



cigre
Colombia

Pronósticos de Generación de FRNC

Noviembre 6 de 2019

Agenda

1

- Impacto de las FRNC en la operación.

2

- Marco Regulatorio – CREG 060 de 2019.

2

- Sistema de pronóstico de XM

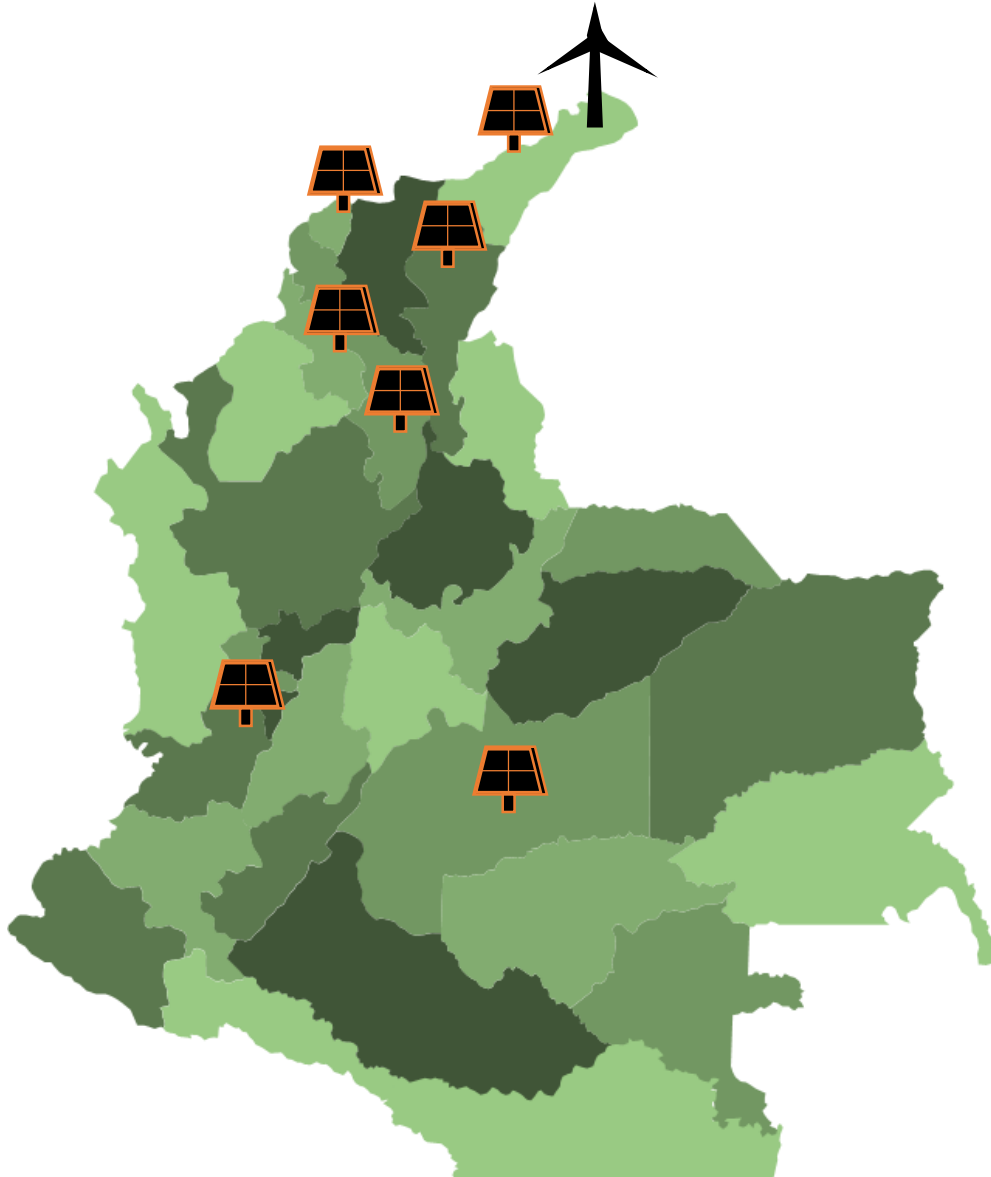
3

- Aspectos técnicos de la implementación de pronósticos de FRNC

Impacto de las FRNC en la Operación



Impacto de las FRNC en la operación



Colombia espera para los próximos años un aumento considerable de la capacidad instalada de fuentes renovables no convencionales (FRNC)



Uno de los principales retos que enfrenta el operador ante la integración de estas FRNC es la alta **variabilidad** e **incertidumbre** de estas fuentes



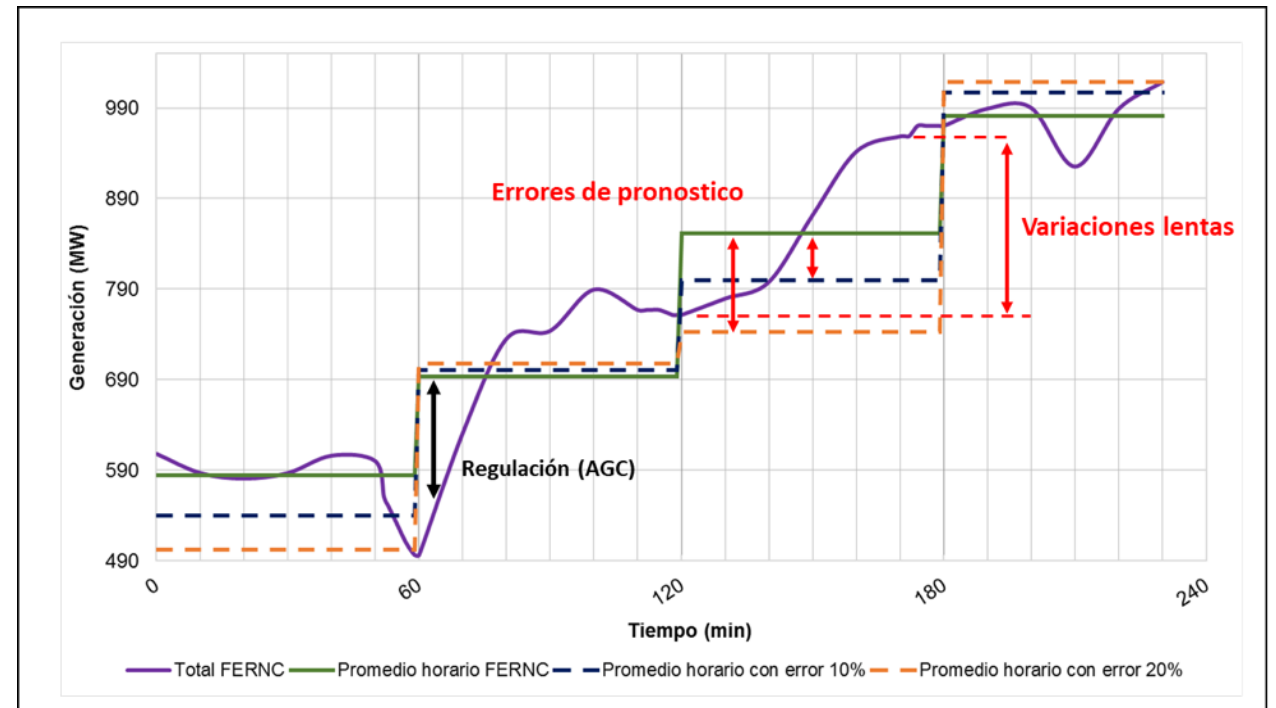
¿Cómo estar preparado para manejar esta **variabilidad** e **incertidumbre**?



Pronósticos de generación de las FRNC

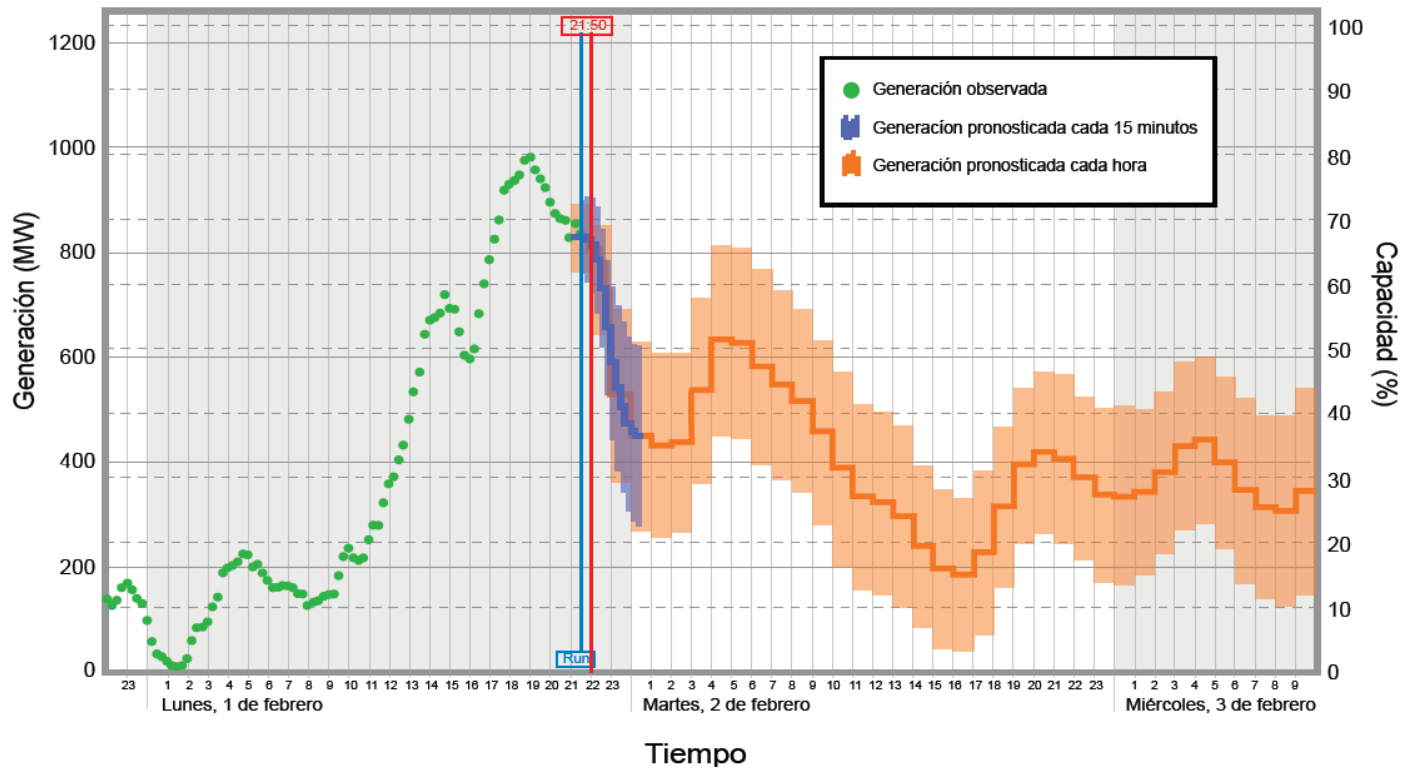
Impacto de las FRNC en la operación

- La generación de las FRNC es más variable e incierta que la de los recursos convencionales.
- Ante una integración de FRNC de más del 15% de la capacidad instalada, es necesario tomar medidas que permitan minimizar las desviaciones de estas fuentes en los programas de generación.



Ejemplo: Generación con FRNC dentro de un periodo de despacho - Balance de Generación

Pronósticos de Generación para la Operación



Fuente: Greening The Grid, 2016, *Pronóstico De Generación De Energía Eólica Y Solar: Mejorando La Operación Del Sistema.*

Los pronósticos de generación del operador apoyan los siguientes puntos:

- Mayor conciencia situacional del operador.
- Programación de las reservas operativas.
- Estudios energéticos y programación mantenimientos.
- Balance de generación y demanda en tiempo real.
- Prever posibles rampas de generación.

Marco regulatorio



Resolución CREG 060 de 2019

Artículo 25:

2.2.3.2.1 Pronósticos de Generación de Corto Plazo

Los pronósticos de generación a cargo del CND para las plantas de generación eólicas y solares fotovoltaicas conectadas al STN y STR se harán de la siguiente forma:

El CND elaborará los pronósticos indicativos de producción de las plantas eólicas y solares, conectadas al STN y STR, con resolución horaria para la semana (lunes a domingo) siguiente a la de operación. Estos pronósticos serán usados en los estudios energéticos y eléctricos de corto plazo y coordinación de mantenimientos. Esta información no será publicada.

Resolución CREG 060 de 2019

Artículo 25:

2.2.3.3.1 Pronósticos de Generación Muy Corto Plazo.

Pronósticos de generación por el CND para las plantas solares fotovoltaicas y eólicas conectadas al STN y STR:

- *El CND realizará pronósticos de generación, para las plantas solares fotovoltaicas y eólicas conectadas al STN y STR, a nivel horario y para las siguientes 40 horas, en el día de la operación.*

Esta información no será publicada y su objetivo es determinar y programar las reservas operativas necesarias.

El CND deberá publicar en su página web las reservas operativas utilizadas en el mes de operación m en el mes $m+1$.

- *El CND realizará pronósticos de generación, para las plantas solares fotovoltaicas y eólicas conectadas al STN y STR, en una ventana móvil de 5 minutos para los siguientes 60 minutos durante el día de la operación.*

Esta información no será publicada y su objetivo es ser un insumo para determinar el balance carga/generación en tiempo real.

Resolución CREG 060 de 2019

Anexo

Para el caso de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas, conectadas al STN y STR, estas deben contar con sistemas de monitoreo de las variables meteorológicas en el sitio de la planta, con capacidad de almacenamiento de estos datos y tener la capacidad de reporte al CND de los mismos. El(Los) sistema(s) de medida, el almacenamiento, la resolución de las medidas y de reporte al CND, todos con sus respectivos requisitos, se deben establecer mediante Acuerdo que defina el C.N.O. para tal fin.

En todo caso, las medidas y el reporte al CND de las variables meteorológicas deben tener frecuencia diezminutal o de mayor frecuencia, es decir, cincominutal, dosminutal o de pocos segundos; de acuerdo con el protocolo del C.N.O.

Variable	Unidad
<i>Velocidad del viento</i>	<i>Metros por segundo [m/ s]</i>
<i>Dirección del viento</i>	<i>Grados relativos al norte geográfico [grados]</i>
<i>Temperatura ambiente</i>	<i>Grados centígrados [°C]</i>
<i>Humedad relativa</i>	<i>Porcentaje [%]</i>
<i>Presión atmosférica</i>	<i>Hectopascales [hPa]</i>

Plantas Eólicas

Variable	Unidad
<i>Irradiación en el plano del panel fotovoltaico</i>	<i>Vatios por metro cuadrado [W/ m²]</i>
<i>Temperatura posterior del panel fotovoltaico</i>	<i>Grados centígrados [°C]</i>
<i>Irradiación global horizontal</i>	<i>Vatios por metro cuadrado [W/ m²]</i>
<i>Temperatura ambiente</i>	<i>Grados centígrados [°C]</i>

Plantas Solares

Sistema de Pronóstico de XM



Sistema de pronóstico FRNC en XM

Dos productos incluyen los pronósticos establecidos en la resolución CREG 060 del 2019.

	Pronósticos Horario	Pronósticos 5 minutos
----- Horizonte	----- 15 días	----- 8 horas
----- Resolución	----- 1 hora	----- 5 minutos
----- frecuencia	----- 1 hora	----- 5 minutos

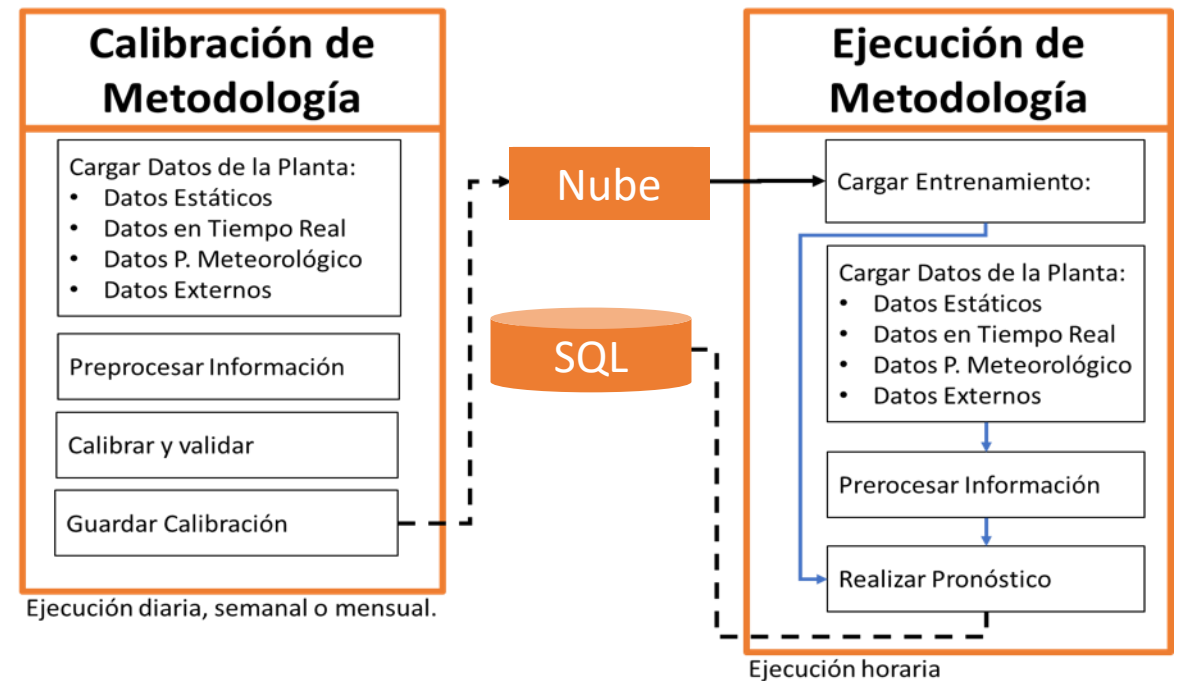
Sistema de pronóstico FRNC en XM

- La implementación del sistema está basada en servicios de la nube de Azure.

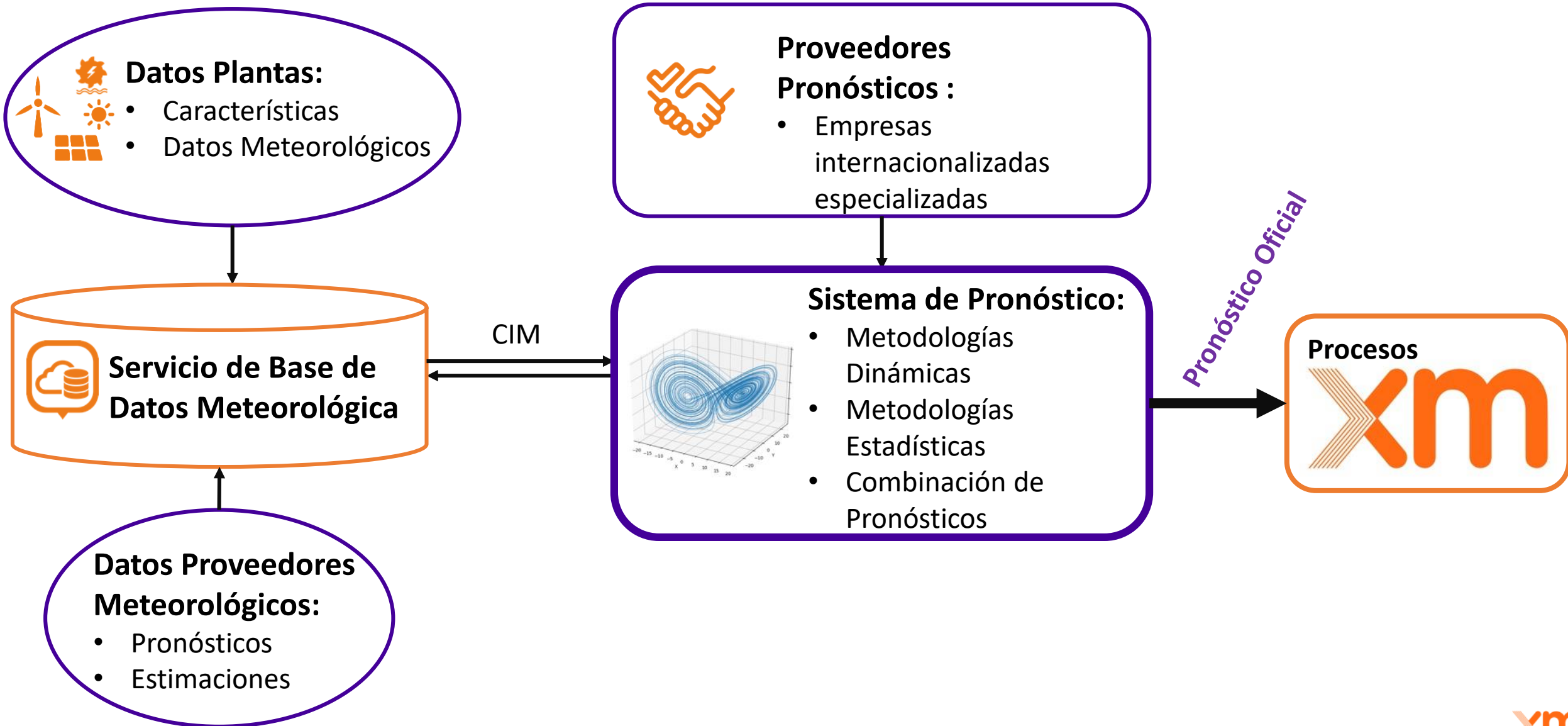


Data Factory **Data Lake**

- El software utiliza librerías de ML, generalizando los procesos de calibración y ejecución.



Sistema de pronóstico FRNC en XM



Uso de los pronósticos en XM

	Tiempo Real	Redespacho	Despacho	Corto Plazo	Mediano y Largo Plazo
CND	Balance carga-generación en tiempo real	Cálculo de reservas operativas		Coordinación de mantenimientos; análisis eléctricos y energéticos de corto plazo	Análisis eléctricos y energéticos de largo plazo

Servicio de consulta a los pronósticos



Servicio de consulta a los pronósticos oficiales

El servicio permite a los diferentes procesos de XM **acceder a la información de pronósticos**

Está disponible para consultar pronósticos para **plantas individuales y agregaciones por tipo de planta**

Los pronósticos que se consultan son los **oficiales de 5 minutos y los oficiales horarios**

Servicio de consulta a los pronósticos oficiales

Entrada:

- Elementos (lista de plantas)
- Agregación (tipo de planta – solar o eólica)
- Resolución de pronóstico (5 minutal u horaria)
- Fecha de realización del pronóstico
- Fecha inicial pronosticada
- Fecha final pronosticada

Salida:

- Fecha de realización del pronóstico
- Fecha inicial pronosticada
- Fecha final pronosticada
- Metodología de pronóstico
- Lista de fechas pronosticadas
- Lista de valores de potencia/energía pronosticados

Servicio de consulta a los pronósticos oficiales

Entrada – Ejemplo pronósticos 5 minutos:

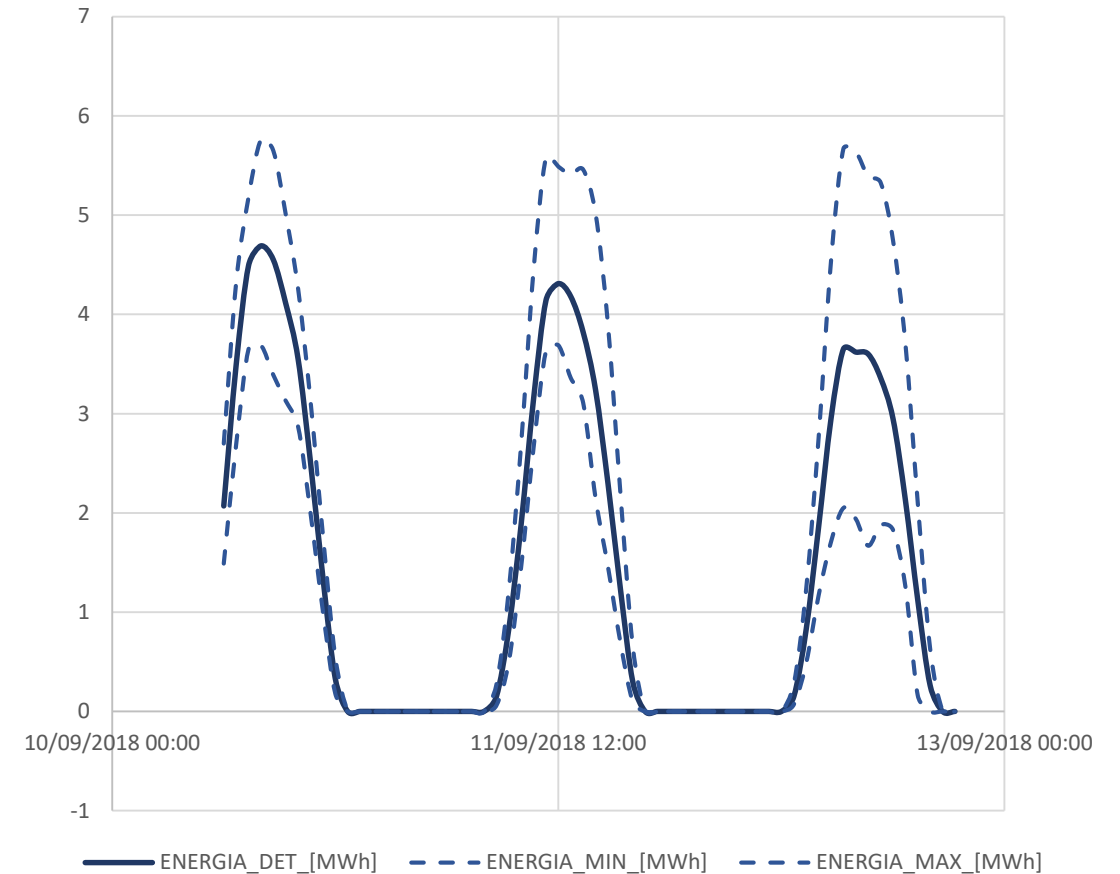
Salida:

```
{ "Elements": ["SOL001", "SOL002"],  
  "Aggregations": [ ],  
  "ForecastType": 5,  
  "ForecastDate": "2019-09-19 15:55:00",  
  "ForecastStartDate": "2019-09-19 15:55:00",  
  "ForecastEndDate": "2019-09-19 16:10:00"}
```

```
{  
  "aggregation": null,  
  "resource": "Eol0001",  
  "forecastType": 5,  
  "forecastDate": "2019-09-19 15:50:00",  
  "forecastCreationDate": "2019-09-19 15:50:46",  
  "forecastStartDate": "2019-09-19 15:55:00",  
  "forecastEndDate": "2019-09-19 16:10:00",  
  "methodology": "Meteologica1090",  
  "timeSeries": ["2019-09-19 15:55:00",  
                 "2019-09 19 16:00:00", "2019-09-19 16:05:00",  
                 "2019-09-19 16:10:00"],  
  "forecastedValue": [0.734, 0.764, 0.819, 0.874,],  
  "status": true,  
  "message": ""}
```

Servicio de consulta a los pronósticos oficiales

Tiempo;	Energía Media[MWh];
2019-10-01 08:00;	0.96;
2019-10-01 09:00;	2.58;
2019-10-01 10:00;	3.90;
2019-10-01 11:00;	5.00;
2019-10-01 12:00;	5.54;
2019-10-01 13:00;	5.52;
2019-10-01 14:00;	5.36;
2019-10-01 15:00;	4.68;
2019-10-01 16:00;	3.55;



Servicio de consulta a los pronósticos oficiales

Tiempo;	Energía Media[MWh];	Energía Min[MWh]; *	Energía Max[MWh] *
2019-10-01 08:00;	0.96;	0.65;	1.29
2019-10-01 09:00;	2.58;	1.87;	3.78
2019-10-01 10:00;	3.90;	3.07;	5.34
2019-10-01 11:00;	5.00;	4.26;	6.05
2019-10-01 12:00;	5.54;	4.97;	6.31
2019-10-01 13:00;	5.52;	4.88;	6.28
2019-10-01 14:00;	5.36;	4.91;	6.00
2019-10-01 15:00;	4.68;	3.69;	5.36
2019-10-01 16:00;	3.55;	2.36;	4.29

* A futuro se espera contar con pronósticos probabilísticos

Aspectos técnicos de la implementación de pronósticos de FRNC en XM



Información requerida para pronósticos FRNC

Características de las plantas

- Ubicación, número y tipo de unidades de generación, capacidad instalada.

Datos históricos eléctricos y meteorológicos

- Para calibrar los modelos de predicción al comportamiento observado de las plantas.

Supervisión eléctrica y meteorológica

- Para garantizar pronósticos más ajustados a las condiciones reales en cada momento.

Disponibilidad en tiempo real

- Indispensable para ajustar los pronósticos a la capacidad de generación de las plantas en cada momento independientemente del recurso.


Metodologías de pronóstico

Desarrollos Propios

- Modelos de tipo estadísticos.
- Modelos de tipo dinámico.
- Modelos de combinación

Pronóstico de Proveedores:

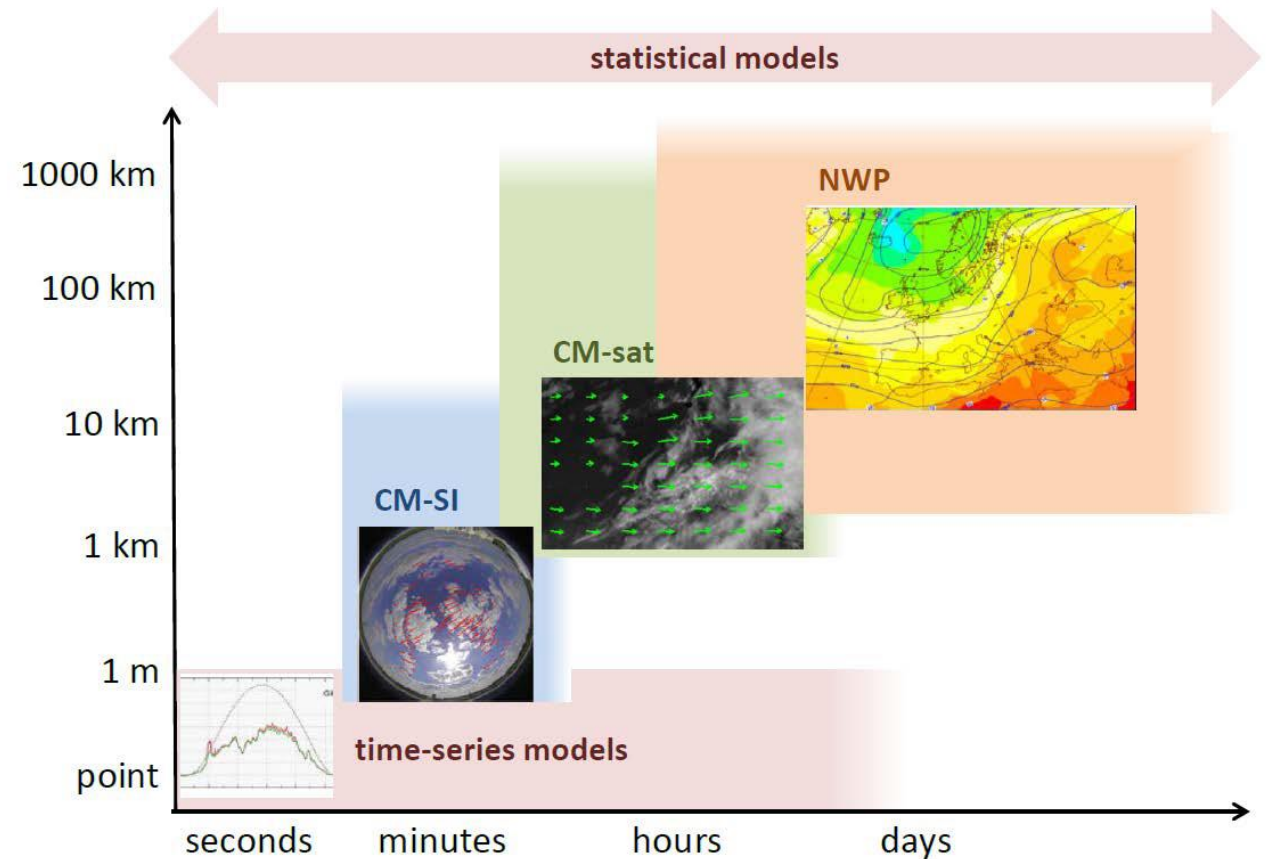
- Varias empresas ofrecen servicios de pronóstico especializados en la generación de las FRNC.



En XM usamos metodologías propias de pronóstico y también recibimos pronósticos de empresas especializadas en la elaboración de estos.

Metodologías de pronóstico

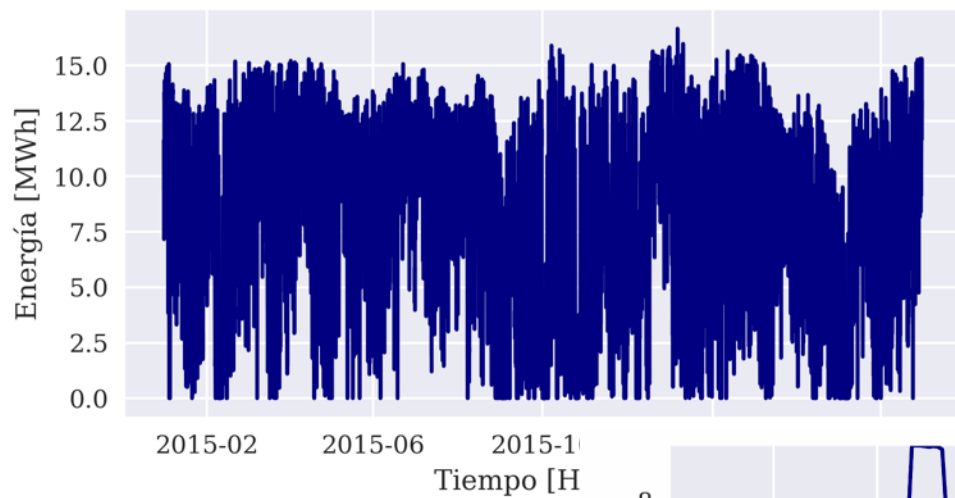
- Existen diferentes tipos de metodologías de pronóstico:
 - ✓ Metodologías estadísticas
 - ✓ Metodologías basadas en modelos dinámicos.
 - ✓ Una combinación de las anteriores.
- El tipo de metodología a utilizar depende del fenómeno a pronosticar y el horizonte de este pronóstico.



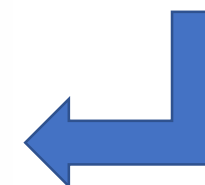
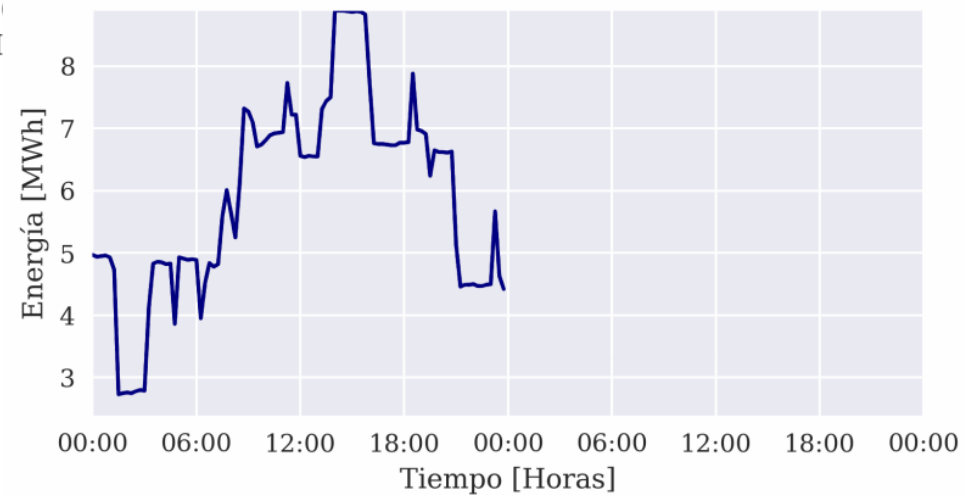
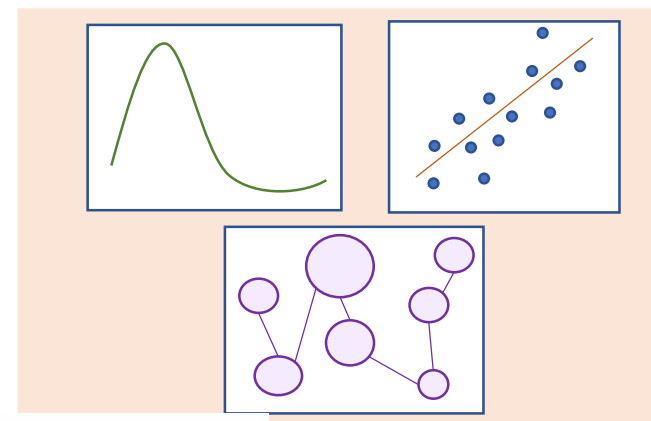
NREL (2015) Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications

Modelos estadísticos

Generación histórica

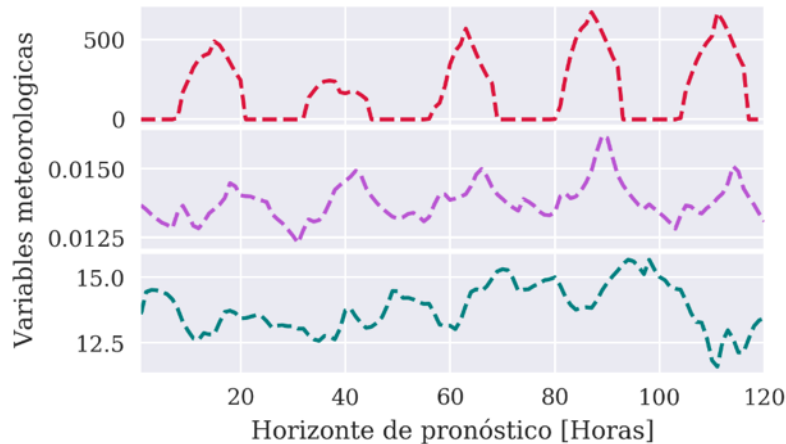
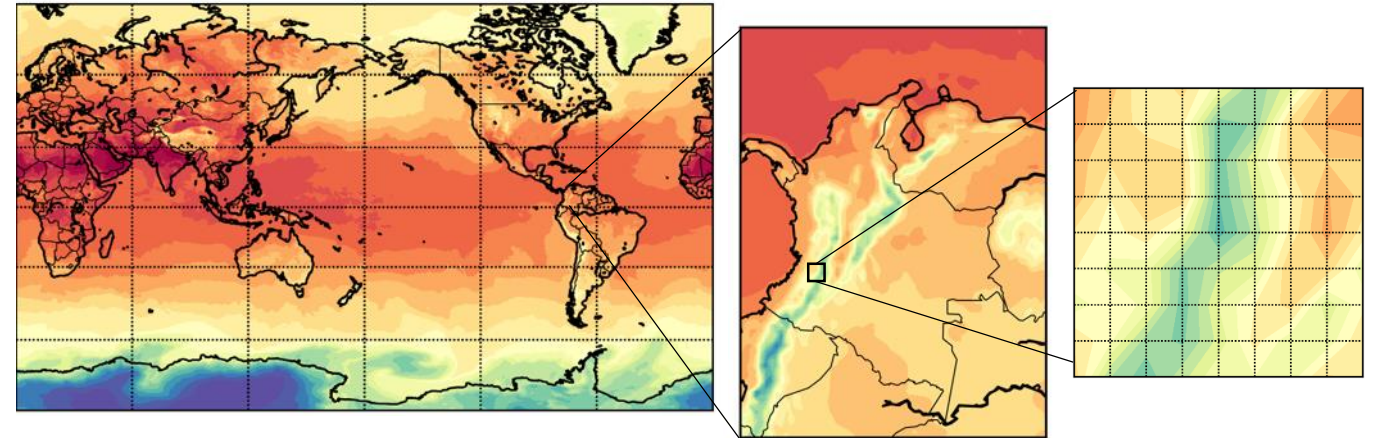
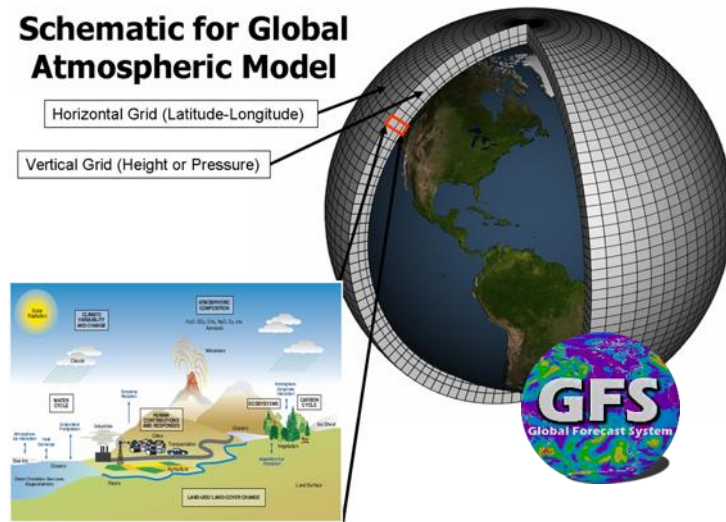


Modelo Estadístico



Modelos Dinámicos

Schematic for Global Atmospheric Model



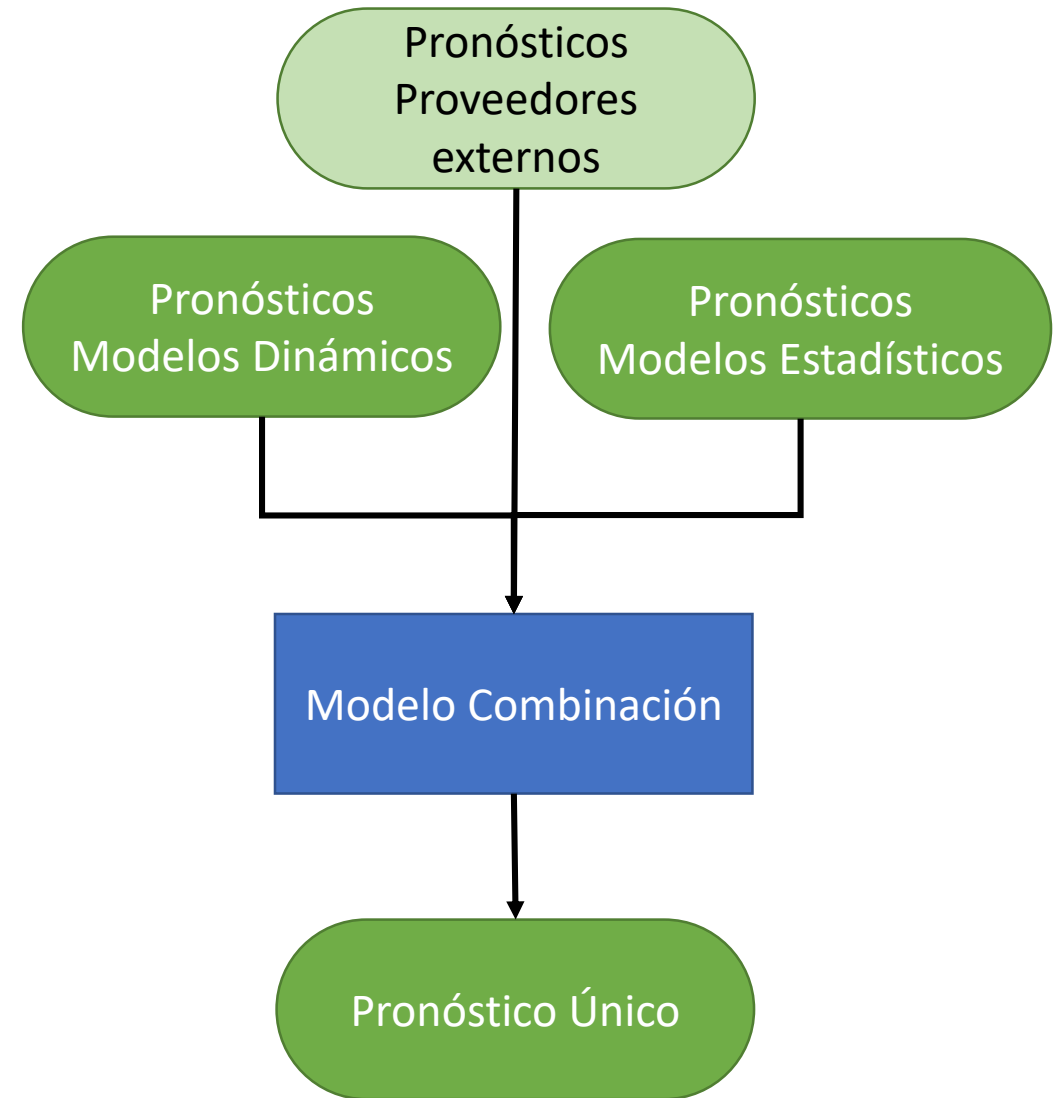
Características plantas:

- Capacidad instalada
- Tipo generador (ecuación)
- Disponibilidad



Modelos de Combinación

- Los modelos de combinación permiten asignar pesos a diferentes pronósticos y de esta forma obtener un único pronóstico.
- El pronóstico que se obtiene es mejor que los que lo componen, pues **asigna mayores pesos en los horizontes donde mejor se comportan los modelos.**



Metodologías de pronóstico en XM

Estadísticos

Persistencia

Regresión lineal múltiple (RLM)

Redes neuronales – perceptrón multicapa

Redes neuronales – Memoria corto largo plazo

Máquina de regresión vectorial de soporte

Dinámicos

Conversión a energía

Ajuste por mínimos cuadrados

Ajuste cuantil a cuantil

Regresión lineal multivariada

Redes Neuronales

Combinación de pronósticos

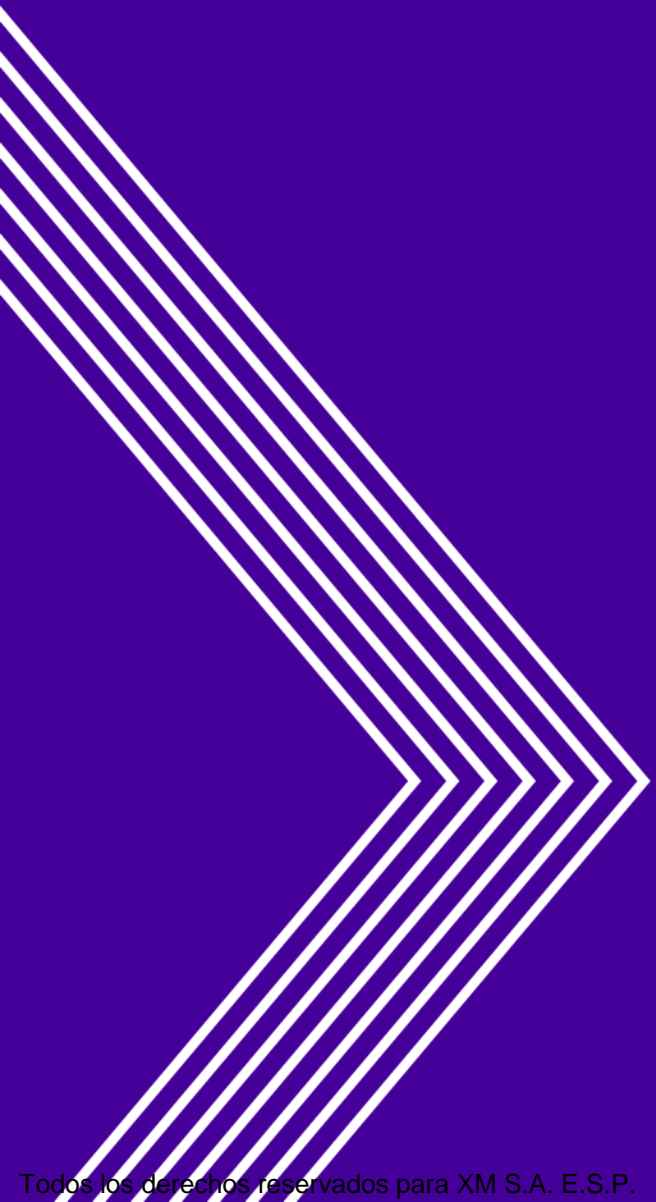
Promedio no ponderado

Promedio OLS

Promedio bayesiano

Promedio Adaboosting

- El desarrollo de múltiples metodologías permite evaluar cuáles son las más adecuadas y combinar varias para obtener pronósticos más confiables → **Resultado: Pronóstico oficial**



Diapositivas Adicionales





Servicio de consulta a las desviaciones de los pronósticos



Servicio de consulta a las desviaciones de los pronósticos

El servicio permite a los diferentes procesos de XM **acceder a las desviaciones de pronóstico para plantas individuales y agregaciones.**

Las desviaciones que se pueden consultar corresponden a los pronósticos oficiales

Los procesos pueden consultar las desviaciones **por horizonte y específicamente para despacho**



Para pronósticos horarios: horizonte hasta de 15 días (1-360)
Para pronósticos 5 minutales: horizonte de hasta 8 horas (1-96)

Servicio de consulta a las desviaciones de los pronósticos

Entrada:

- Elementos (lista de plantas)
- Agregación (tipo de planta – solar o eólica)
- Tipo de horizonte (despacho o intervalo)
- Horizonte
- Resolución de pronóstico (5 minuta u horario)
- Fecha inicial pronosticada
- Fecha final pronosticada
- Serie de tiempo de observaciones (PI o Contadores)

Salida:

- Fecha de realización del pronóstico
- Fecha inicial pronosticada
- Fecha final pronosticada
- Metodología de pronóstico
- Lista de fechas pronosticadas
- Lista de valores de potencia/energía **observados**
- Lista de valores de potencia/energía **pronosticados**
- Lista de valores de **desviaciones** de potencia/energía



Desviación = Valor pronosticado – Valor observado

Servicio de consulta a las desviaciones de los pronósticos

Entrada – Ejemplo Despacho:

```
{ "Elements": ["Eol0001"],  
  "Aggregations": [ ],  
  "HorizonType": "despacho",  
  "Horizon": [ ],  
  "ForecastType": 60,  
  "ForecastStartDate": "2019-10-03 09:00:00",  
  "ForecastEndDate": "2019-10-03 10:00:00",  
  "OriginTimeSeries": "PI" }
```

Despacho: 08:00AM Dia 0
StartDate: 01:00AM Dia1
EndDate : 24:00 Dia1
Horizon :17-40

Salida:

```
{ "aggregation": null,  
  "resource": "Eol0001",  
  "forecastType": 60,  
  "originTimeSeries": "PI",  
  "forecastStartDate": "2019-10-03 09:00:00",  
  "forecastEndDate": "2019-10-03 10:00:00",  
  "methodology": "Meteologica1090",  
  "timeSeries": ["2019-10-03 09:00:00",  
                 "2019-10-03 10:00:00"],  
  "forecastedValue": [1, 1],  
  "realValue": [1, 1],  
  "deviation": [0, 0],  
  "status": true,  
  "message": "" }
```

Servicio de consulta a las desviaciones de los pronósticos

Entrada –

Ejemplo Agregado Intervalo 5 minutas:

```
{ "Elements": [ ],  
  "Aggregations": ["S"],  
  "HorizonType": "intervalo",  
  "Horizon": [3],  
  "ForecastType": 5,  
  "ForecastStartDate": "2019-10-03 09:05:00",  
  "ForecastEndDate": "2019-10-03 09:10:00",  
  "OriginTimeSeries" : "PI" }
```

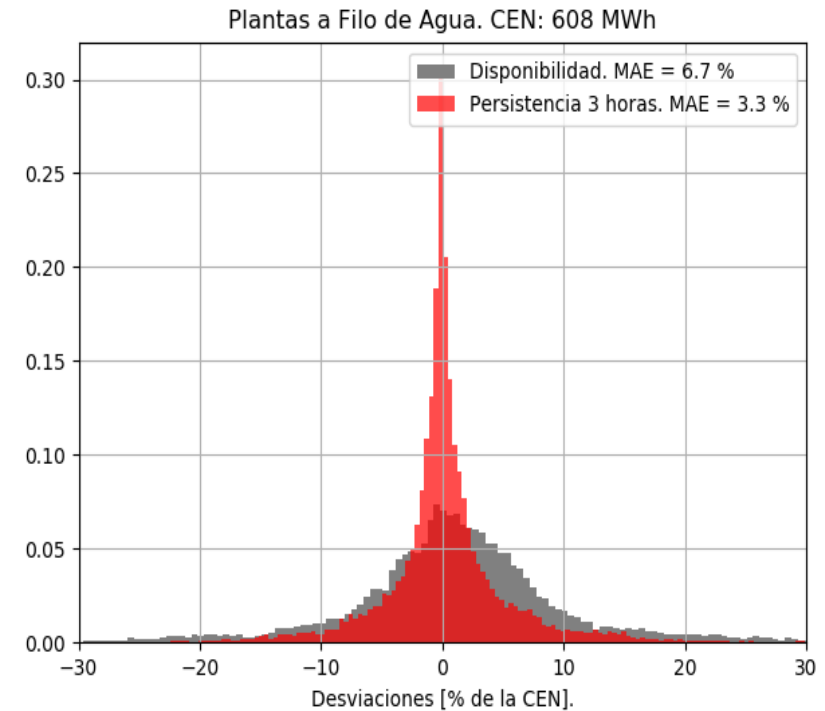
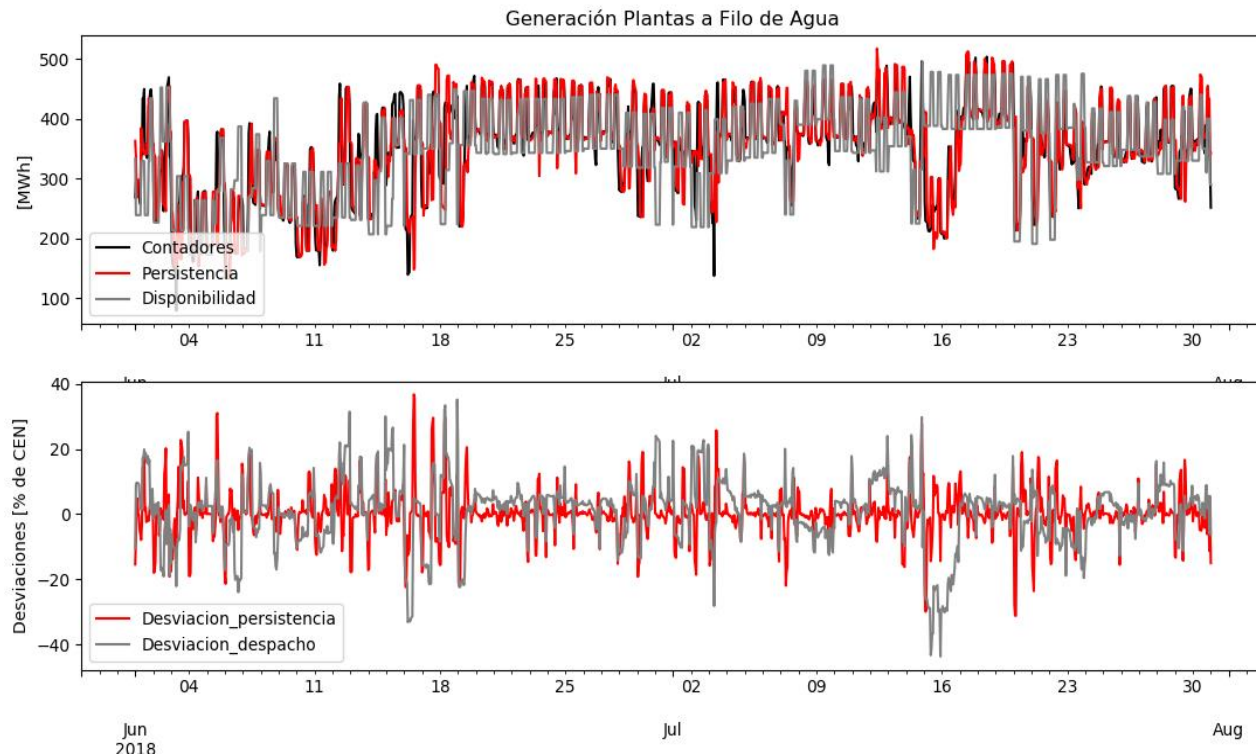
Salida:

```
{ "aggregation": "S",  
  "resource": "Sol0001",  
  "forecastType": 5,  
  "originTimeSeries": "PI",  
  "forecastStartDate": "2019-10-03 09:05:00",  
  "forecastEndDate": "2019-10-03 10:10:00",  
  "methodology": "Meteologica1090",  
  "timeSeries": ["2019-10-03 09:05:00",  
                 "2019-10-03 09:10:00"],  
  "forecastedValue": [82, 80],  
  "realValue": [78, 84],  
  "deviation": [4, -4],  
  "status": true,  
  "message": "" }
```

Servicio de consulta a las desviaciones de los pronósticos

Tiempo;	Valor real observado[MWh];	Pronóstico[MWh];	Desviación[MWh]
2019-10-01 08:00;	0.96;	0.65;	-0.31
2019-10-01 09:00;	2.58;	1.87;	-0.71
2019-10-01 10:00;	3.90;	3.07;	-0.83
2019-10-01 11:00;	5.00;	4.26;	-0.74
2019-10-01 12:00;	5.54;	5.51;	-0.03
2019-10-01 13:00;	5.52;	4.88;	-0.64
2019-10-01 14:00;	5.36;	4.91;	-0.45
2019-10-01 15:00;	4.68;	4.58;	-0.10
2019-10-01 16:00;	3.55;	4.53;	0.98

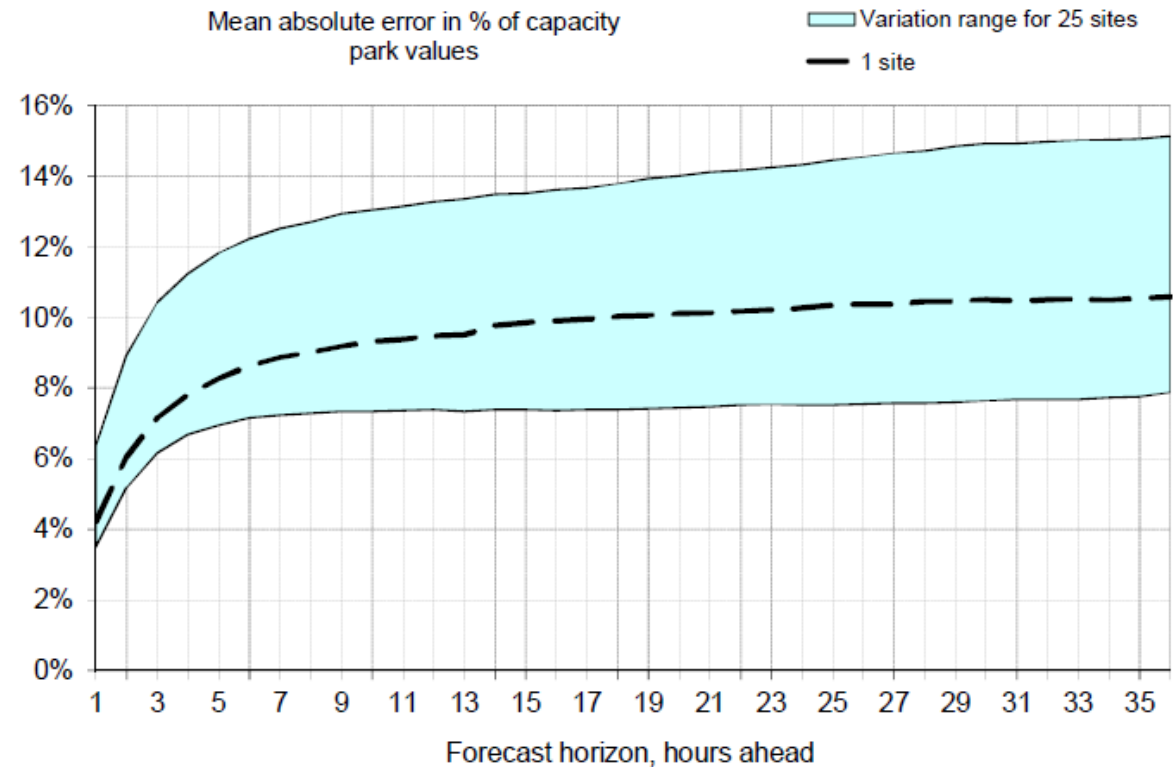
Ejemplo: Análisis de plantas a filo de agua



Conocer la incertidumbre asociada con los pronósticos permite determinar las reservas adicionales que se requieren en el sistema dada la integración de los recursos variables.

Horizontes de pronóstico: Importancia de los redespachos y de la supervisión.

- El horizonte de pronóstico afecta las desviaciones que se obtienen en para los pronósticos.
- **Los errores aumentan rápidamente con el horizonte de pronóstico.** Un mayor número de redespachos ayuda a una minimización de estas desviaciones.
- Contar con una supervisión de las plantas es necesario para minimizar las desviaciones.



Tomado de:

VIT, 2013. *Wind power forecasting accuracy and uncertainty in Finland.*

Ver también:

Ahlstrom et. al, 2013, *Knowledge Is Power: Efficiently Integrating Wind Energy and Wind Forecasts*

¿Cómo se evalúan los pronósticos?

- Sesgo

$$\text{Sesgo} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \hat{E}_n - E_n$$

- Error absoluto medio

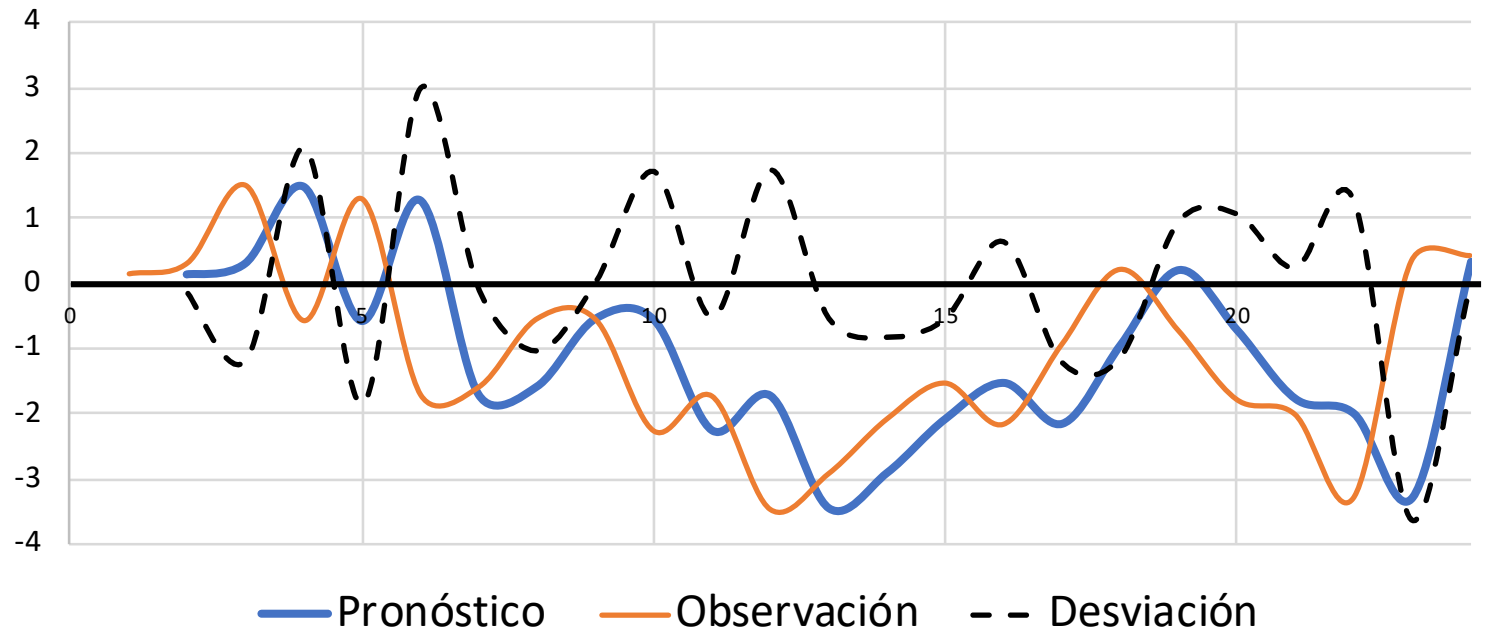
$$\text{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |\hat{E}_n - E_n|$$

- Error cuadrático medio

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\hat{E}_n - E_n)^2}$$

- Correlación

Ejemplo pronostico de persistencia



Sesgo	-0.012
MAE	1.112
RMSE	1.427

Tipo de pronóstico: Beneficios de la distribución geográfica

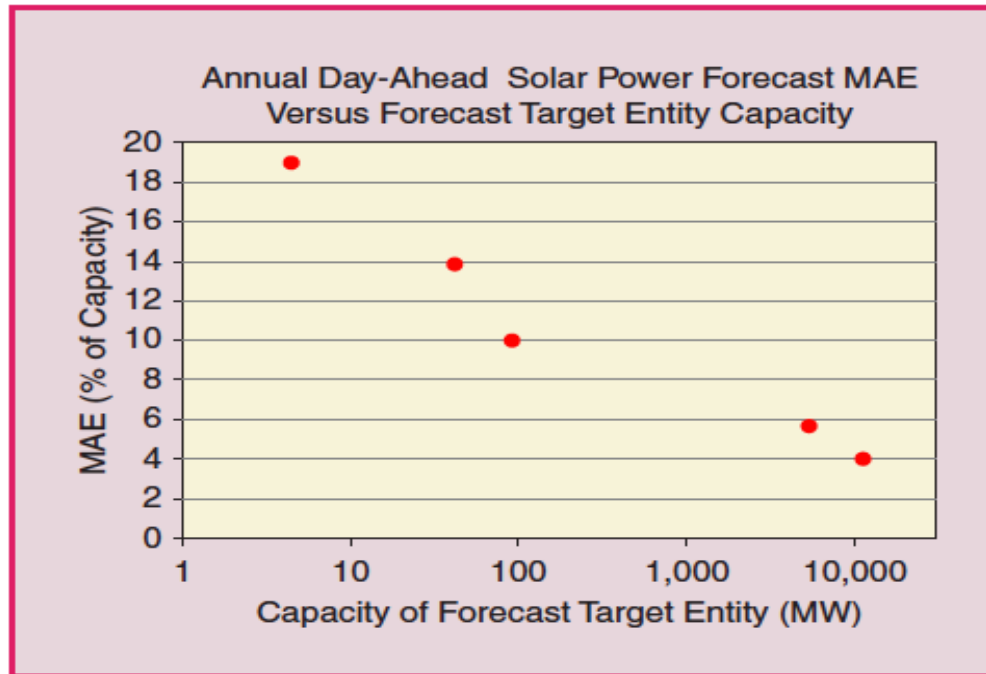


figure 7. The relationship of the annual day-ahead solar power forecast MAE (% of capacity) over all daylight hours to the installed capacity of the forecast target entity for a broad spectrum of entities (individual facility, regional, or system-wide aggregate).

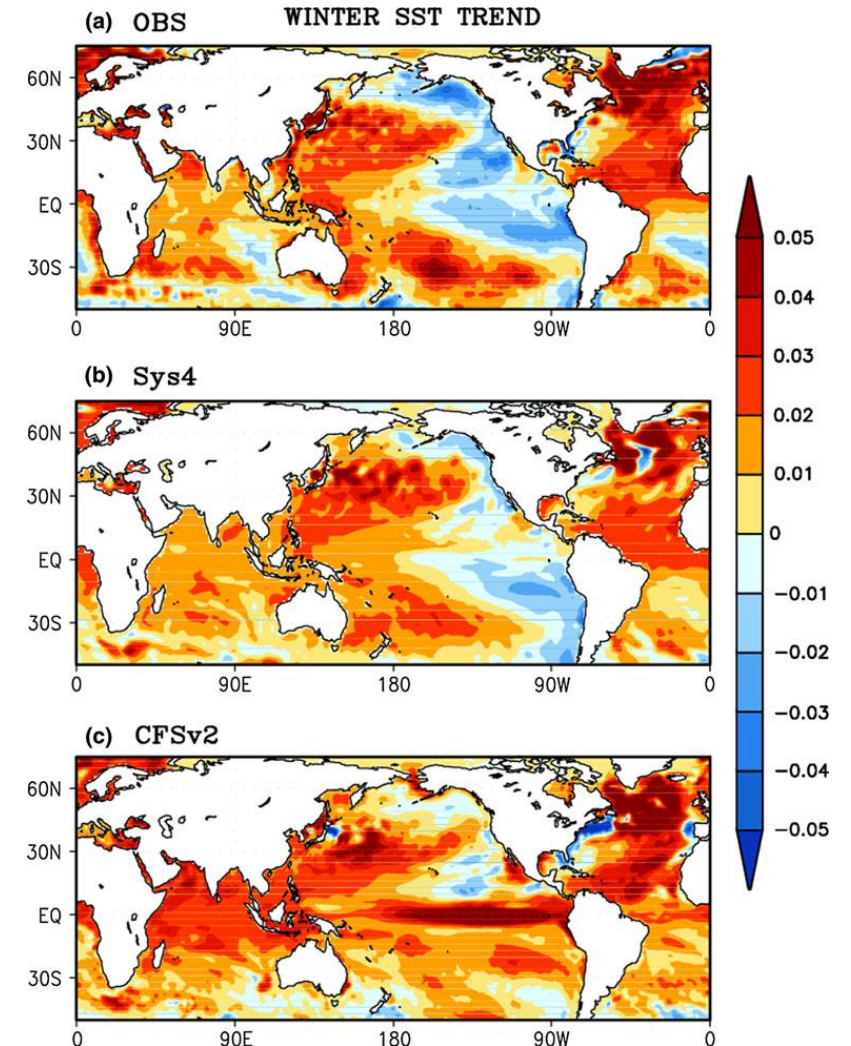
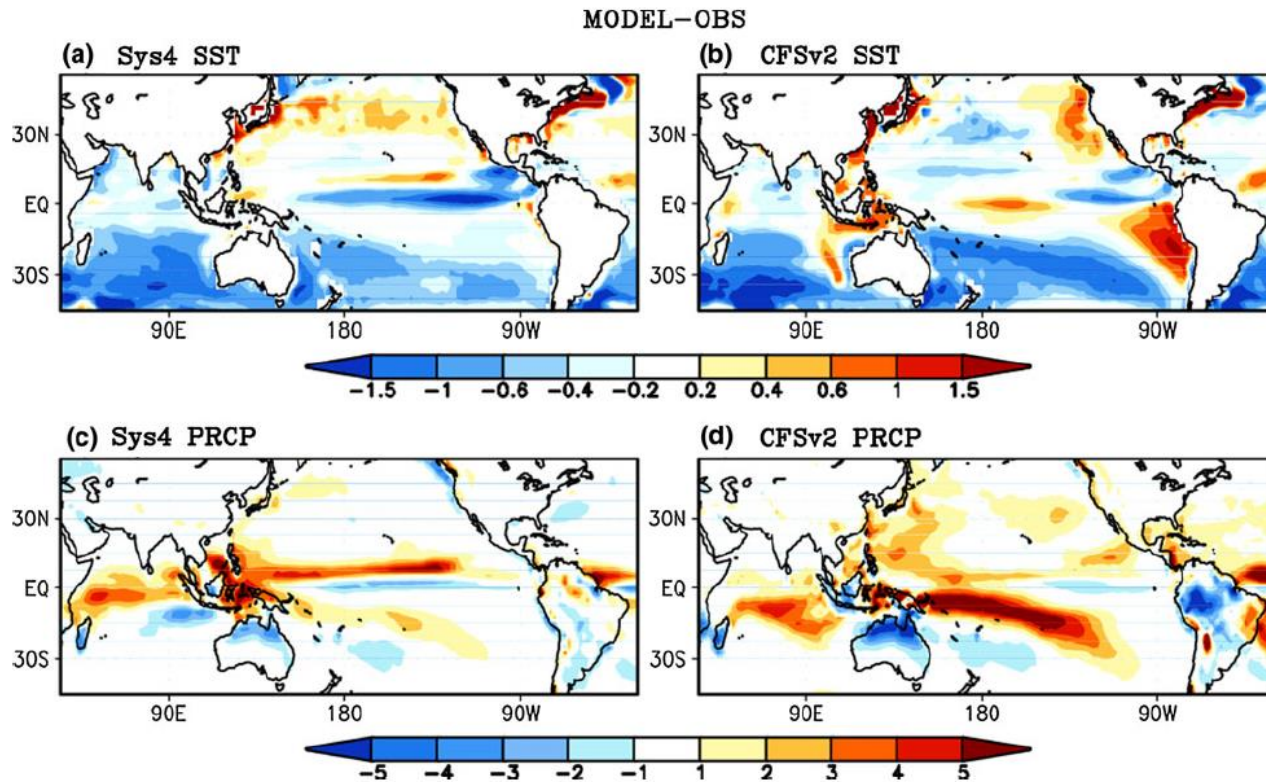
Las desviaciones que se obtiene de los pronósticos de una **agregación de plantas variables** es menor que las desviaciones que se obtienen para plantas individuales.

Pronósticos de mediano y largo plazo



Modelos dinámicos de predicción climática

Estamos evaluando el uso de modelos de reanálisis para la planeación de largo plazo, con horizontes de hasta 10 años, y modelos de pronóstico estacional para la planeación de mediano plazo, con horizontes de hasta 2 años.



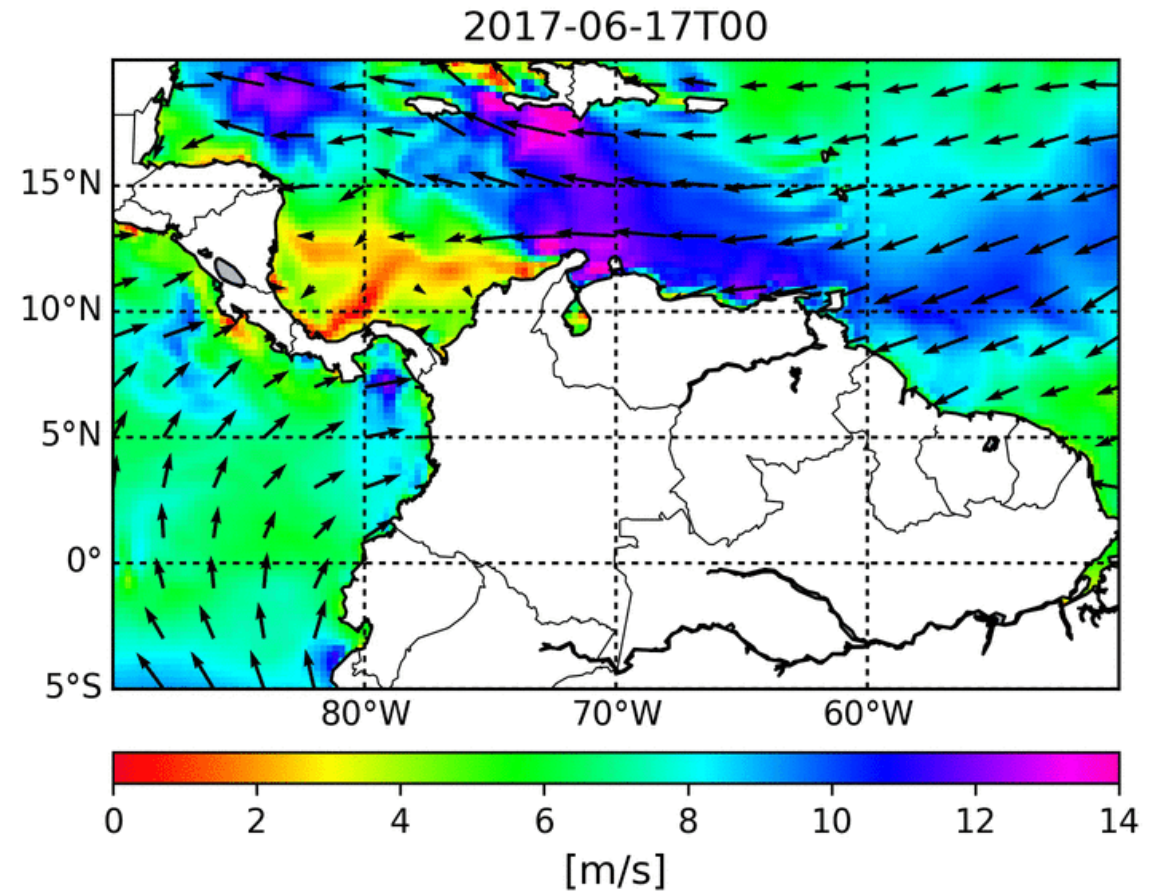


Recurso Solar y Eólico en Colombia – Información hidrometeorológica

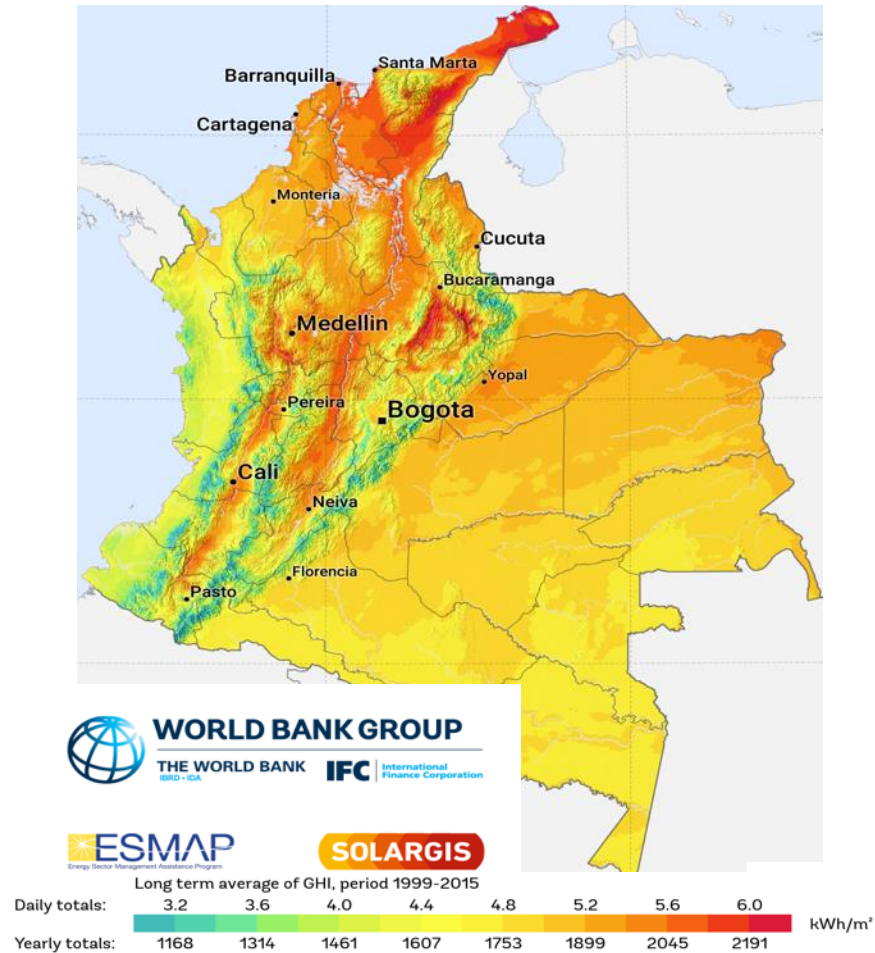


Importancia de los pronósticos basados en modelos dinámicos

Los pronósticos permiten estimar el impacto que diferentes fenómenos meteorológicos y climáticos tendrán sobre la generación renovable.

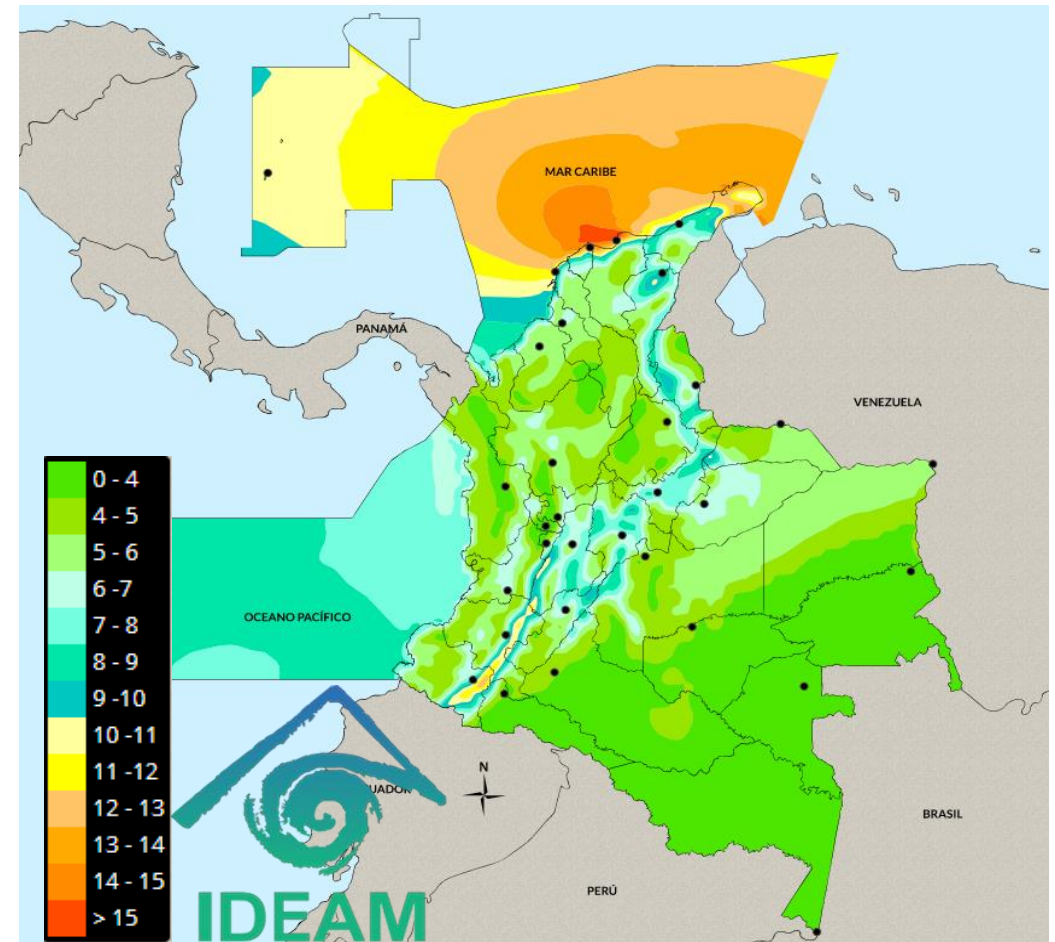


Potencial Solar



El mayor potencial solar se encuentra en la zona de la Guajira y en los Valles interandinos

Potencial Eólico



El mayor potencial eólico se encuentra en La Guajira y está relacionado con la presencia de la Corriente de Chorro del Caribe.

Información Hidrometeorológica

La información hidrometeorológica es necesaria para la operación y planeación de los sistemas de potencia pues **permite conocer y pronosticar el comportamiento del sistema ante diferentes escenarios meteorológicos.**

