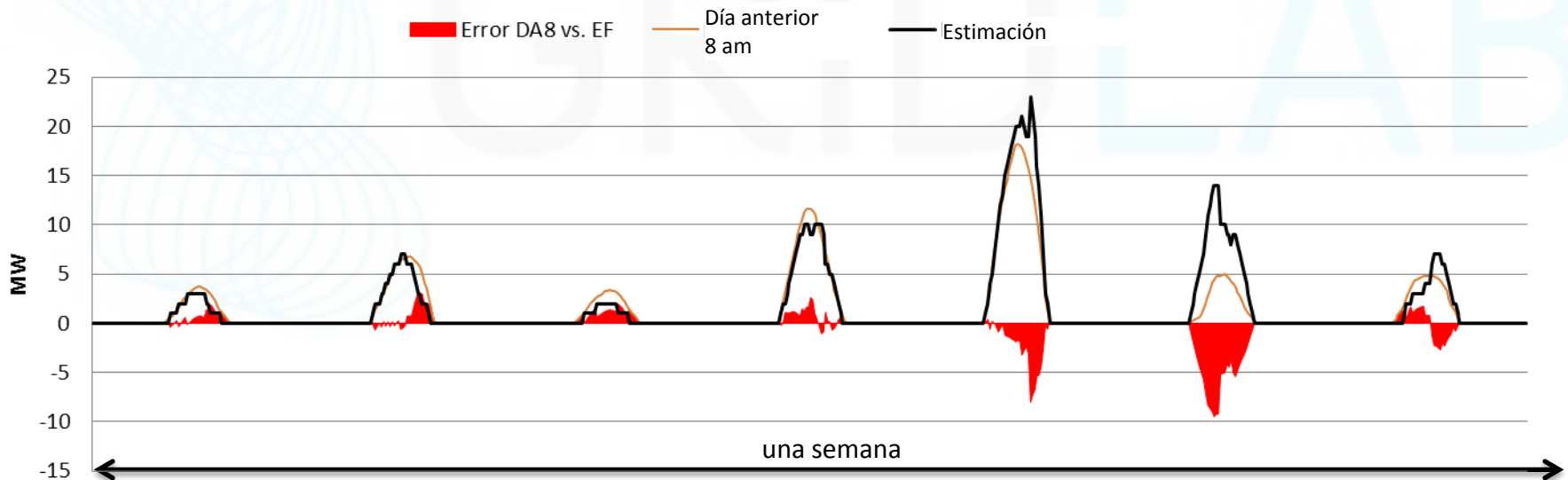
Pronóstico de generación FV – en región FV específica  
(D-1 8 a.m. vs. generación estimada)



Tiempo		Día anterior 8 am	Estimación
12-00-00	12-15-00	3.6	3
12-15-00	12-30-00	3.7	3
12-30-00	12-45-00	3.76	3
12-45-00	13-00-00	3.68	3
13-00-00	13-15-00	3.56	3

Un proveedor entrega el pronóstico nodal

**RMSE rel. a la potencia inst.:  
4.10 % excl. horas nocturnas  
(2.39 % incl. horas nocturnas)**



# Generación FV y RMSE

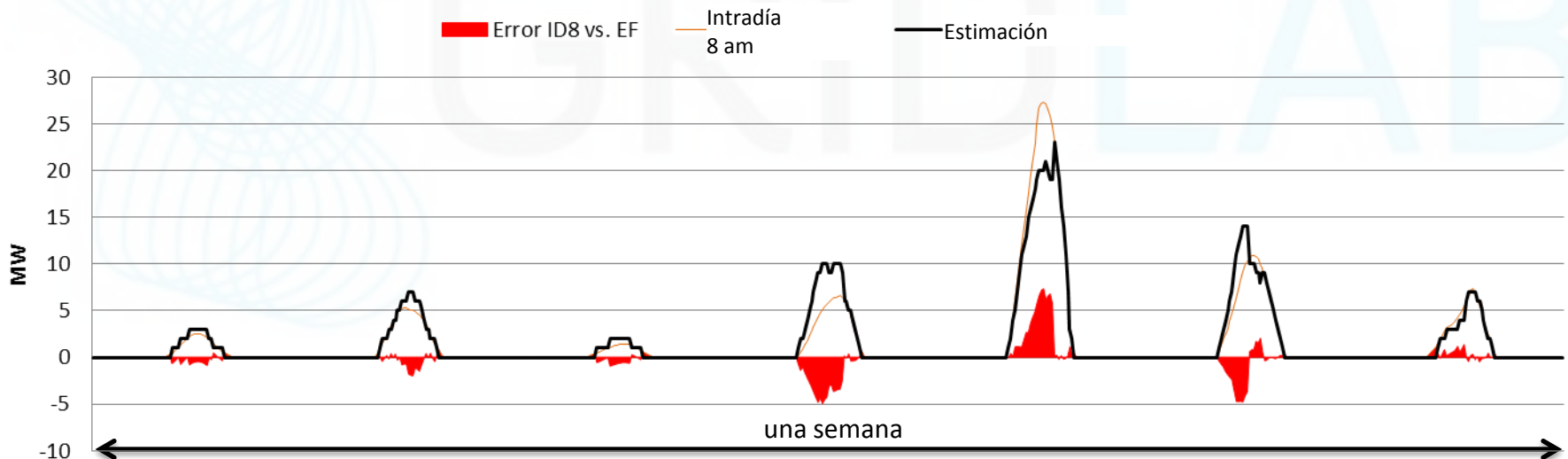
Pronóstico de generación FV – en región FV específica  
(Intradía 8 a.m. vs. generación estimada)



Tiempo		Intradía 8 am	Estimación
12-00-00	12-15-00	2.54	3
12-15-00	12-30-00	2.51	3
12-30-00	12-45-00	2.43	3
12-45-00	13-00-00	2.29	3
13-00-00	13-15-00	2.13	3

Un proveedor entrega el pronóstico nodal

**RMSE rel. a la potencia inst.:  
3.21 % excl. horas nocturnas  
(1.88 % incl. horas nocturnas)**



# Conclusiones para una semana

Exactitud del pronóstico de generación FV  
(ejemplo: día anterior 8 a.m. vs. estimación)

## ■ Alemania

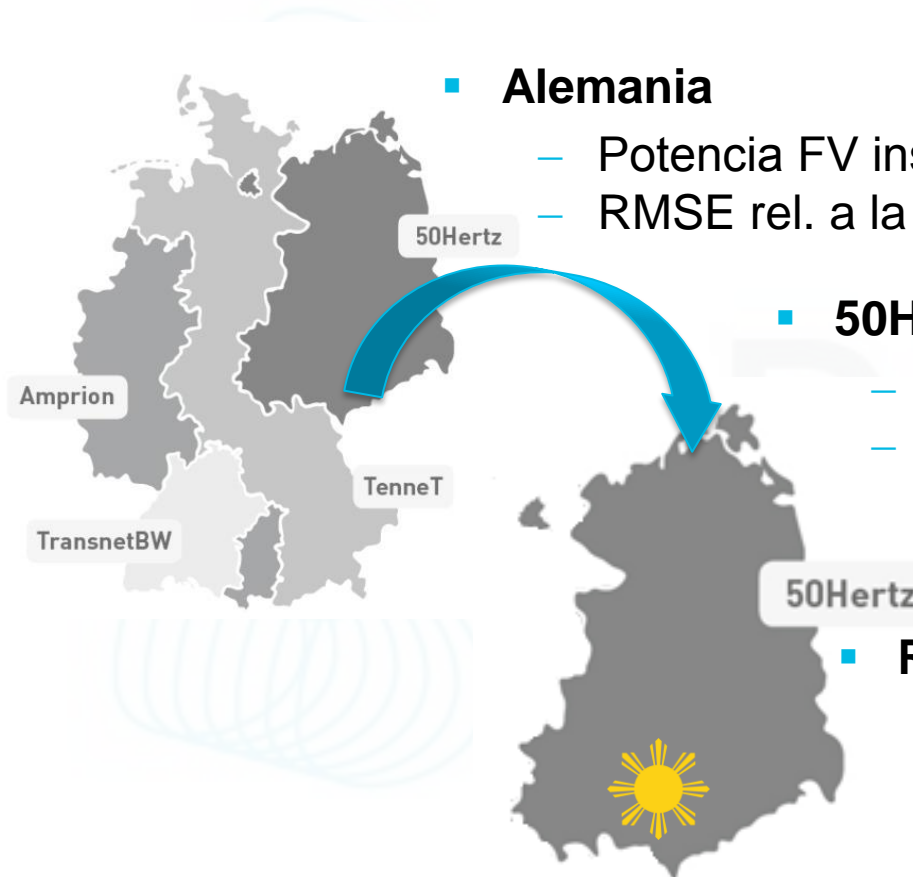
- Potencia FV instalada  $\approx 40000$  MW
- RMSE rel. a la potencia inst. excl. horas nocturnas: 1.11 %

## ■ 50Hertz área de control

- Potencia FV instalada  $\approx 8800$  MW
- RMSE rel. a la potencia inst. excluyendo las horas nocturnas: 2.73 %

## ■ Región FV específica (asignada a un nodo)

- Potencia FV instalada  $\approx 60,5$  MW
- RMSE rel. a la potencia inst. excluyendo las horas nocturnas: 4.10 %



## **4. Propósitos diversos de los pronósticos combinados para ERV**

# Propósitos diversos de los pronósticos combinados para ERV (I)

- **Contribución para los departamentos de operación del sistema**
  - Valores de entrada para el sistema SCADA
  - Pronósticos de flujo de carga (2DACF, DACF & IDCF)  
→ 9 a.m. y 9 P.M.
  - Gestión de seguridad del sistema (límites operacionales de la capacidad transfronteriza disponible)
  - Gestión de las reducciones de ERV de acuerdo con la Ley Alemana de Energía y la Ley de Energías Renovables
  - Planeación de procesos de las disposiciones para la operación
  - Medidas de transparencia en la información incluyendo publicaciones en línea → 9 a.m.
  - ...



## Propósitos diversos de los pronósticos combinados para ERV (II)

- Contribución para la supervisión SCADA en centros regionales → 9 a.m.
- Contribución para la Administración para la compra de ERV en el Mercado Spot → 9:10 a.m. y 9:10 p.m.
- Exportación a otras TSOs: Tennet, Amprion, TNG, PSE, Swissgrid y APG (TSO aledaños) → 9 a.m., 3 p.m., 9 p.m.
- Contribución para la Plataforma de Información Fundamental del Mercado Eléctrico (EMFIP) → 9 a.m.



¿Preguntas?

# GridLab, el Centro europeo de formación e investigación en materia de seguridad para sistemas eléctricos

## Información de contacto



**Dr. -Ing. Matthias Müller-Mienack**  
Director del Departamento de Estudios e Investigación  
[matthias.mueller-mienack@gridlab.de](mailto:matthias.mueller-mienack@gridlab.de)  
LinkedIn: [Matthias Müller-Mienack](#)

GridLab GmbH  
Mittelstraße 7  
12529 Schönefeld (cerca de Berlín)  
Alemania

Tel.: +49 30 600 866 60  
Correo electrónico: [info@gridlab.de](mailto:info@gridlab.de)  
Página de internet: <http://www.gridlab.de>

