



## **Operación del sistema uruguayo con con alta integración de energía Eólica**



**Ing. Ruben Chaer**

**Gerente de Técnica y Despacho Nacional de Cargas.**

**Administración del Mercado Eléctrico.**

***3/5/2023 Montevideo – Uruguay.***

# Instituciones

## Ministerio de Industria y Energía (MIEM).

Dirección Nacional de Energía (DNE).



Ministerio  
de Industria,  
Energía y Minería

## Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua (URSEA)



Unidad Reguladora  
de Servicios de Energía y Agua

## Administración del Mercado Eléctrico (ADME)

Es una Persona Pública No Estatal, cuya dirección está a cargo de un Directorio integrado por cinco miembros: uno por el Poder Ejecutivo -que lo presidirá-, uno por la Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas, uno por la Delegación Uruguaya de la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande y los otros dos representarán a los demás agentes del mercado: Grandes Consumidores y Generadores Privados.



# Bases de la organización del mercado eléctrico.

- Mercado abierto a Generación y Consumidores.  
(Dos productos: Energía y Potencia)
- Monopolio regulado en Transmisión y Distribución.

Se crea la ADME con las funciones:

- Despacho óptimo centralizado.
- Liquidación del Mercado Spot de Energía.
- Liquidación del Mercado de contratos.

# Principios básicos del Despacho Óptimo Centralizado.

- Despacho por Costos Variables.
- Valorización del agua en los embalses por su valor futuro.
- Sanción de Precio Spot como el Costo Marginal Operativo con techo de 250 US\$/MWh.
- Los Contratos funcionan como instrumentos de mitigación de riesgo y no tienen influencia sobre el despacho económico.
- Cuatro escalones de falla fijados por el poder ejecutivo.
  - 2%=CTR+10% , 5%=600 US\$/MWh, 7.5%=2400 US\$/MWh y 85.5%=4000 US\$/MWh

# Participantes 1/8/2022

76 Participantes generadores.

1 Operador de la red de Transmisión.

1 Operador de la red de Distribución.

1 Comercializador de Distribución.

Los generadores son Grandes Consumidores por sus demandas.

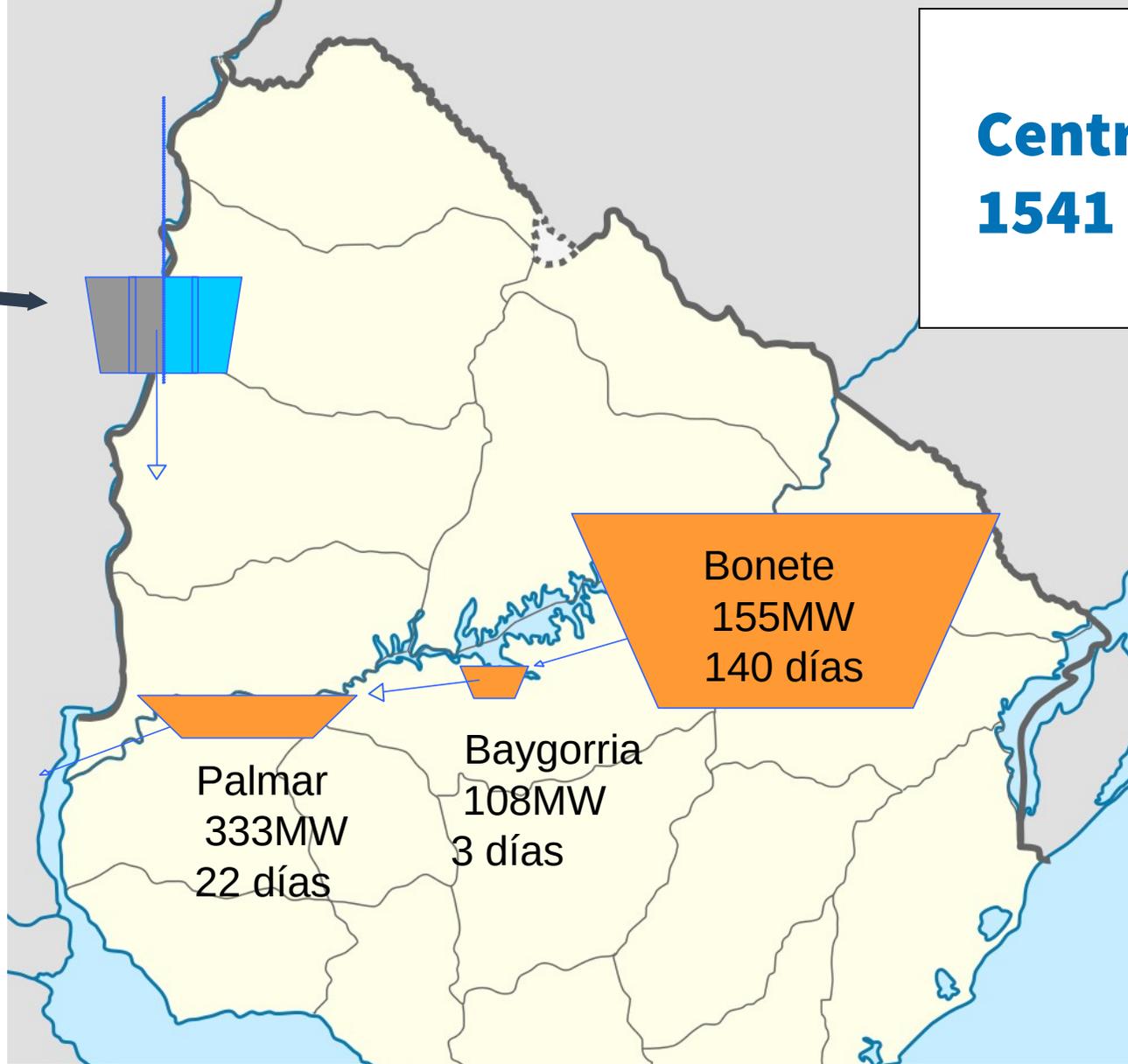
Si bien la ley lo permite, hasta el momento no hay consumidores industriales libres.

A la fecha han iniciado la tramitación tres consumidores industriales para constituirse en Participantes Grandes Consumidores.



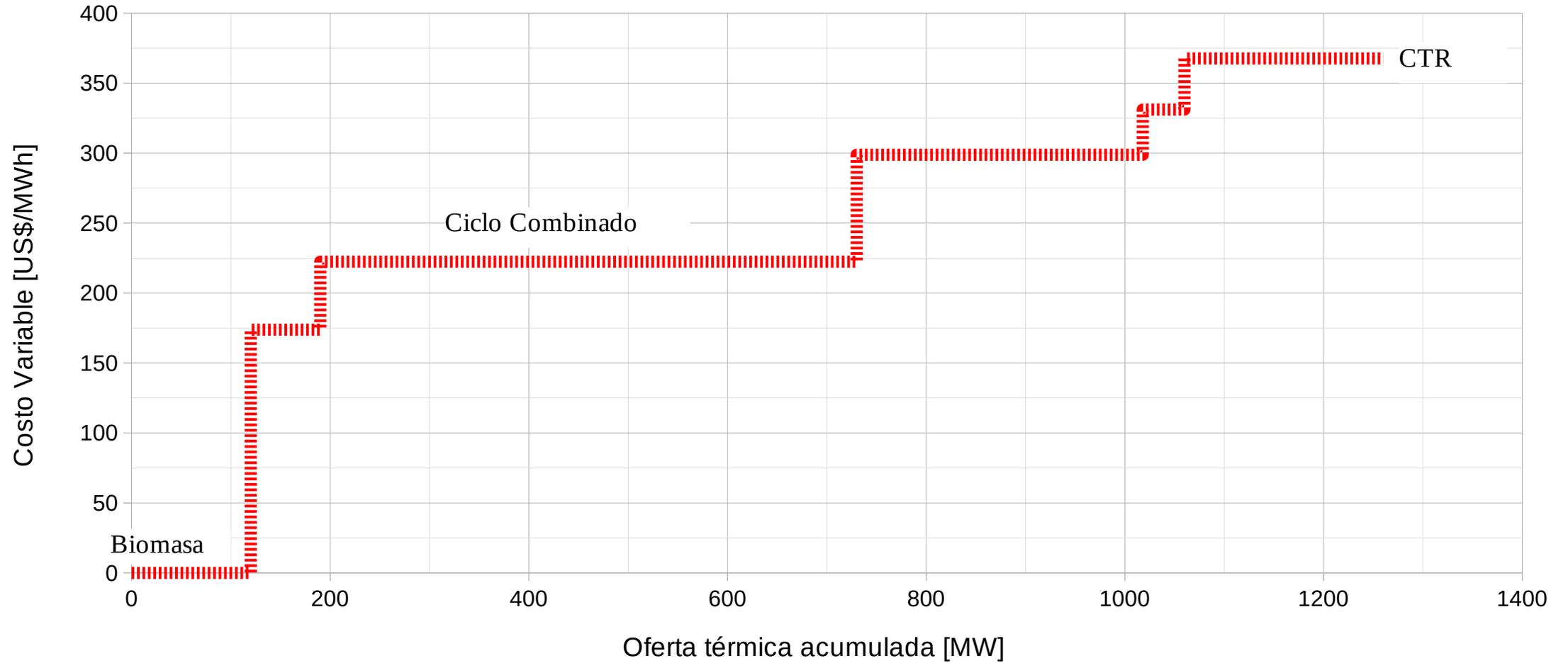
## Centrales hidráulicas 1541 MW

Salto Grande  
(50% UY)  
945MW  
8 días



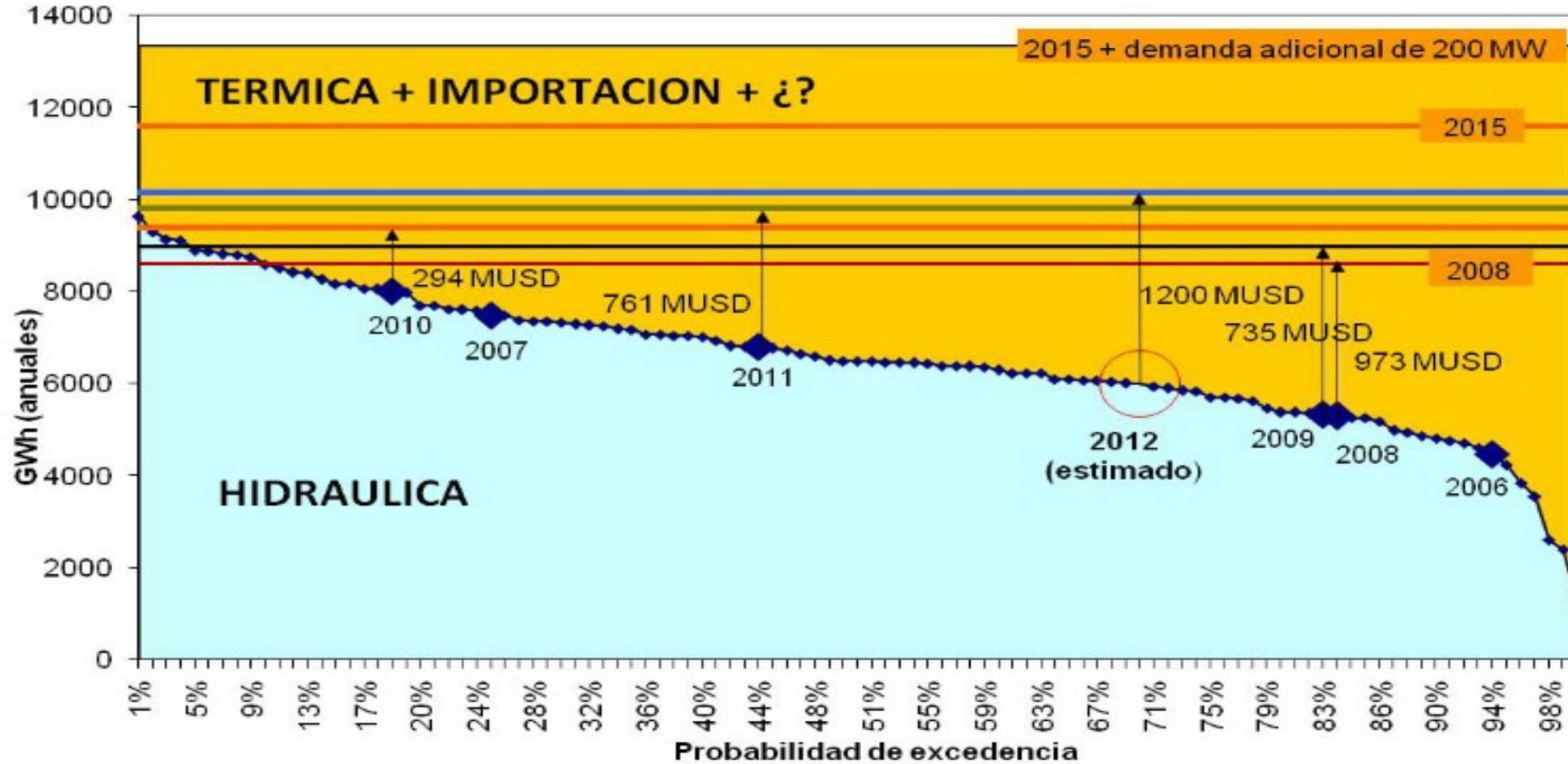
Expansión futura: No quedan grandes proyectos por realizar. Posibilidad de generación distribuida en mini y micro aprovechamientos 200 MW.  
Centrales de bombeo distribuidas 300 – 1000 MW

# Oferta térmica (principalmente gasoil)



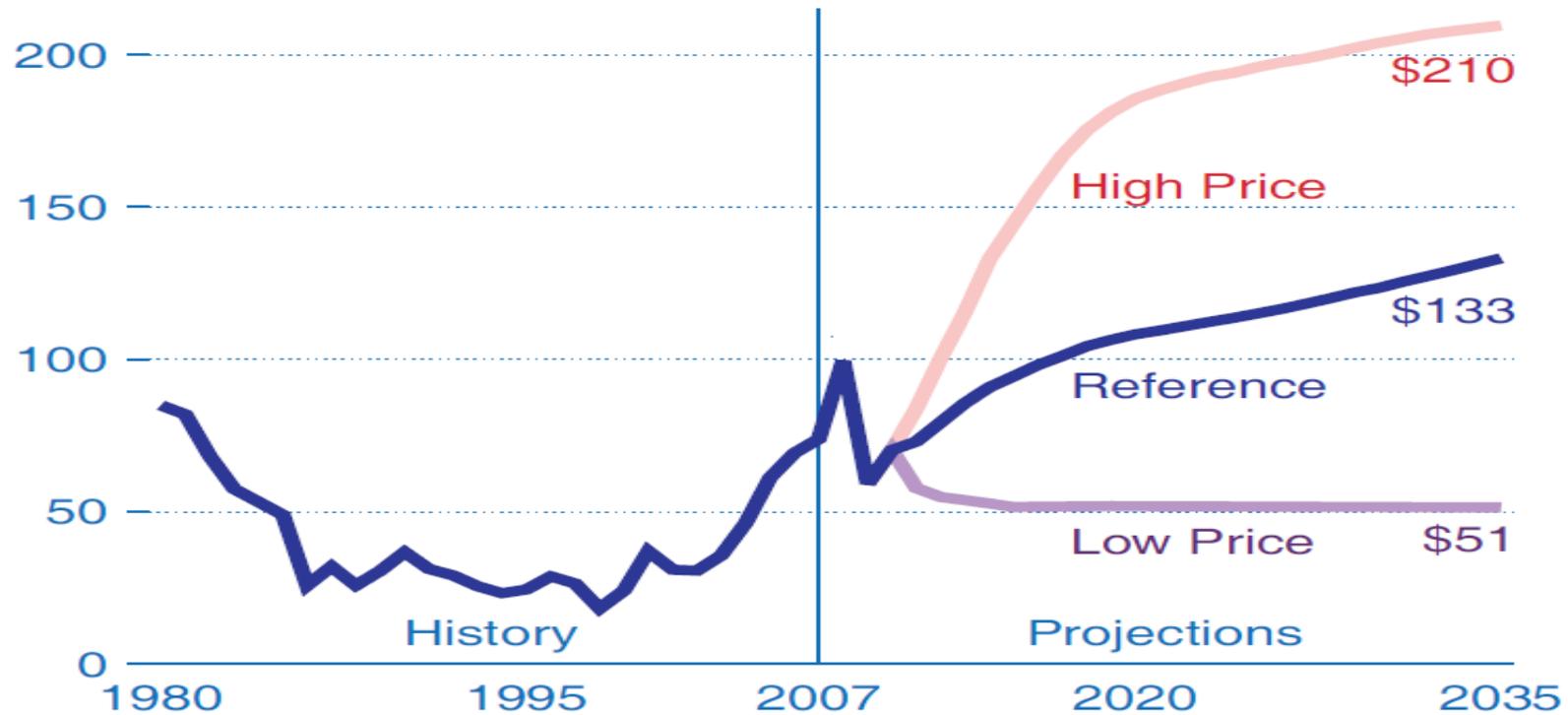
@13-junio-2022 @ WTI: 118 U\$S/bbl

# Uruguay 2010 -2011 en una imagen.

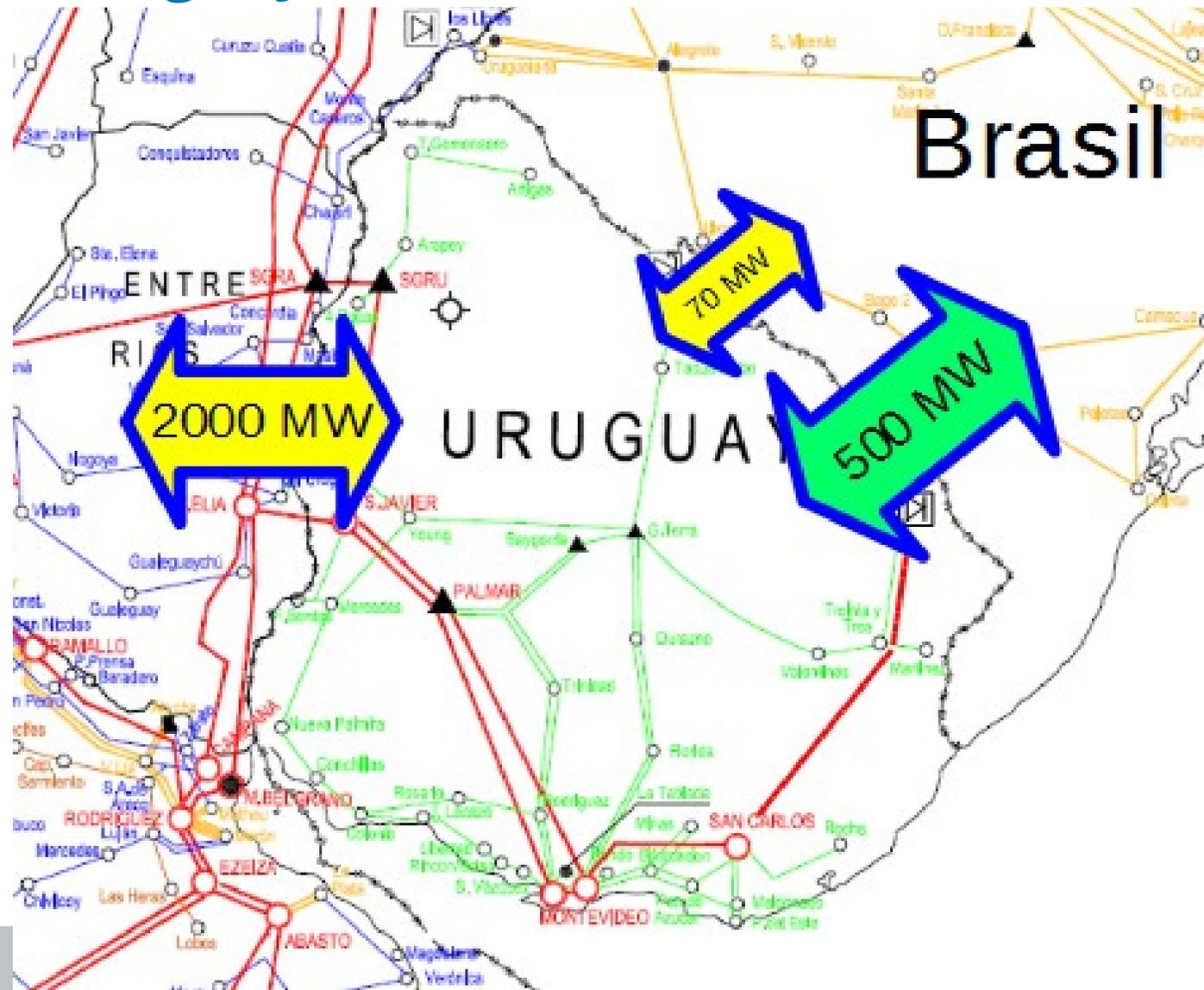


# Riesgo de CAD

**Figure 32. World oil prices in three cases, 1980-2035 (2008 dollars per barrel)**



# Interconexiones Uruguay

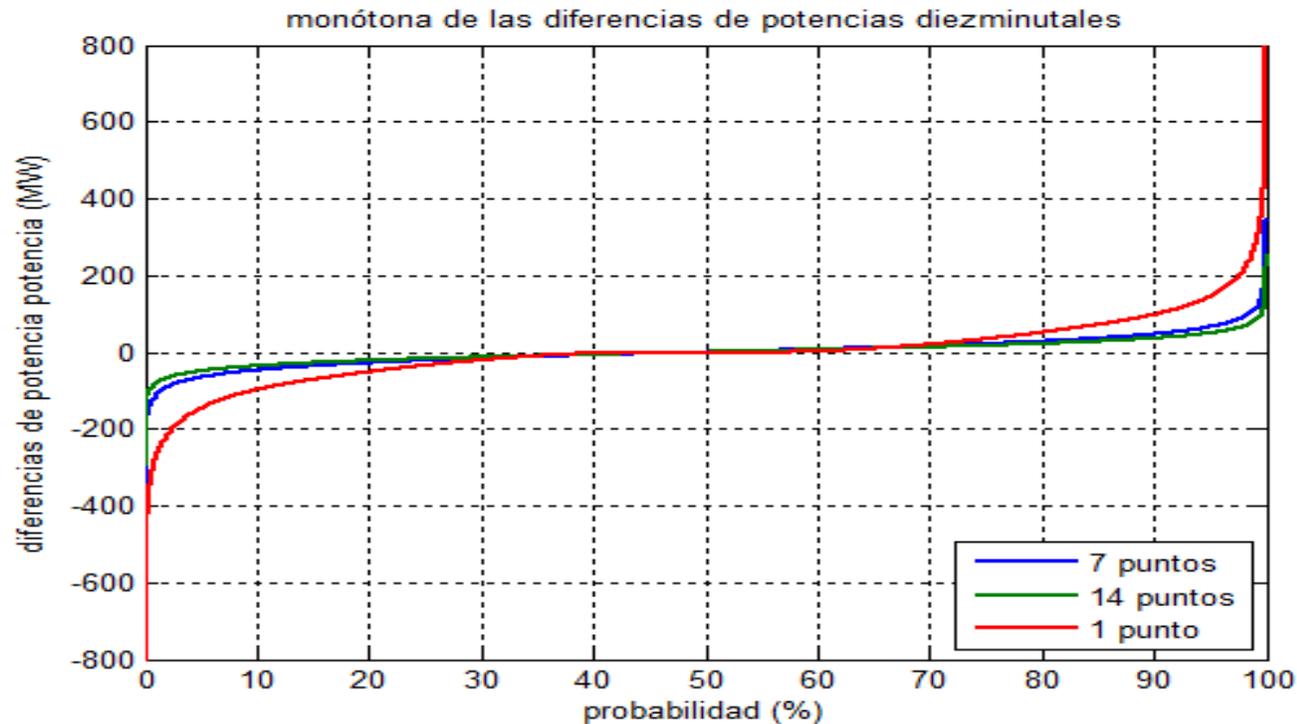


**Diseño 2010**





## VARIABILIDAD DE MUY CORTO PLAZO (10min-1 hora)



**La variabilidad de la generación eólica en el cortísimo plazo (plazos de hasta 1 hora) no representa problemas de manejo para el sistema. Se observa que esta variabilidad es menor cuanto más cantidad de centrales y más distribuidas se encuentran.**

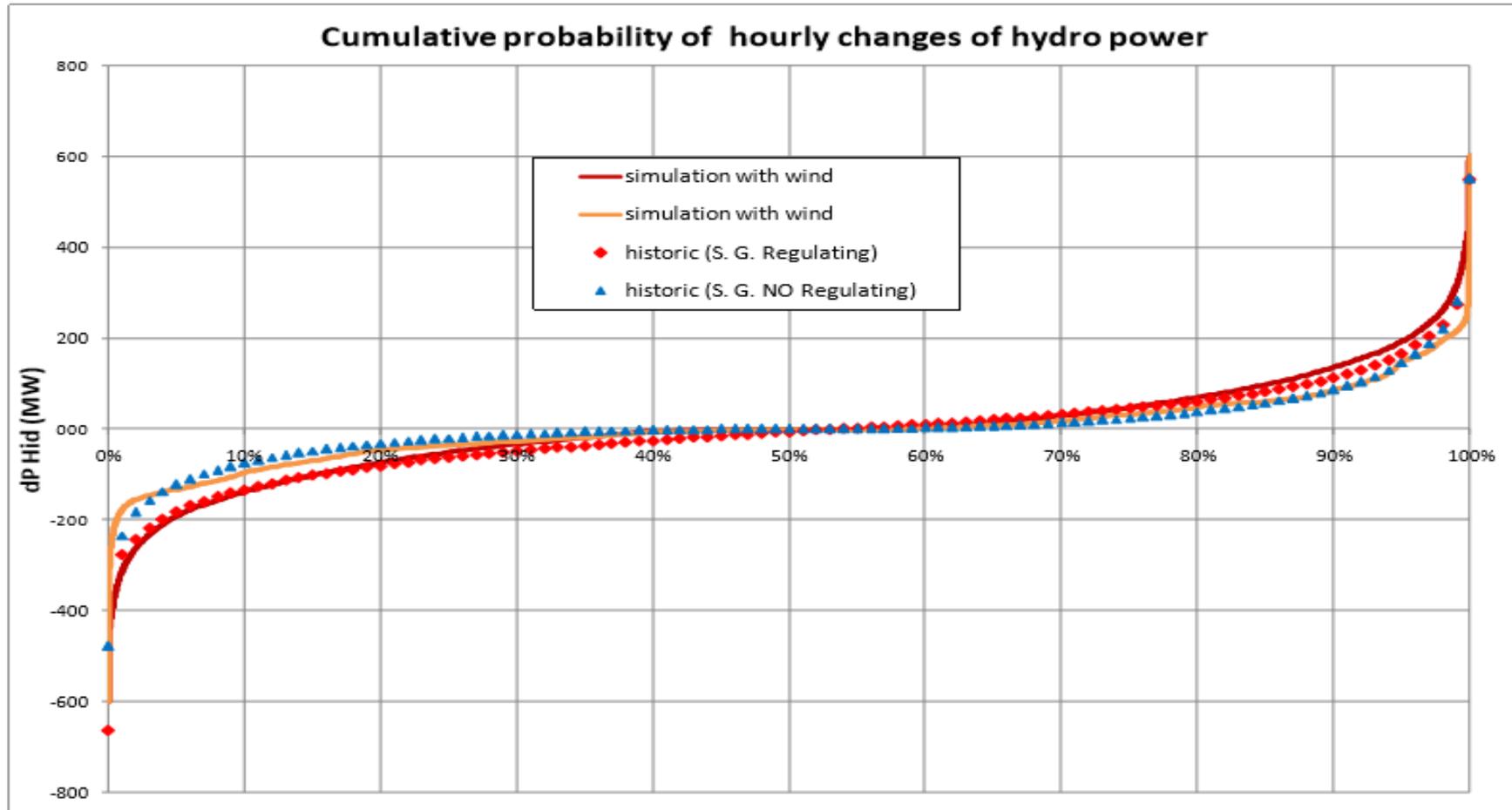
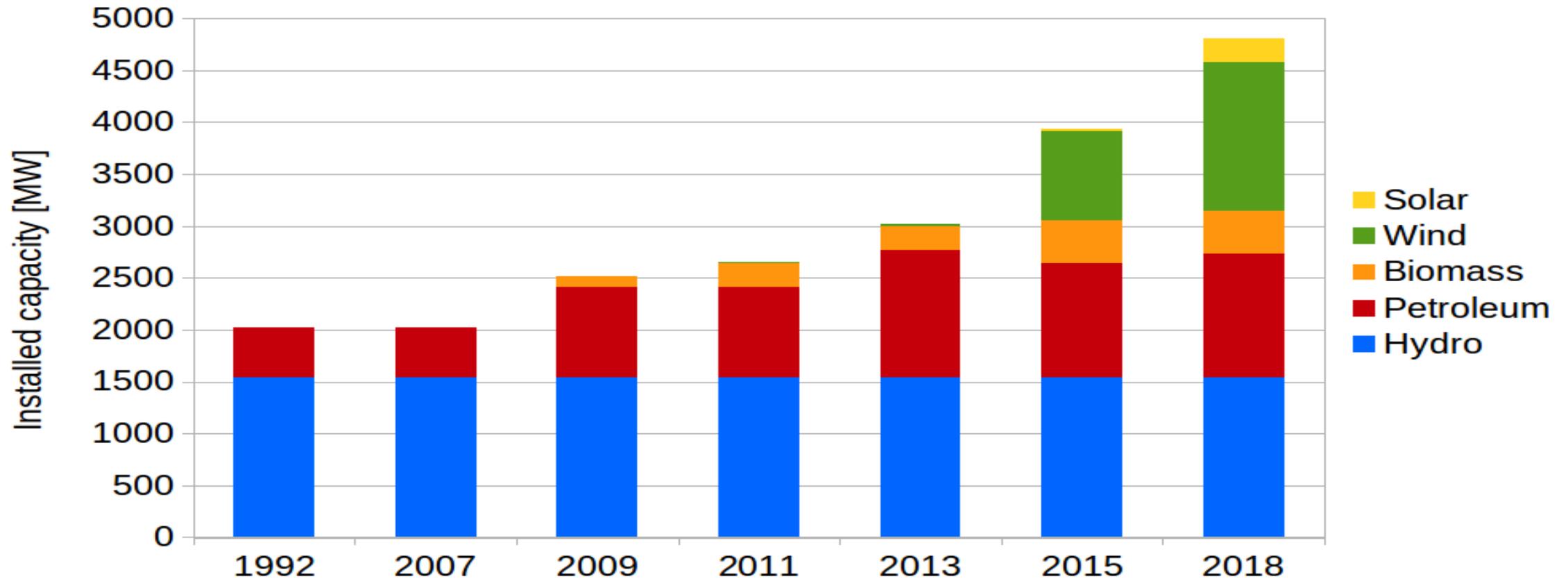
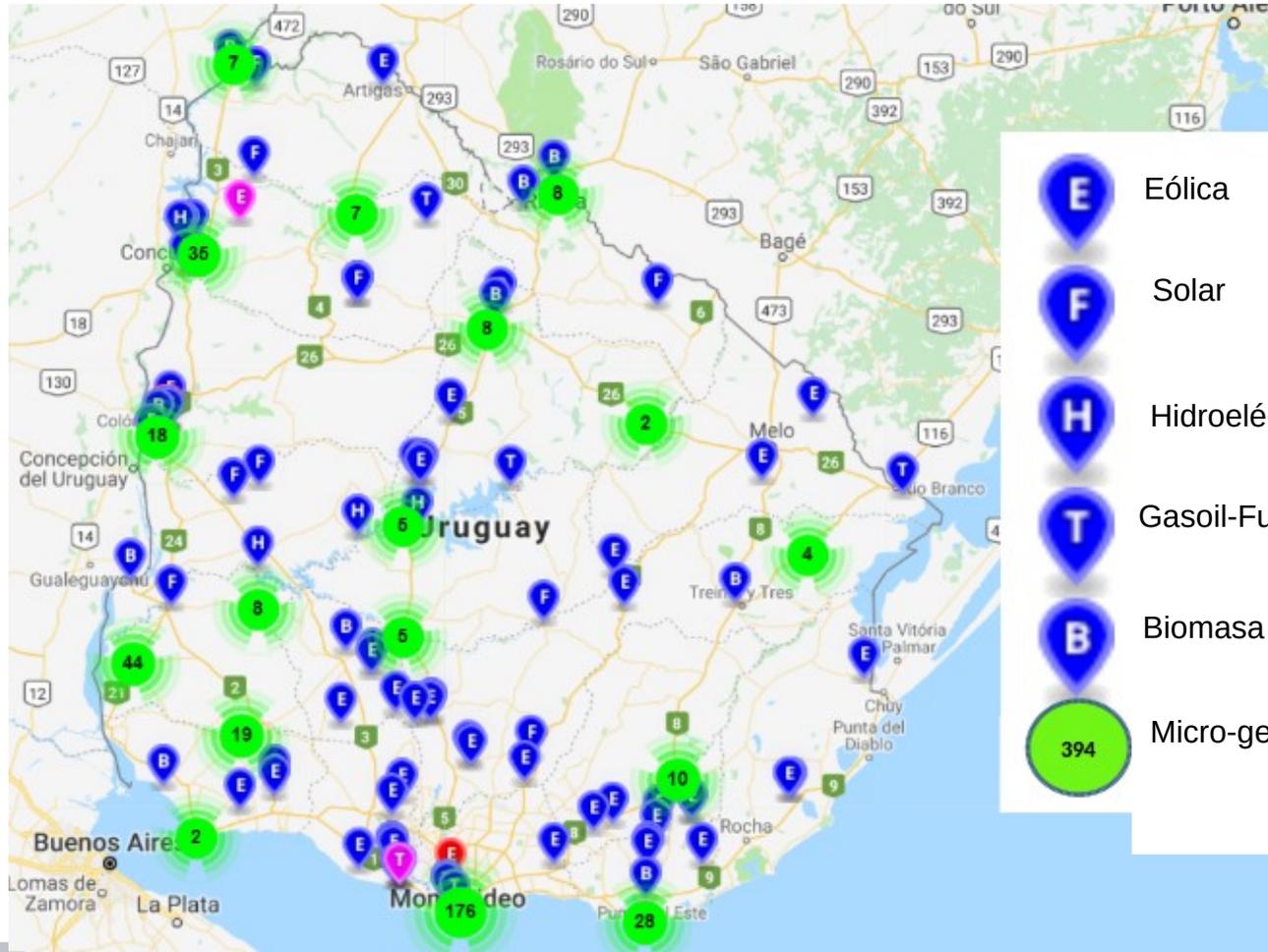


Fig.5: Cumulative probability of hydraulic power changes from one hour to the next, simulation with wind, simulation without wind, historic data with Salto Grande regulating and historic data with Salto Grande no regulating.

# Capacidad instalada



# Demanda 2021 pico 2200 MW, energía: 11200 GWh



- E** Eólica
- F** Solar
- H** Hidroeléctrica
- T** Gasoil-Fueloil
- B** Biomasa
- 394** Micro-generador

4812	MW
1432	
226	
1538	
1191	
413	
12	



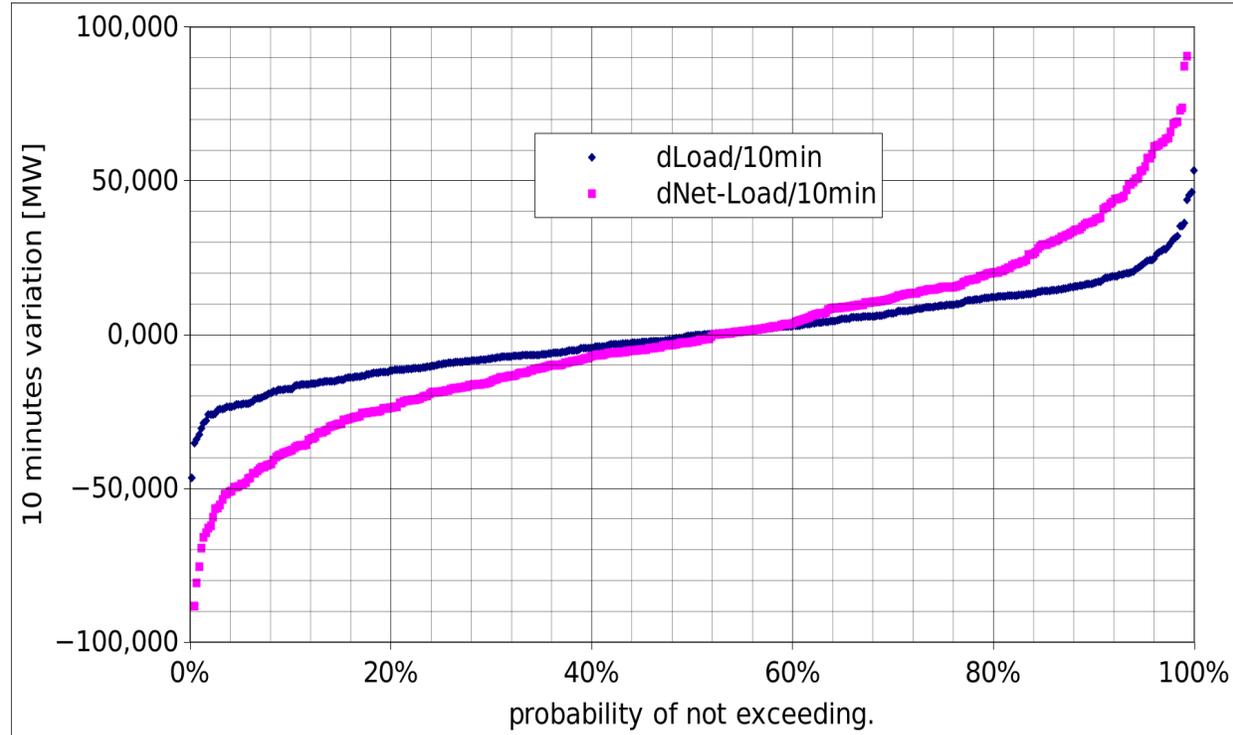
# Realidad 2016



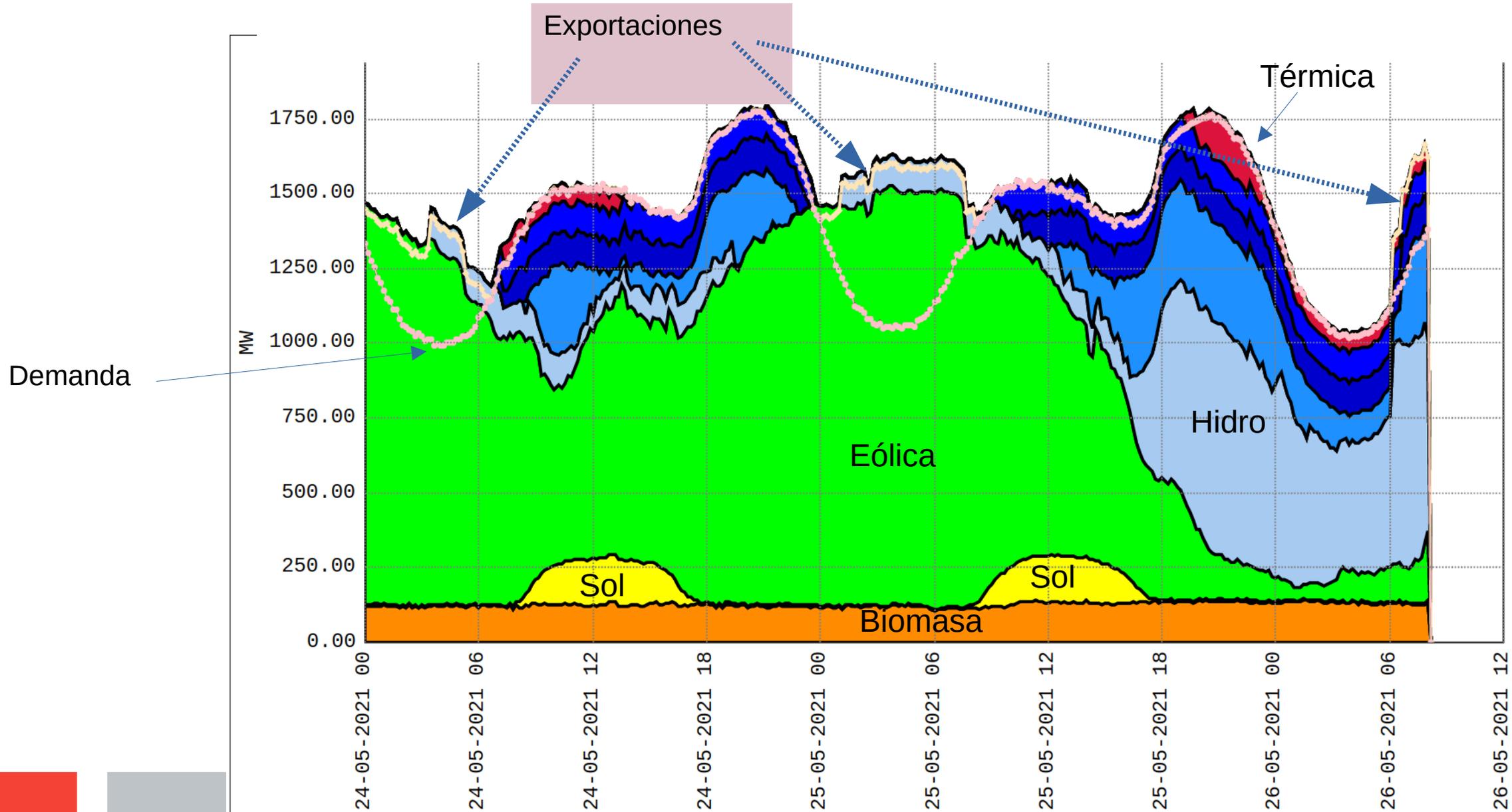


Al final las variaciones reales resultaron menores a las estimadas en 2011.

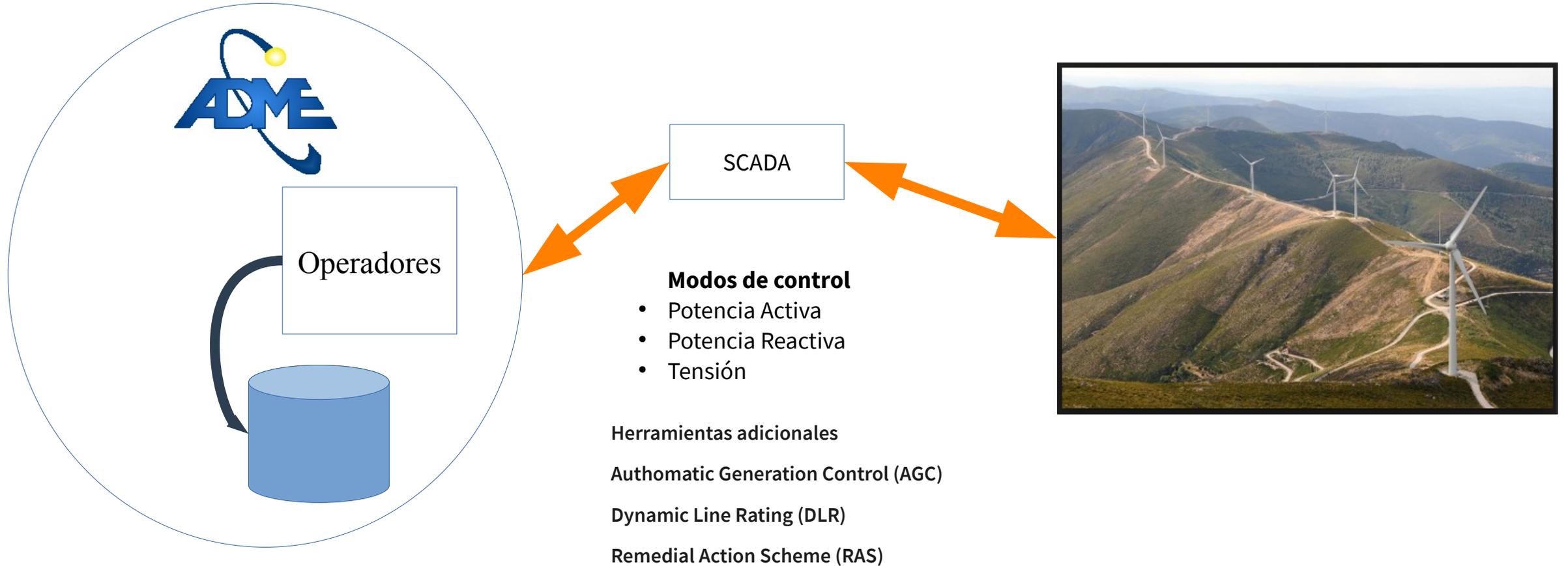
La Demanda Neta requiere solo 25MW adicionales de reserva rotante.



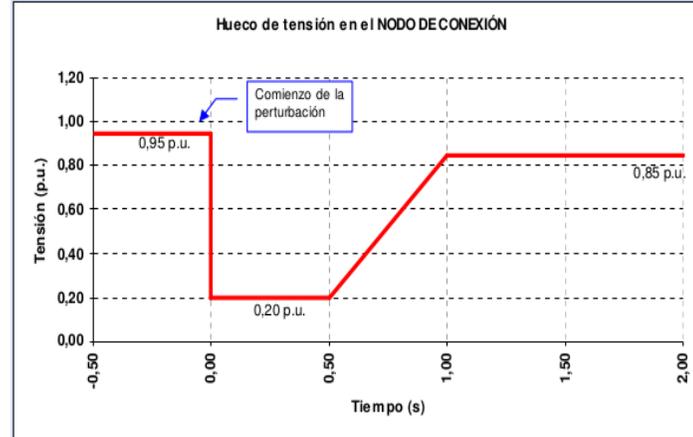
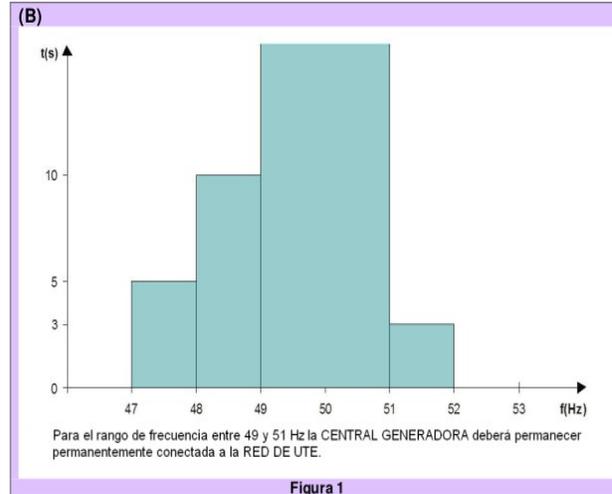
# 48 horas de operación, mayo 2021 solo de ejemplo.



# Control sobre la Potencia Activa y Reactiva de todos los generadores



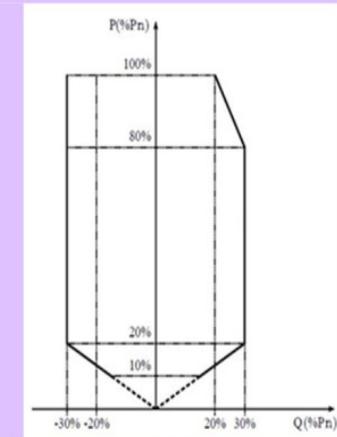
# Códigos de red.



(A)  
Cada unidad generadora de energía eléctrica debe como mínimo poder absorber o inyectar en barras de máquina una potencia reactiva de  $\pm 15\%$  de su potencia activa nominal, a tensión nominal en dichas barras.

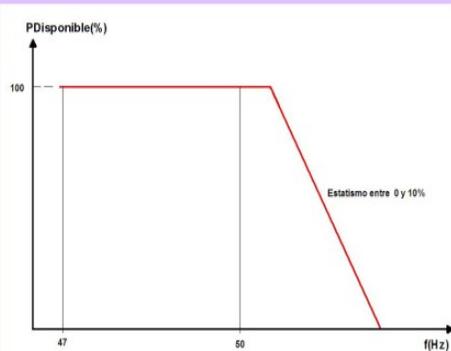
(B)  
Las unidades generadoras deben como mínimo poder absorber o inyectar potencia reactiva en función de la potencia activa generada de acuerdo a la curva P,Q de la Figura 3.

Cuando la potencia activa generada sea menor al 10 % de la potencia nominal de la unidad generadora, no se exige una capacidad mínima de absorción o inyección de reactiva.



**Figura 3**

El ajuste del control de potencia activa – frecuencia se aplica para el rango entre 50 y 52 Hz, tal como se muestra en la Figura 2, y el mismo es definido por el DNC.

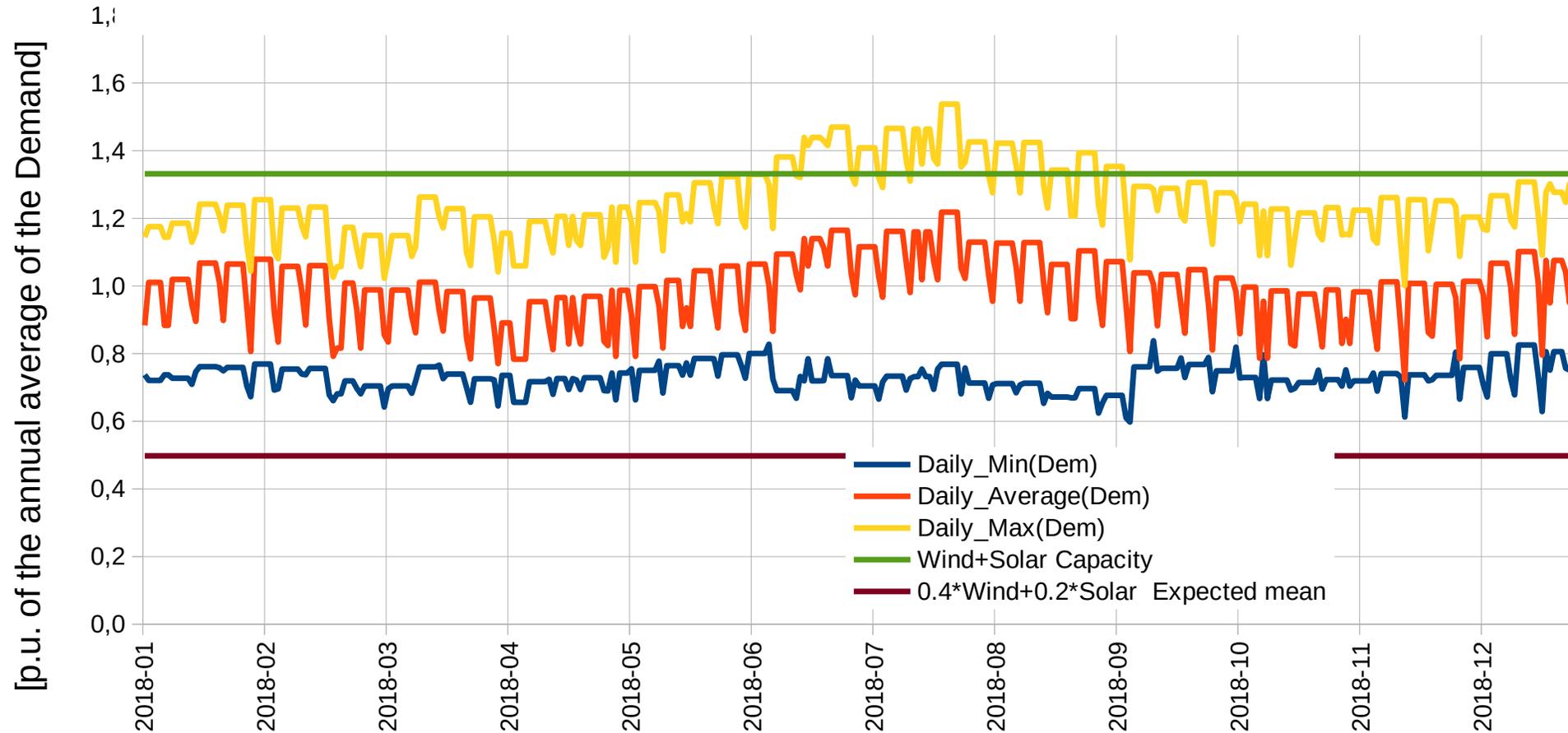


Los controles de potencia activa de las unidades generadoras deberán cumplir los siguientes requisitos:

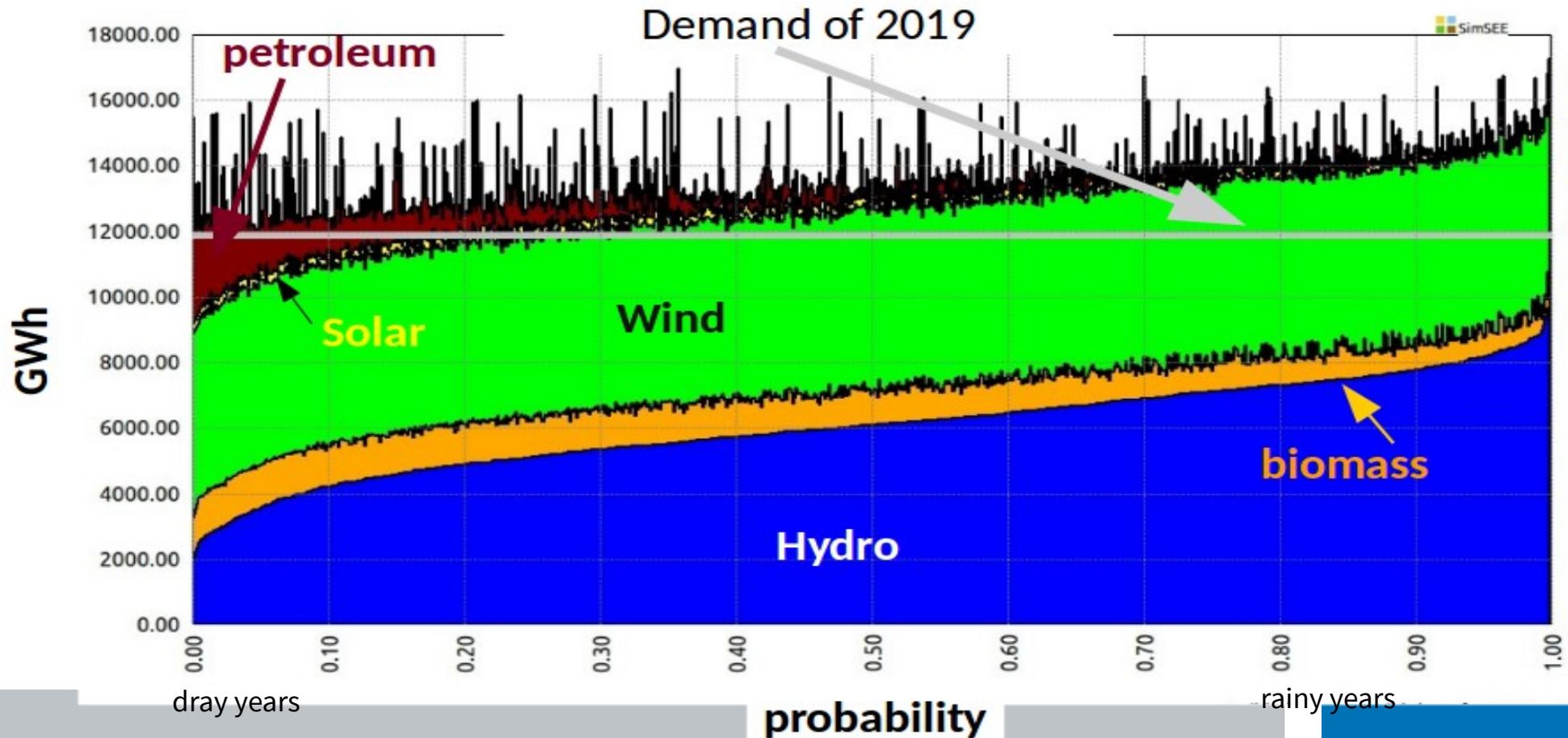
- Estatismo con valores entre 0 y 10 % para frecuencias entre 47 y 52 Hz, cambiables bajo carga.
- La velocidad de respuesta debe poder ajustarse entre 1 y 10 % de la potencia nominal de la unidad generadora por segundo.

## Uruguay 2018.

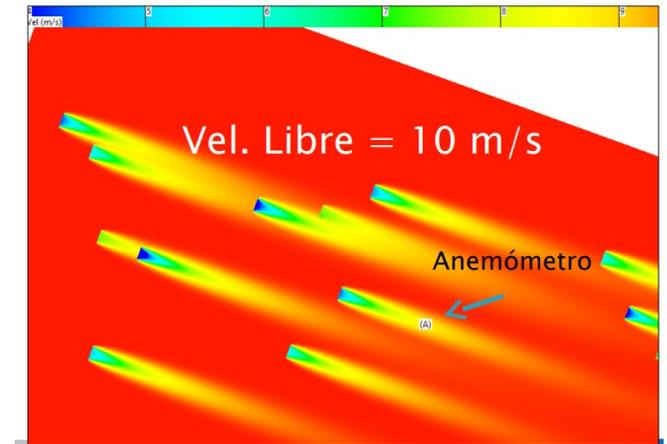
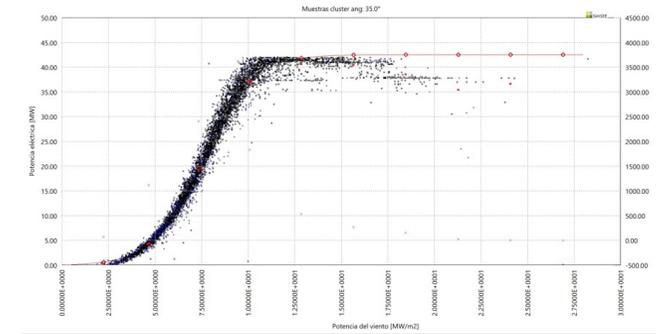
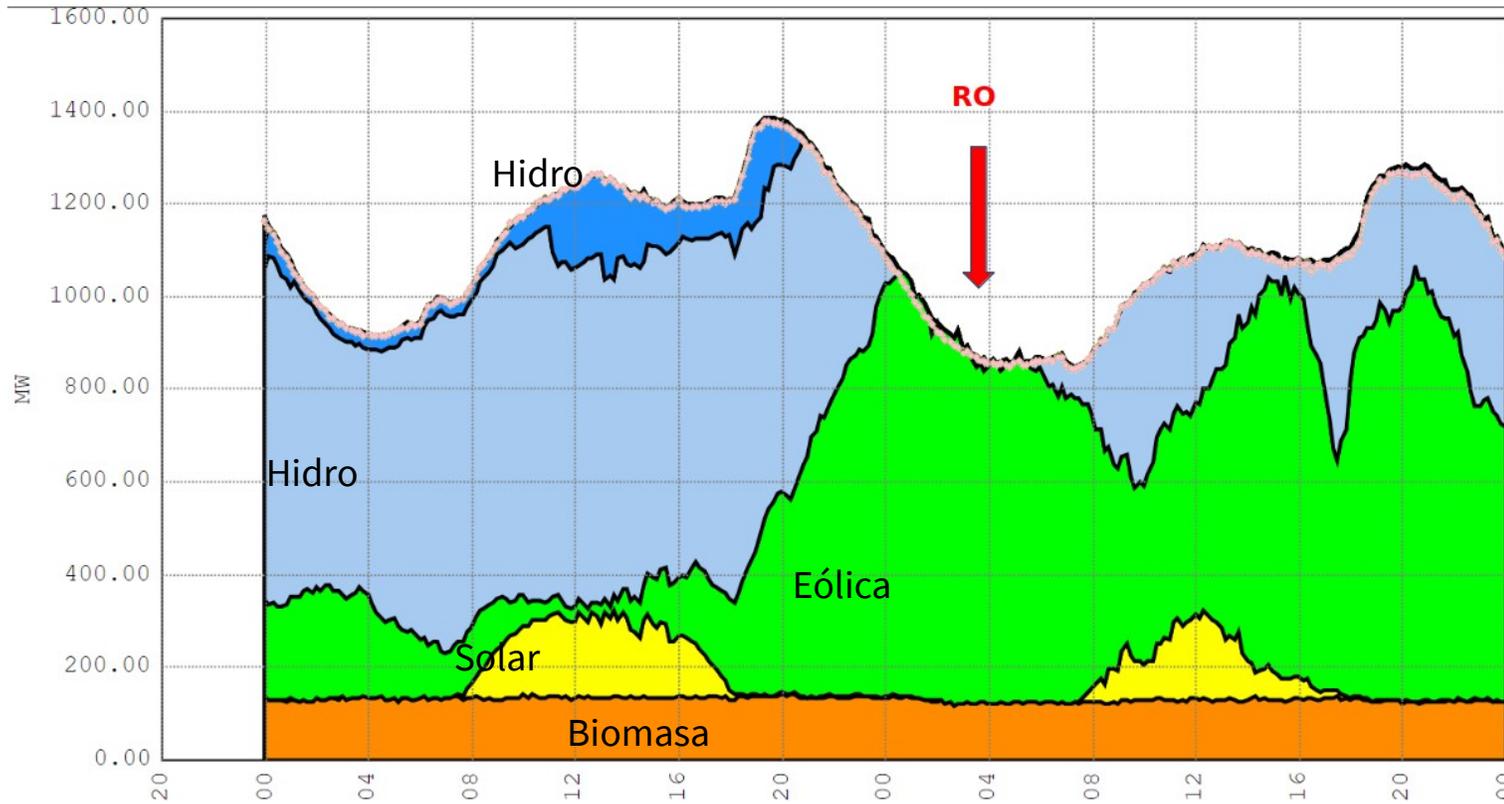
La capacidad instalada de energía solar más eólica supera el pico diario de La Demanda en el 70% de los días del año.



# Variabilidad del suministro de energía anual Uruguay 2019.



# Restricciones Operativas: Decreto 59/015



## INTERMITENCIA

Diferentes fuentes de variabilidad requieren diferentes capacidades de filtrado



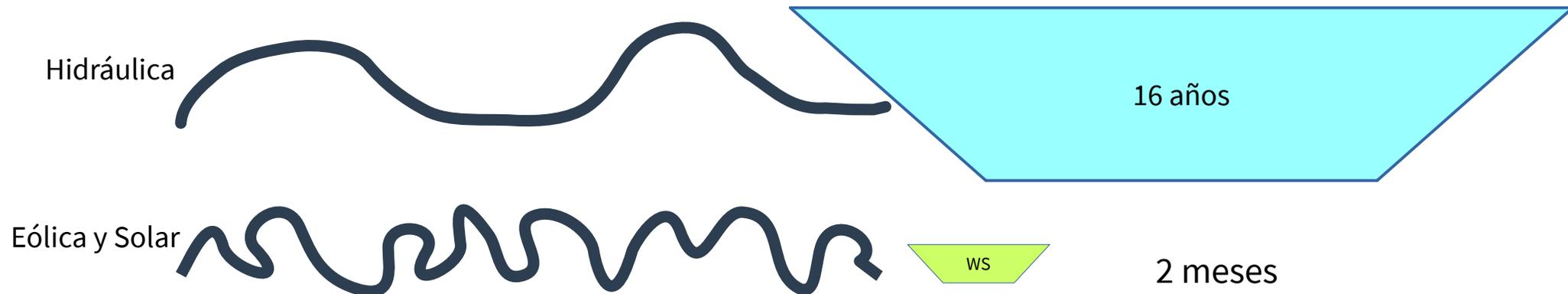
Hidráulica

Eólica

Solar

## Variabilidad de los recursos en Uruguay.

Una medida de la dificultad para manejar un recurso variable es el tiempo que hay que promediar la energía para obtener el valor esperado con un 10% de error con una confianza de 90%. Esto da una medida del volumen del almacén de energía necesario para filtrar las variabilidades.



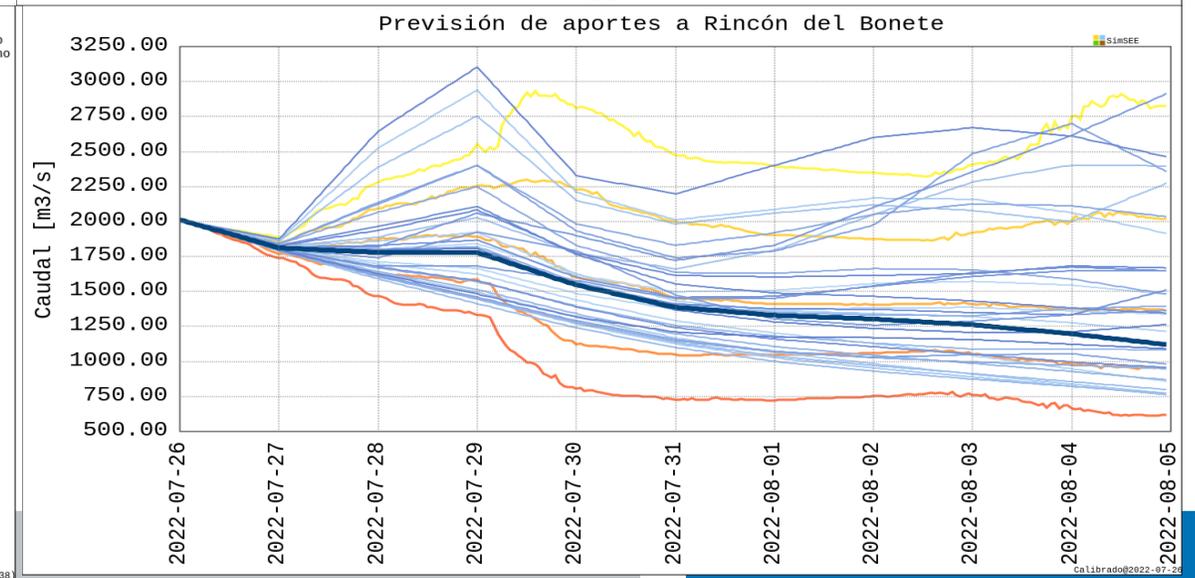
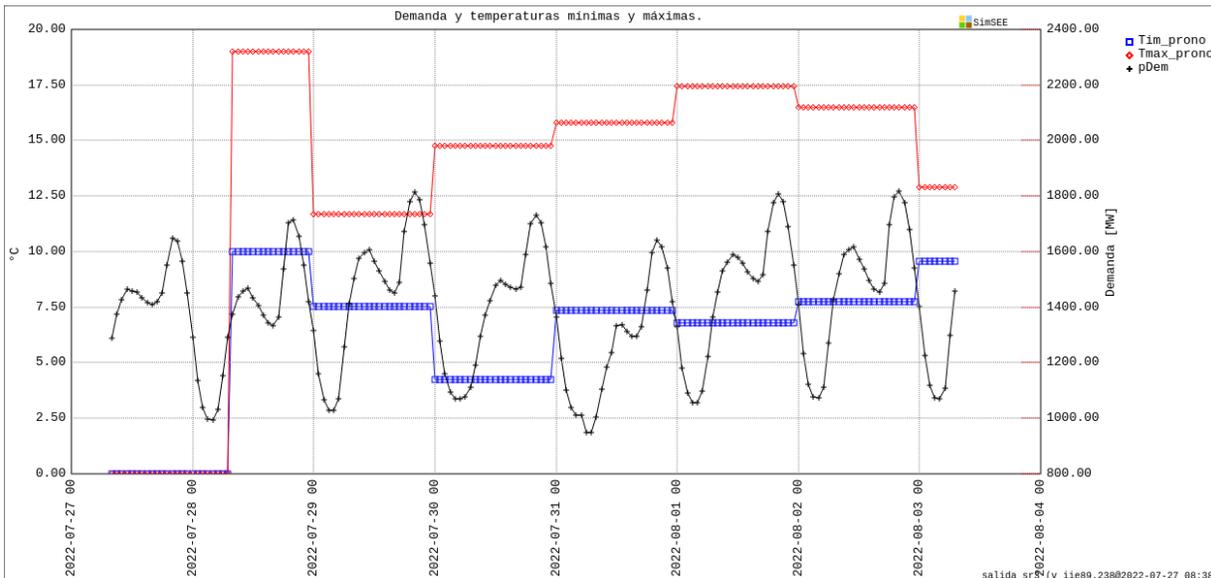
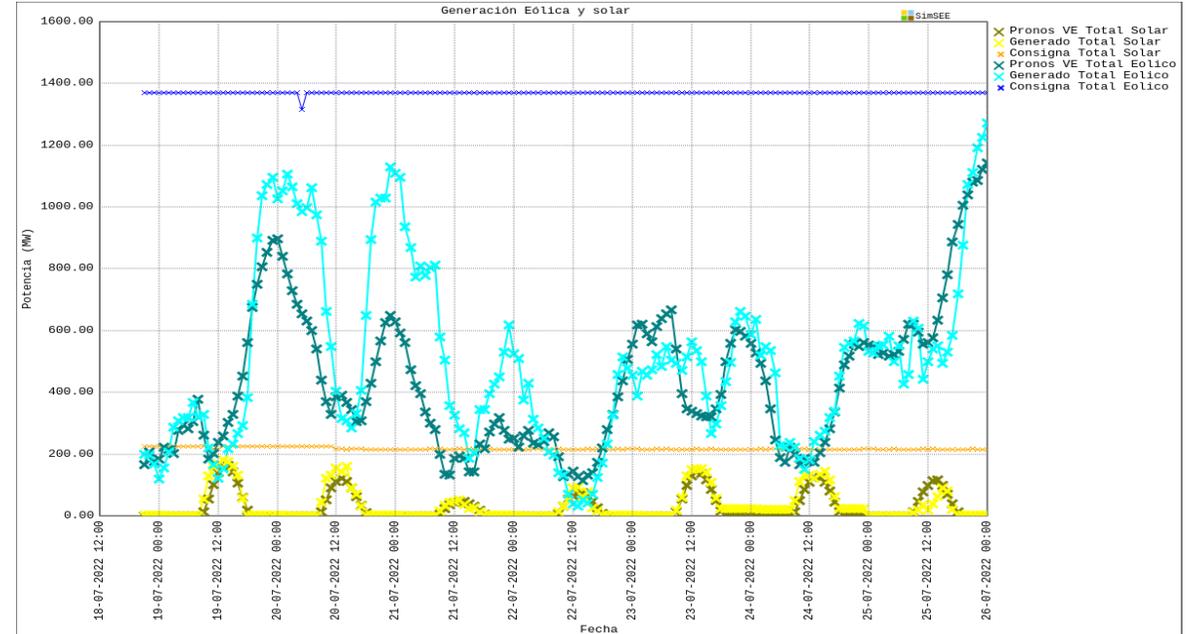
## Generación de pronósticos:

Demanda: Meteoblue + Modelo ADME.

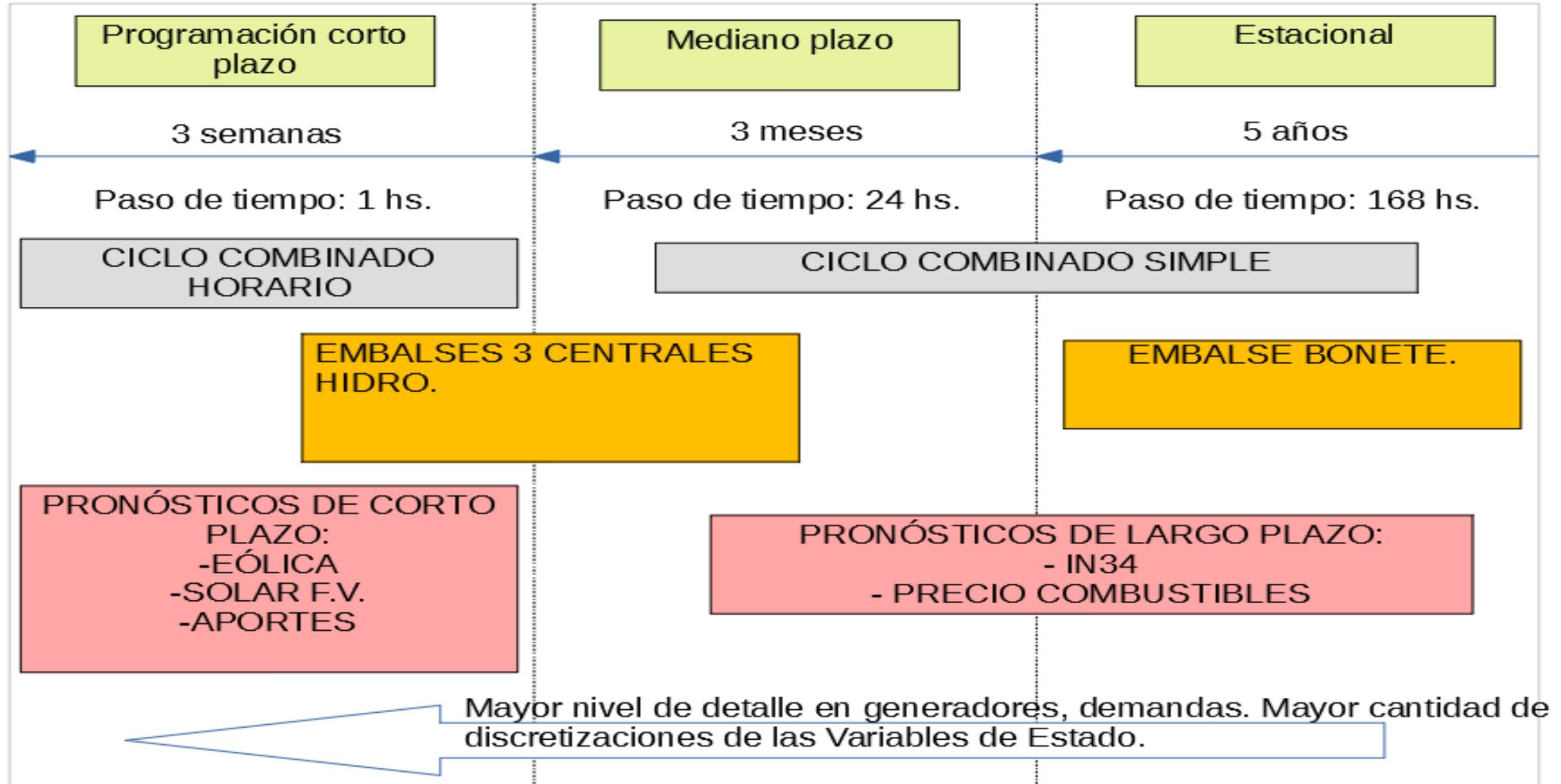
Eólica y Solar: Meteoblue + Modelos ADME.

Caudales Río Negro: Ensamblados Meteoblue + Modelo ADME-IMFIA

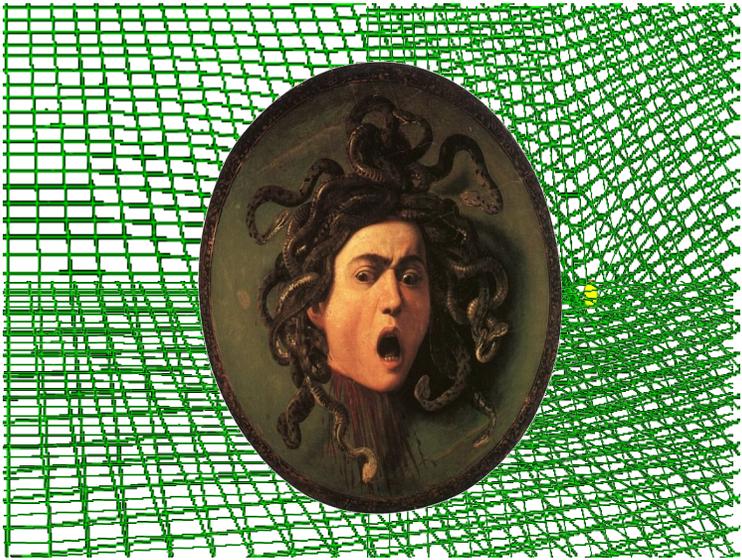
Caudales Salto: Ensamblados generados por CTM



# Etapas de la programación



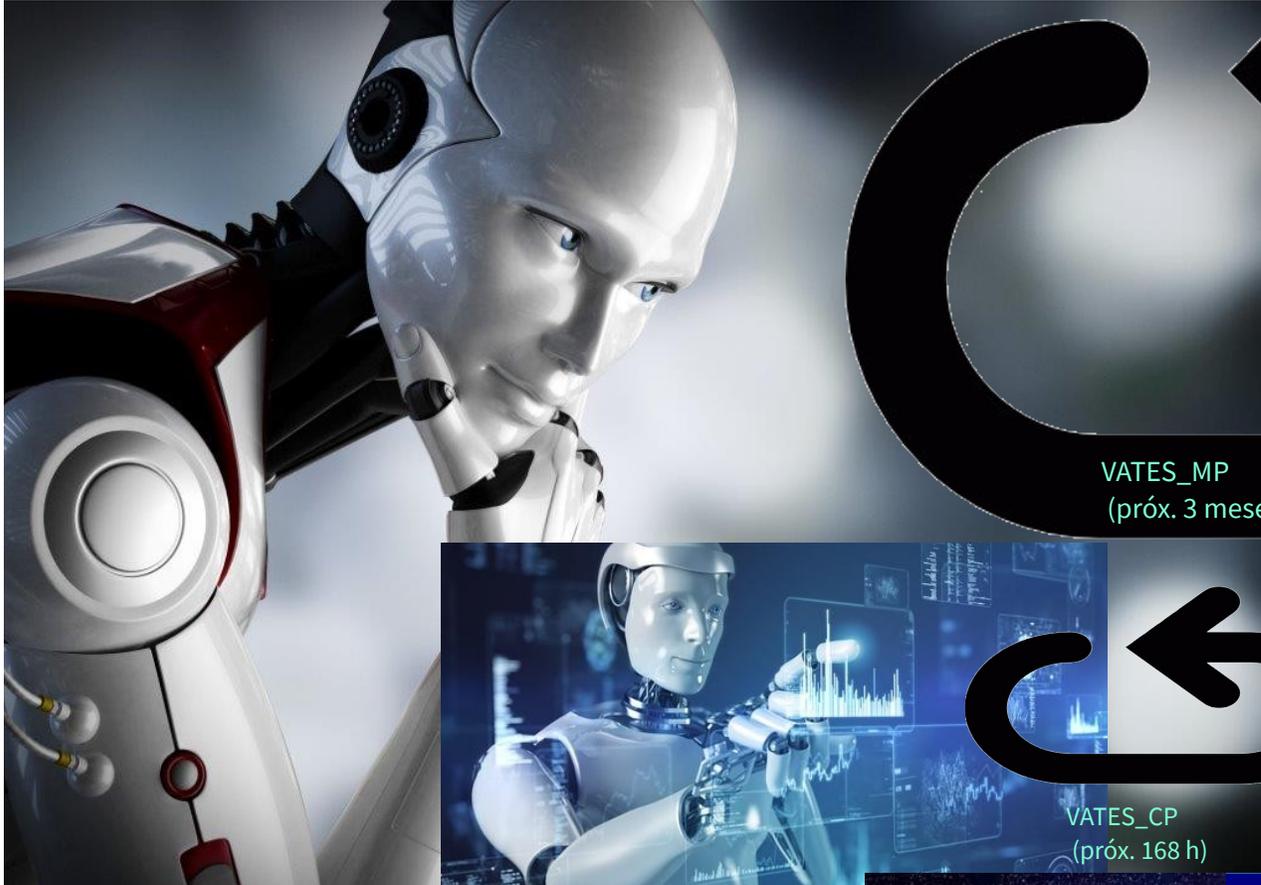
# Maldición de Bellman



**SDDP:** Stochastic Dual Dynamic Programming. Es un arma elegante para la lucha contra la maldición de Bellman. Pero al tener que representar lo estocástico pierde el poderío.

**Plexos:** Rolling Horizons. Resuelve bien la operación de sistemas con constantes de tiempo similares a la de los pronósticos, pero no es bueno obteniendo política de operación de sistemas con grandes lagos.

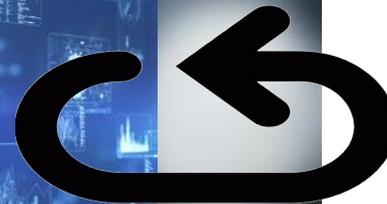
**SimSEE:** Destaca por la representación de lo estocástico con capacidad de aplicar reducciones de estado en los CEGH manteniendo capacidad de incorporación de Pronósticos. Con la versión "**Tractorcito(2022)**" ha mostrado poder simular la operación conjunta de Brasil+Uruguay+Paraguay+Argentina con 76 lagos representados.



VATES\_MP  
(próx. 3 meses con paso diario)

**MP = 3 meses**  
El Niño, caudales

Valores del agua  
Consumos GO  
Despacho del CC



VATES\_CP  
(próx. 168 h)

**CP = 1 semana**  
caudales, Demanda, Solar,  
Eólica.

Valores del agua  
Consumos GO  
Bloques Exportables



VATES\_OI  
(próx. 24 h  
diezminutal)

**OI = 24 horas (EN DESARROLLO, LES)**  
Demanda, Solar, Eólica.

Restricciones de red.  
Reserva Rotante.  
Despacho para seguimiento de la Demanda





<https://adme.com.uy>

Pronósticos de operación: Vates(CP | MP | Salas CP | Salas MP)

Pronósticos de eólica y solar: PRONOS.

Pronósticos de aportes hidráulicos: PRONOS\_HIDRO

Pronósticos de Demanda: <https://demanda.adme.com.uy>

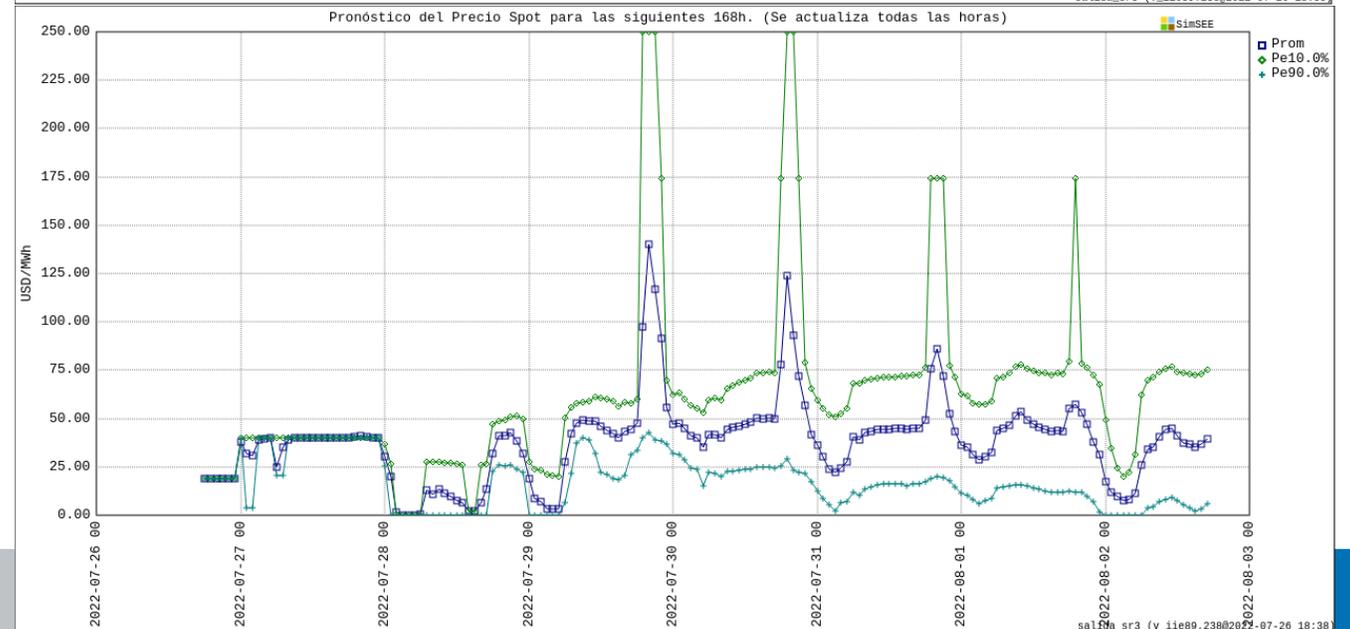
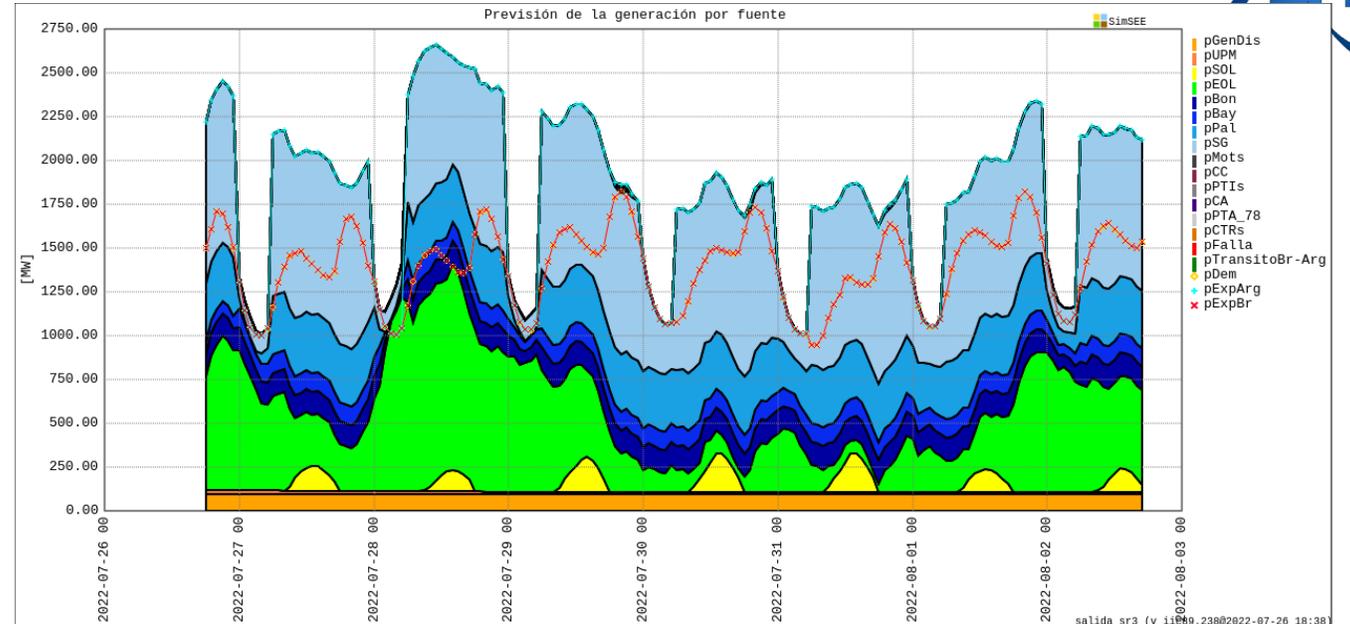
### Valorización del agua.

Día	Valores en USD/MWh					
	Valor Bonete	Valor Palmar	Valor Salto	Control Bonete	Control Palmar	Control Salto
2022-07-26	3.8	21.9	18.9	-2.0	3.0	11.7
2022-07-27	3.8	20.5	40.3	-3.7	7.3	-3.8
2022-07-28	0.4	25.2	39.3	-	-	-
2022-07-29	1.0	20.6	46.6	-	-	-
2022-07-30	1.8	15.8	45.3	-	-	-
2022-07-31	1.8	14.5	42.9	-	-	-
2022-08-01	1.7	14.2	43.0	-	-	-

- Valores confirmados para ejecución
- Valores calculados por Vates
- Control: Confirmando > Calculado Vates.
- Control: Indiferente.
- Control: Confirmando < Calculado Vates.
- No aplica sistema de control

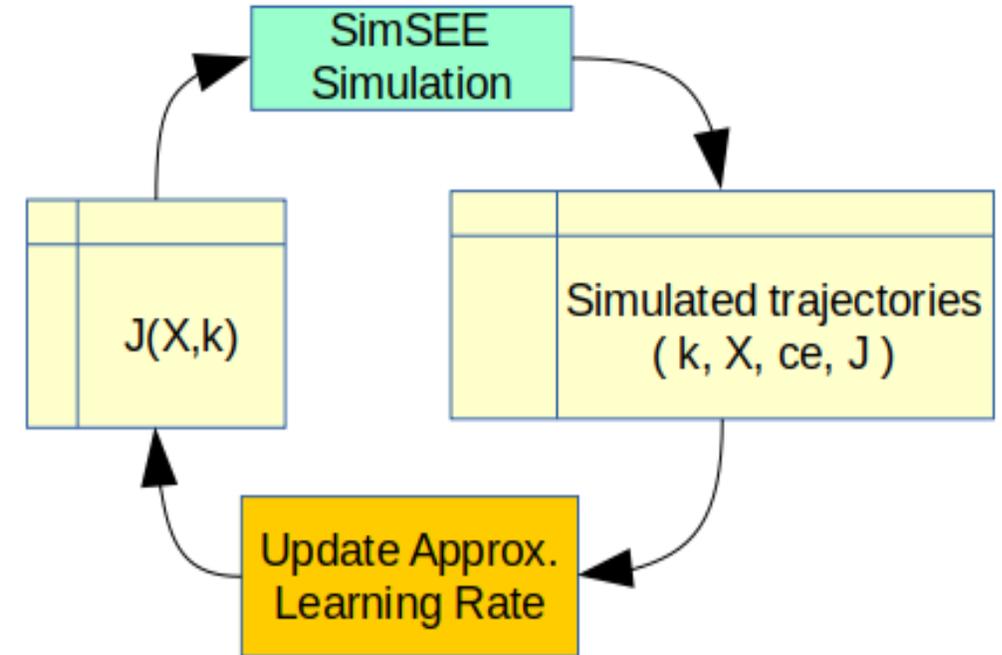
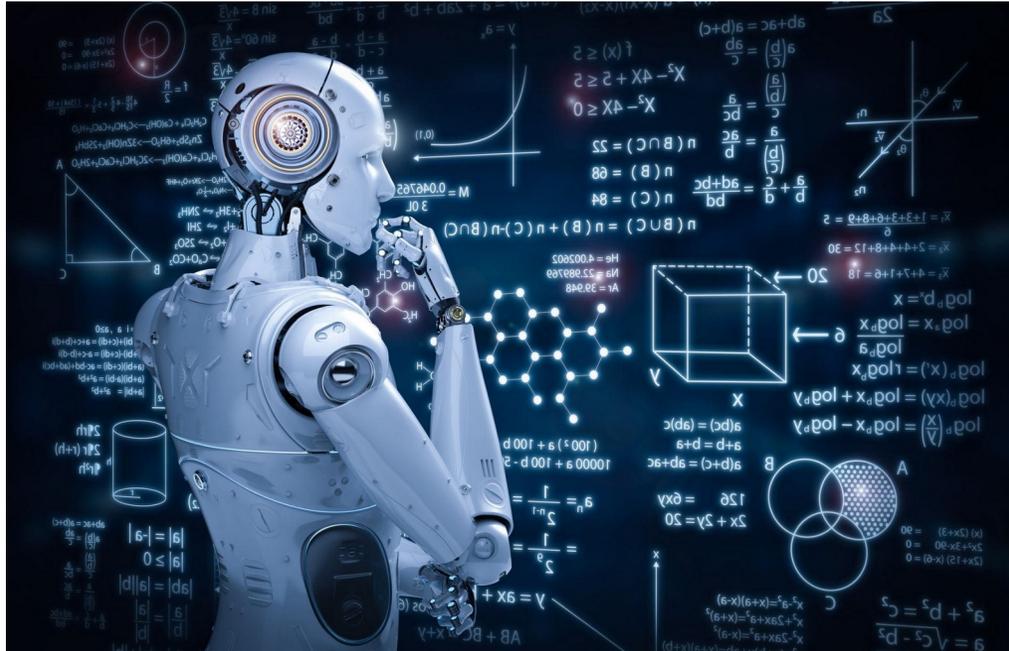


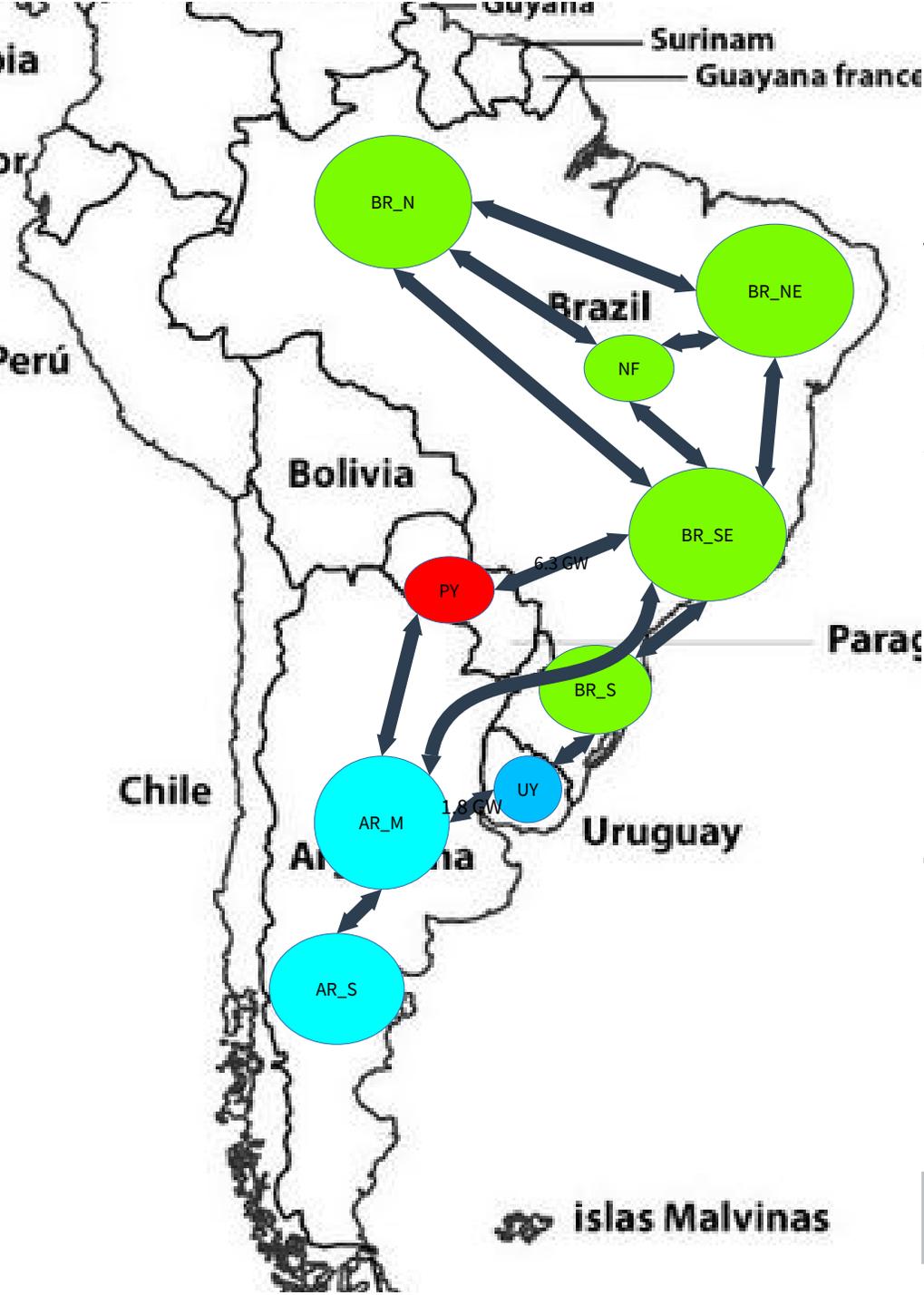
Bajar archivos de pronóstico: ( [Precio Spot](#) | [Valores del agua.](#) )



# Puesta en operación de los VatesIA\_MP y VatesIA\_CP

- Modelo regional
- Incorporación del modelo del Ciclo Combinado horario





# Simulación UY+BR+PY+AG

variables de estado: 76

discretización del espacio de estado:

$$52 * 3 * 5^{76} = 2 \times 10^{55}$$

Recursión de Bellman memoria:

$$2 * 10^{55} * 10 / 1E9 = 2 * 10^{47} \text{GB}$$

Dimensión Simplex sobre: 5000x2000

Tiempo de resolución Simplex: 64 ms

hora de resolver la recursión de Bellman:

$$2 * 10^{55} * 64 / 1000 / 3600 / 24 / 365 / 1000$$

$$= 4 * 10^{43} \text{ milenios!!!!}$$



**Gracias por vuestra  
atención.**