



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA

# VATES - Operación óptima de los recursos de generación con alta integración de eólica y solar

**Ximena Caporale, Damian Vallejo y Ruben Chaer.**

**IEEE, IIE-FING y ADME**

**4/12/2017**

**Montevideo - Uruguay.**



## Parte 1) Operación óptima de sistemas dinámicos y su implementación en SimSEE

**Parte 1) Operación óptima de sistemas dinámicos y su implementación en la plataforma SimSEE.**

**Parte 2) Modelado de procesos estocásticos con CEGH e incorporación de pronósticos.**

**Parte 3) VATES en acción. Pronóstico del despacho de las siguientes 72 horas en tiempo continuo.**



# Objetivo de Operar un SEE



*Suministrar la demanda  
al menor costo posible  
en condiciones de calidad aceptable.*



# El sector eléctrico.



*Generación.*



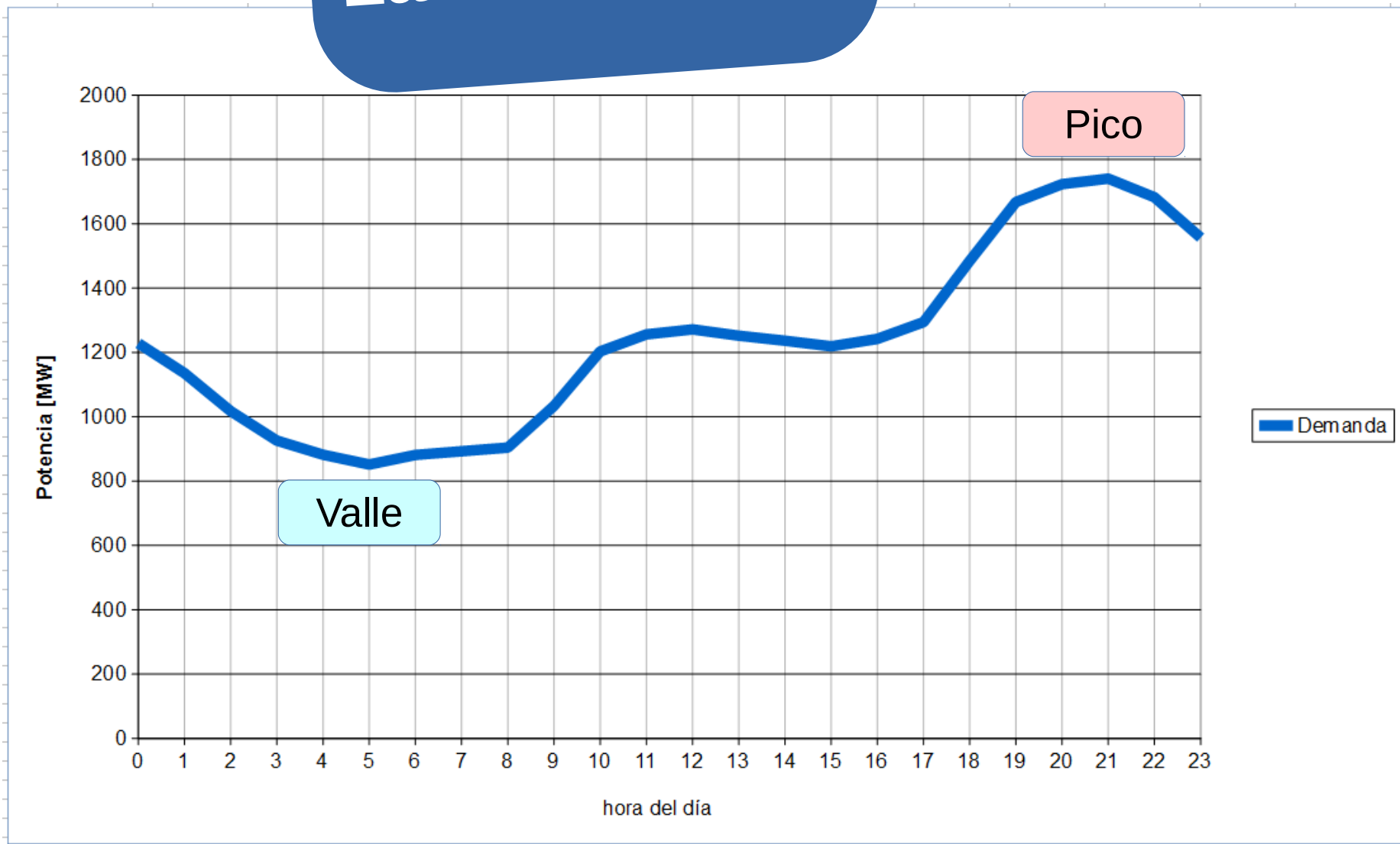
*Transmisión*



*Distribución*

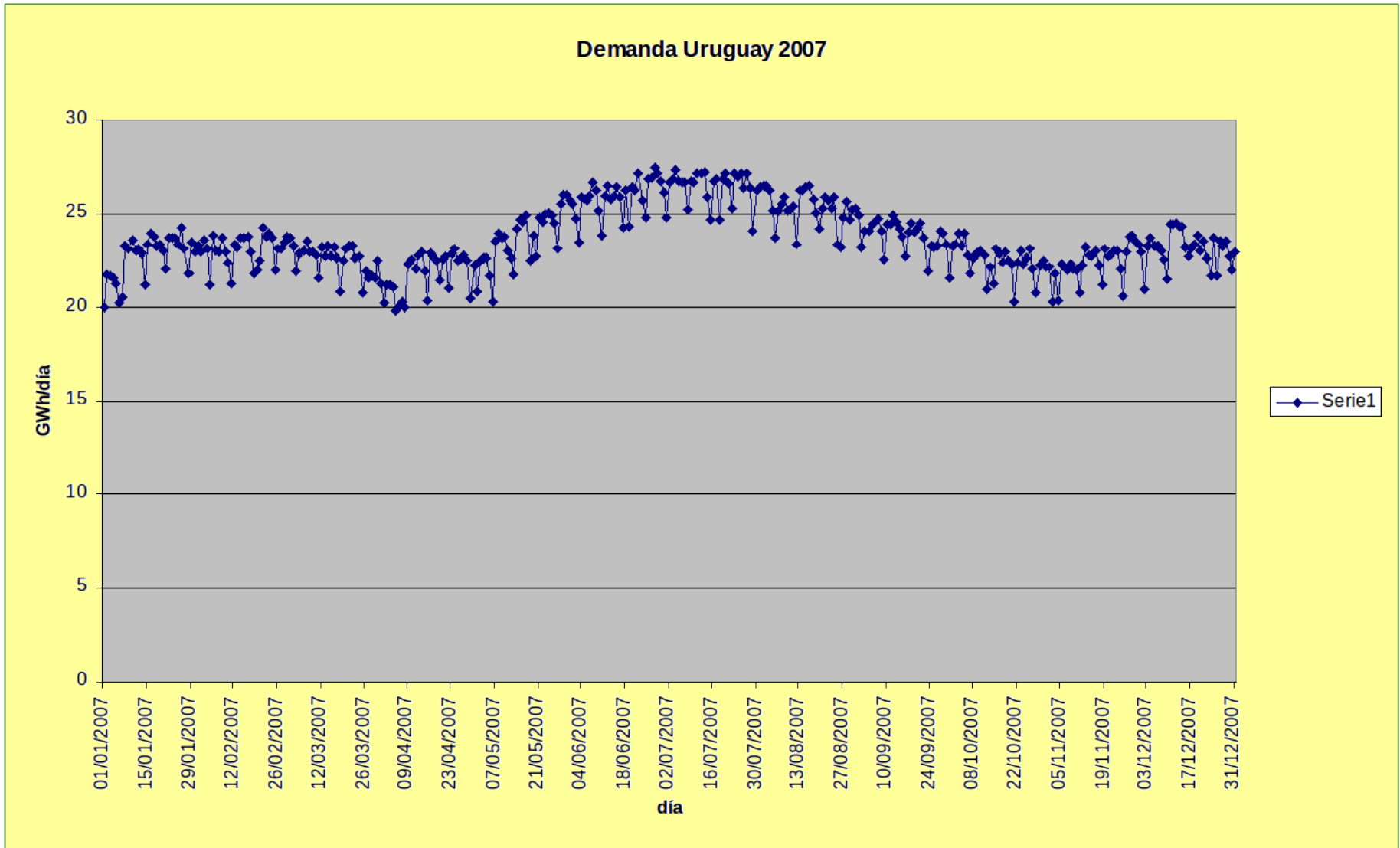


# La Demanda





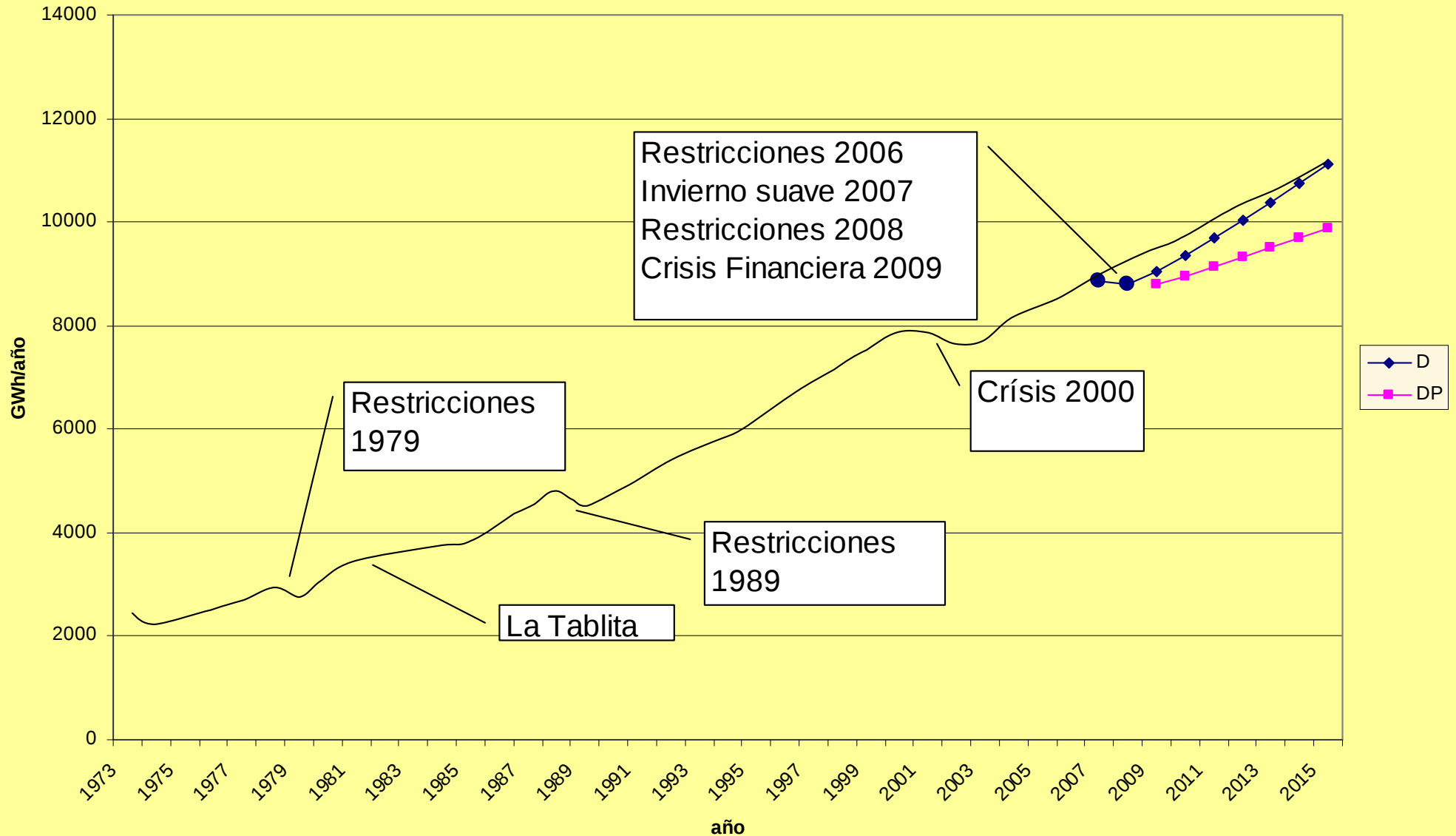
# Estacionalidad de la demanda.





# Expansión de la Demanda

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





# Racionamiento, Falla



*Falla, Déficit*  
*Demanda insatisfecha*  
*Costo de Falla*



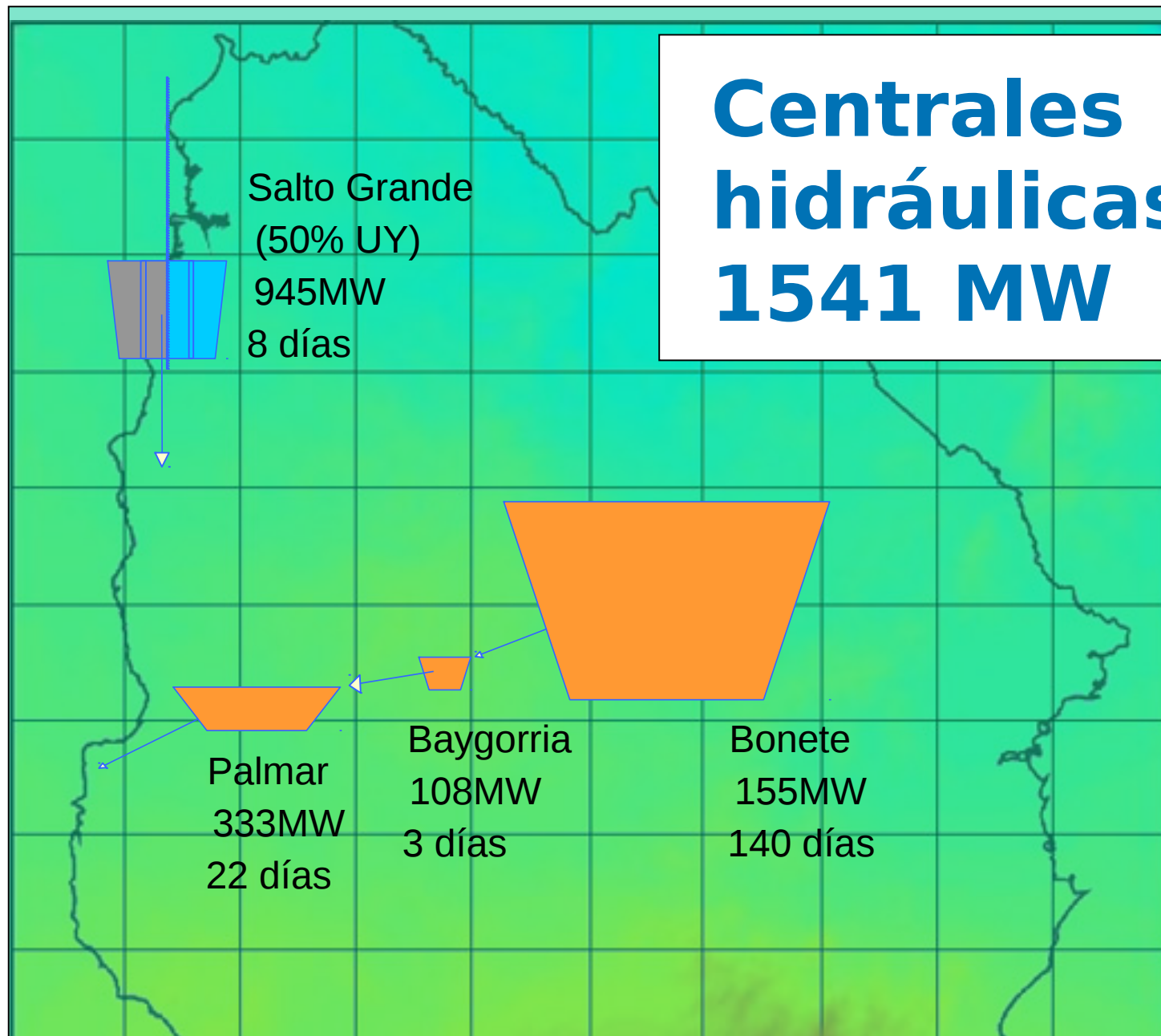
# Escalones y Costos de Falla

Decreto 105/013 Nuevo Decreto de Costo de Falla (02/04/2013)

	Escalón 1	Escalón 2	Escalón 3	Escalón 4
	2%	2 a 7%	7 a 14.5%	más de 14.5%
escf [pu]	0.020	0.050	0.075	0.855
cvf [USD/MWh]	CTR+10%	600	2400	4000

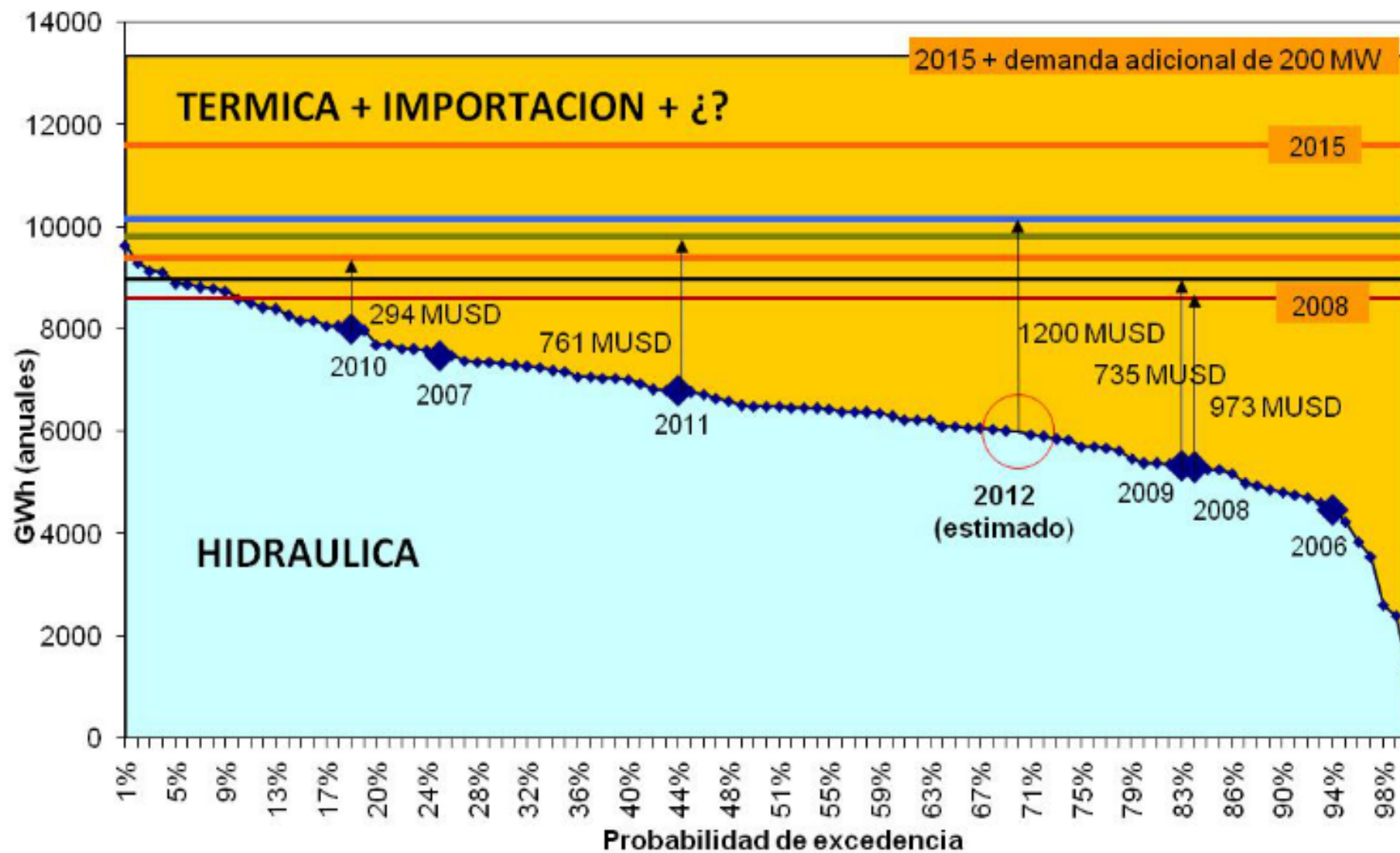


# Centrales hidráulicas 1541 MW



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

# Uruguay



# Fósiles Brent/GNL

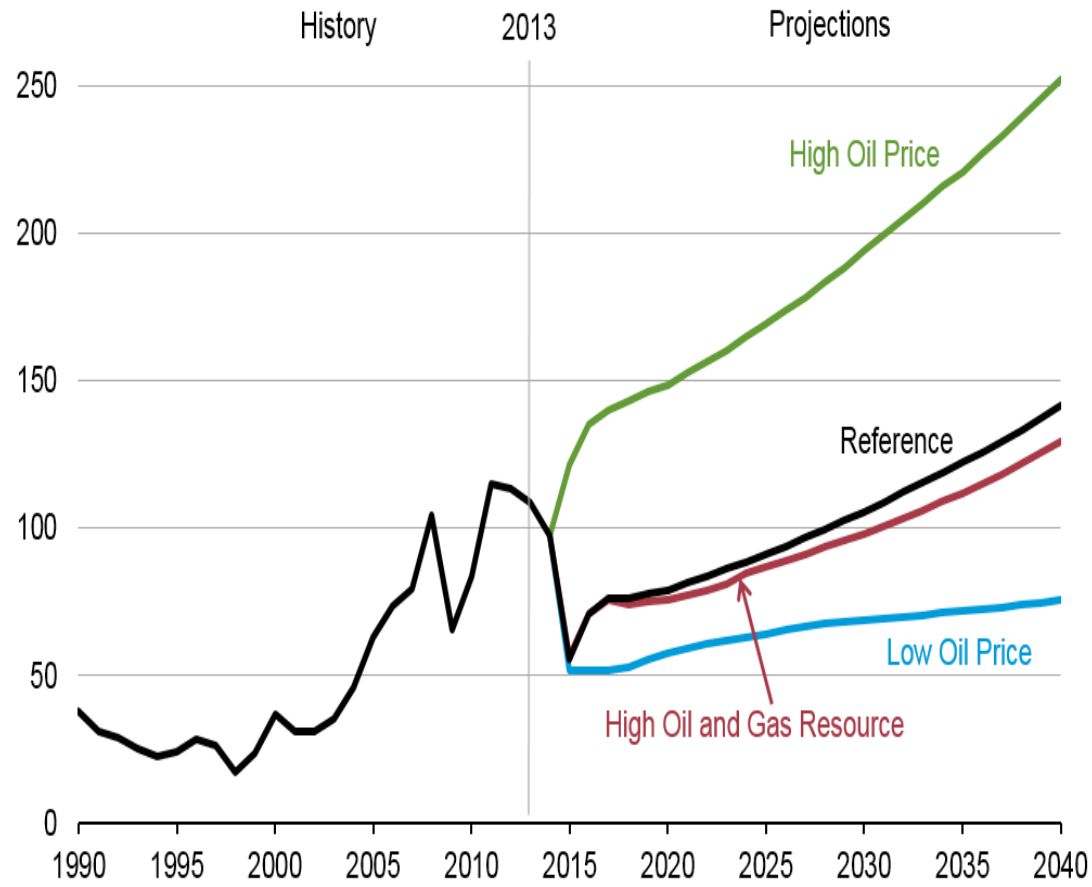
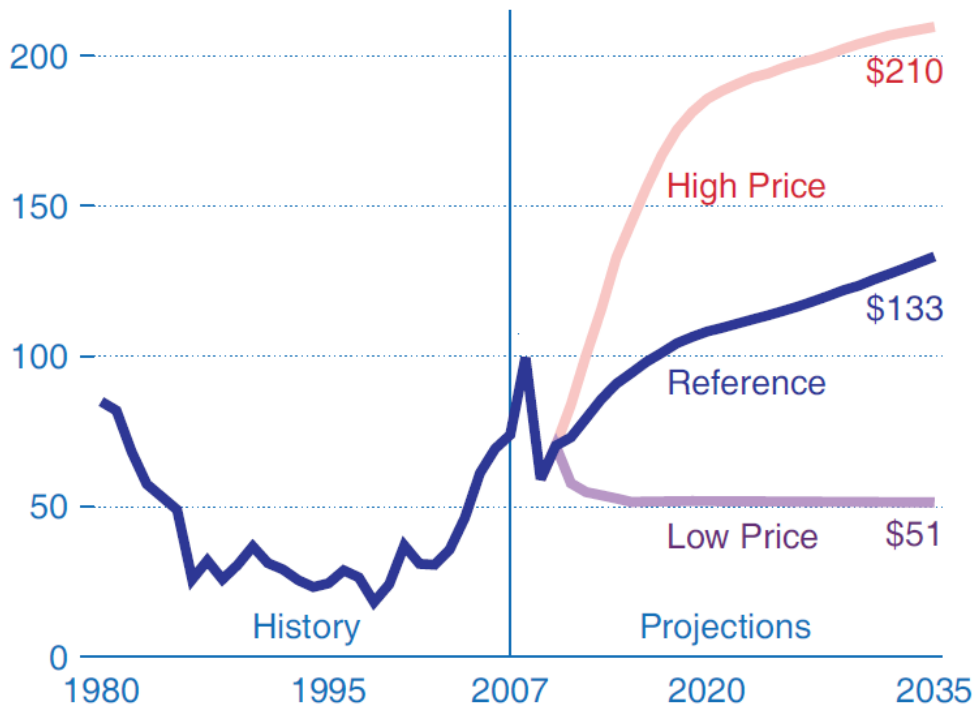


## Plazo)

AEO2015 explores scenarios that encompass a wide range of future crude oil price paths

Brent crude oil spot price  
2013 dollars per barrel

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



Source: EIA, Annual Energy Outlook 2015





# DEMANDA NETA

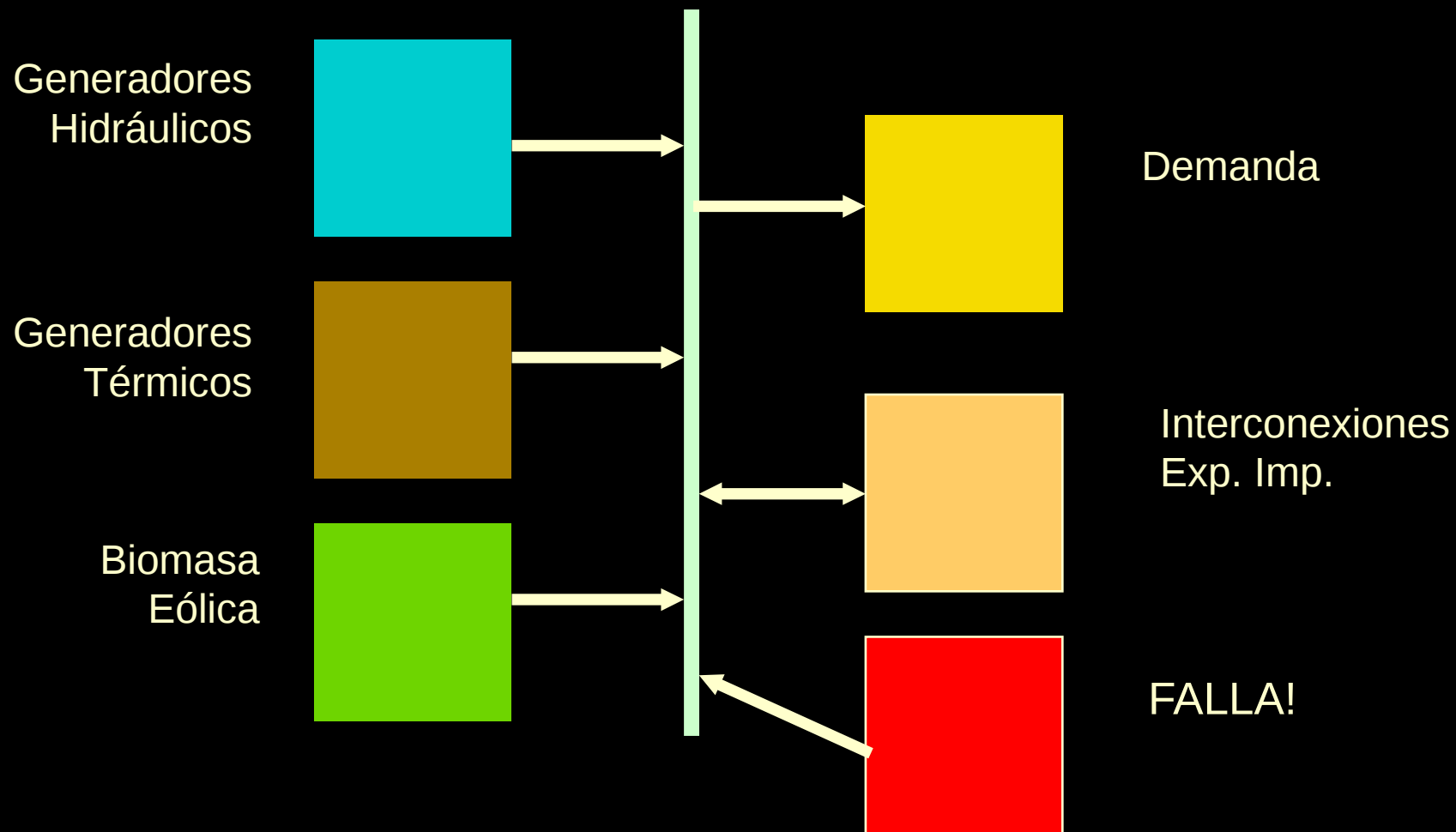


Generación  
Transmisión  
Distribución

Generación Distribuída



# Balance en todo instante



# Sistema dinámico



- Inercia.
- El pasado importa.
- El presenta afecta el futuro.





*La operación  
de un sistema  
hidrotérmico es  
un problema de  
optimización  
**COMPLEJO!***



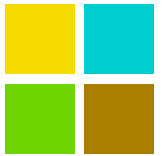
# Usando el agua embalsada



La complejidad está asociada a la posibilidad de almacenar recursos.

El problema está en que hay que decidir CUANTO usar de un recurso pero también CUANDO es oportuno hacerlo..

## SimSEE , Proyecto PDT 47-14:



### “Simulador de Sistema de Energía Eléctrica”

Su objetivo general es el **desarrollo** de una herramienta que:

- permita la simulación y optimización de la **planificación y operación** del sistema eléctrico uruguayo
- sea de **uso público**
- sea **flexible** y de **fácil expansión**
- sea adecuada para **uso educativo**.

*Realizado en el IIE. 18 meses comenzando en noviembre del 2006  
Un investigador senior y un junior 30 horas semanales.  
Apoyaron el proyecto: DNETN, URSEA, ADME y UTE.*



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY





# Proyectos SimSEE

- 1) PDT 47/12 BID – CONICYT 2006-2007 Creación
- 2) ANII-FSE 2009-128 Mejoras
- 3) ANII-FSE-1-2011-1-6552 Modelado Autoctonas
- 4) ANII-FSE\_1\_2013\_1\_10957 OptimA
- 5) 2015-2017 VATES (en curso)
- 6) 2016-2017 PRONOS
- 7) Modelo Demanda - Presentado ANII (Dic2017)
- 8) Opt. Dinámica Aproximada Cont. P.ANII (Dic2017)





# El Sistema

**Generadores**

**Demandas**

**Red eléctrica**

**Interconexiones**





# SimSEE

## Una Herramienta



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY





## ¿Por qué y para qué?



# Estado del Sistema



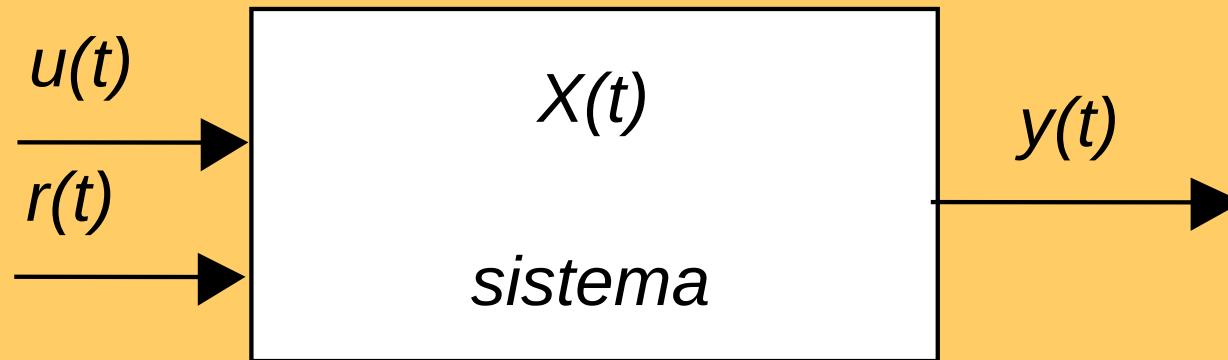
- $X$  = Vector de información que capta todo lo relevante del pasado para calcular el futuro si se conocen las entradas de aquí en mas.

$$X(t) = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix}$$





# ESTADO del sistema y MODELO.



***$u$  , entradas controlables***  
 ***$r$  , entradas no controlables***  
 ***$x$  , estado***  
 ***$y$  , variables observadas o salidas***  
 ***$t$  , es el tiempo.***



# Modelo de sistema dinámico

$$\frac{dX}{dt} = f(X, u, r, t)$$

$$y = g(X, u, r, t)$$

*u* , entradas controlables

*r* , entradas no controlables

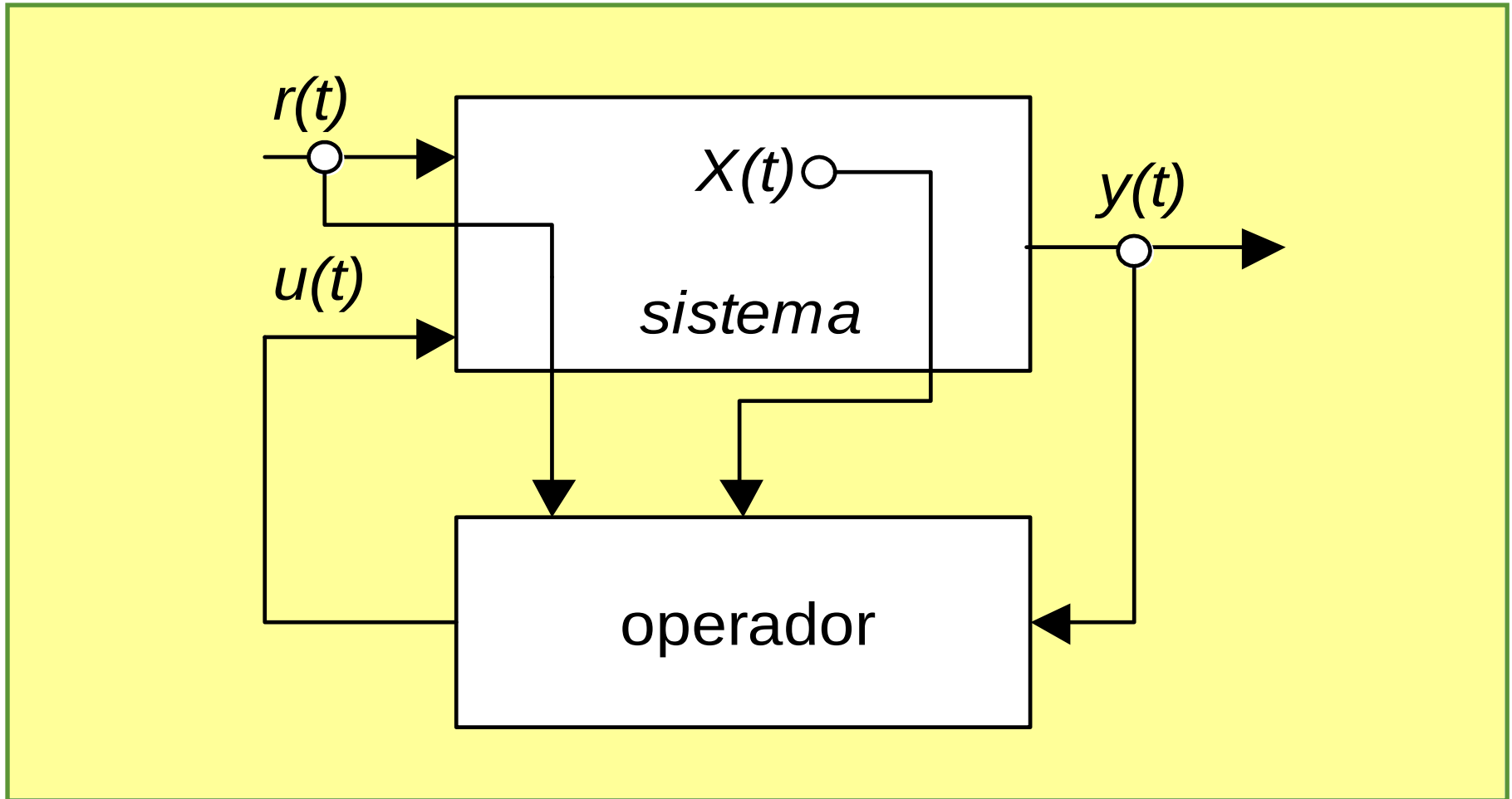
*x* , estado

*y* , variables observadas o salidas

*t* , es el tiempo.



# Operación - Sistemas Dinámicos





# Política de Operación

$$u = PO(X, r, t)$$



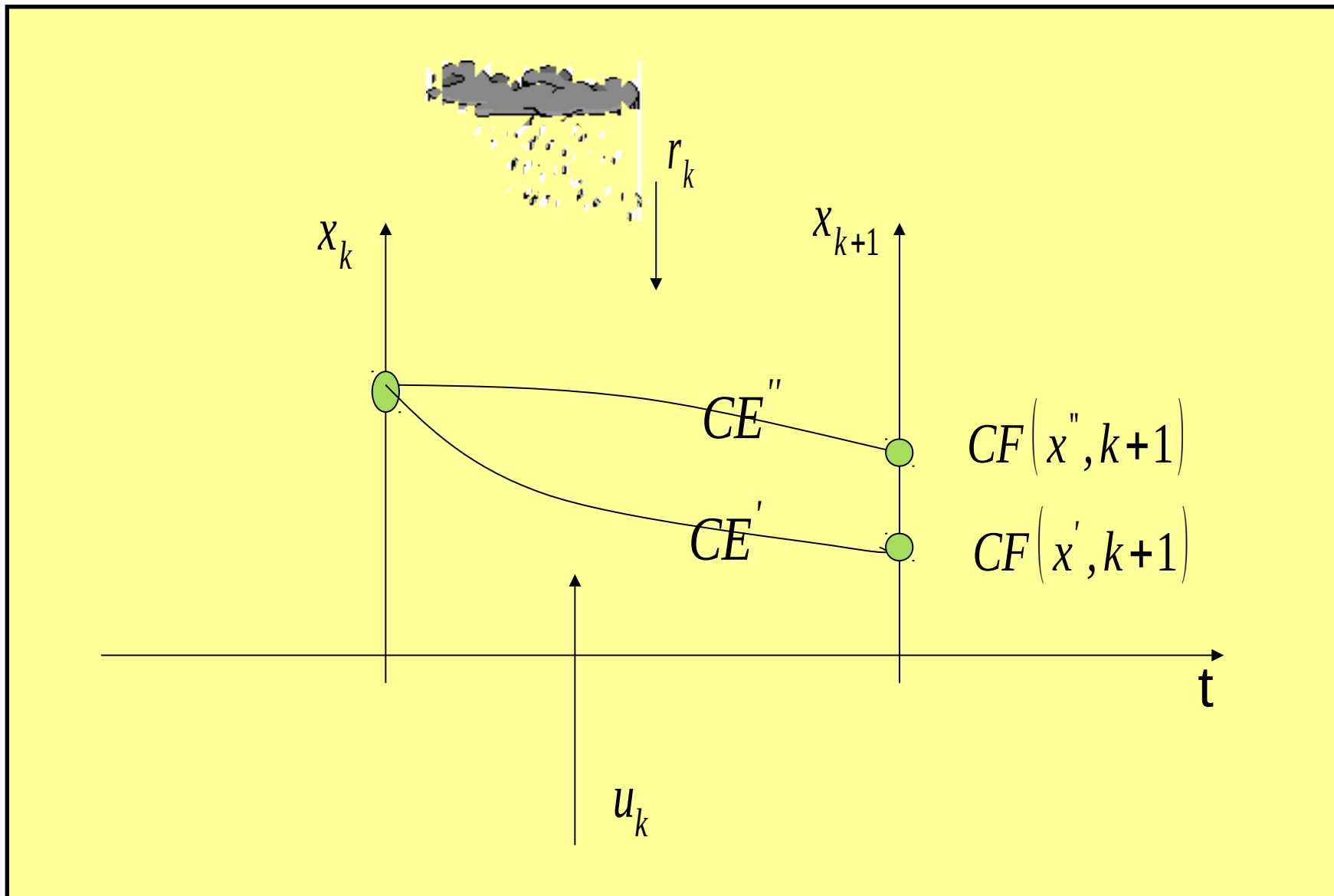
# Política de Operación y Costo Futuro



- Dada una Política de Operación es posible calcular el Costo Futuro para cada estado de partida del sistema.

Costo Futuro = CF

# Programación Dinámica Estocástica.



Hey, no se duerman!



WUOLIO  
WUOLIO  
WUOLIO

# Presente vs. Futuro



El uso de recursos almacenados (agua) en el presente produce un incremento en los costos de operación del futuro. La postergación del uso de un recurso almacenado produce un incremento en los costos del presente.

La Política Óptima es la que equilibra la afectación de costos entre presente y futuro.

Este es el resultado de Hamilton-Jacobi.



# 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**



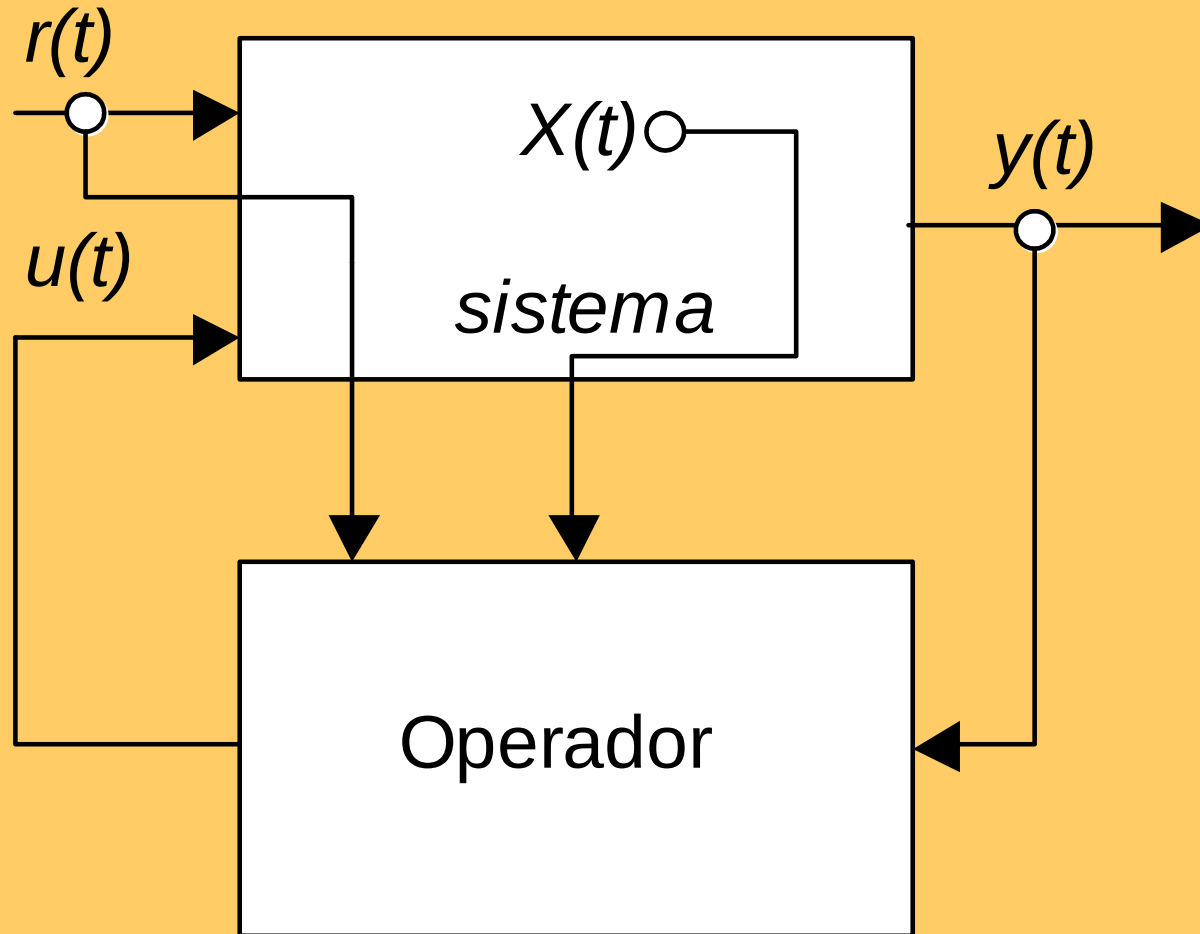
# Valor del Agua

Si pensamos que cada  $x$  representa un stock de un recurso (por ejemplo agua embalsada) las derivadas del costo futuro respecto de cada variable, puede pensarse como menos el valor que le asignamos a una unidad de stock de esa variable. Generalmente aumentar el stock de un recurso disminuirá el costo futuro por lo que estas derivadas son negativas.

$$\text{valor de } x = -\frac{\partial CF(x, k+1)}{\partial x}$$

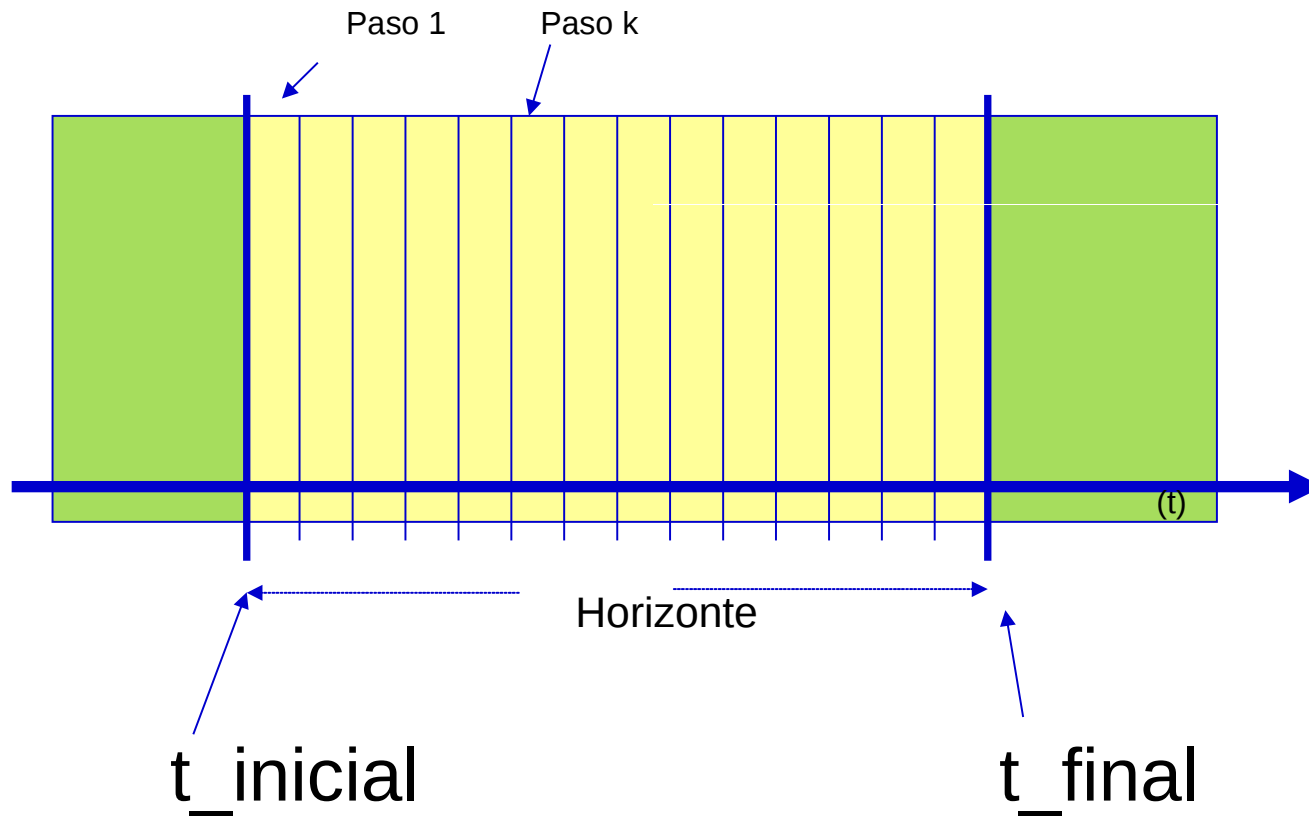


# Operación del sistema.





# Horizonte de estudio y paso de simulación



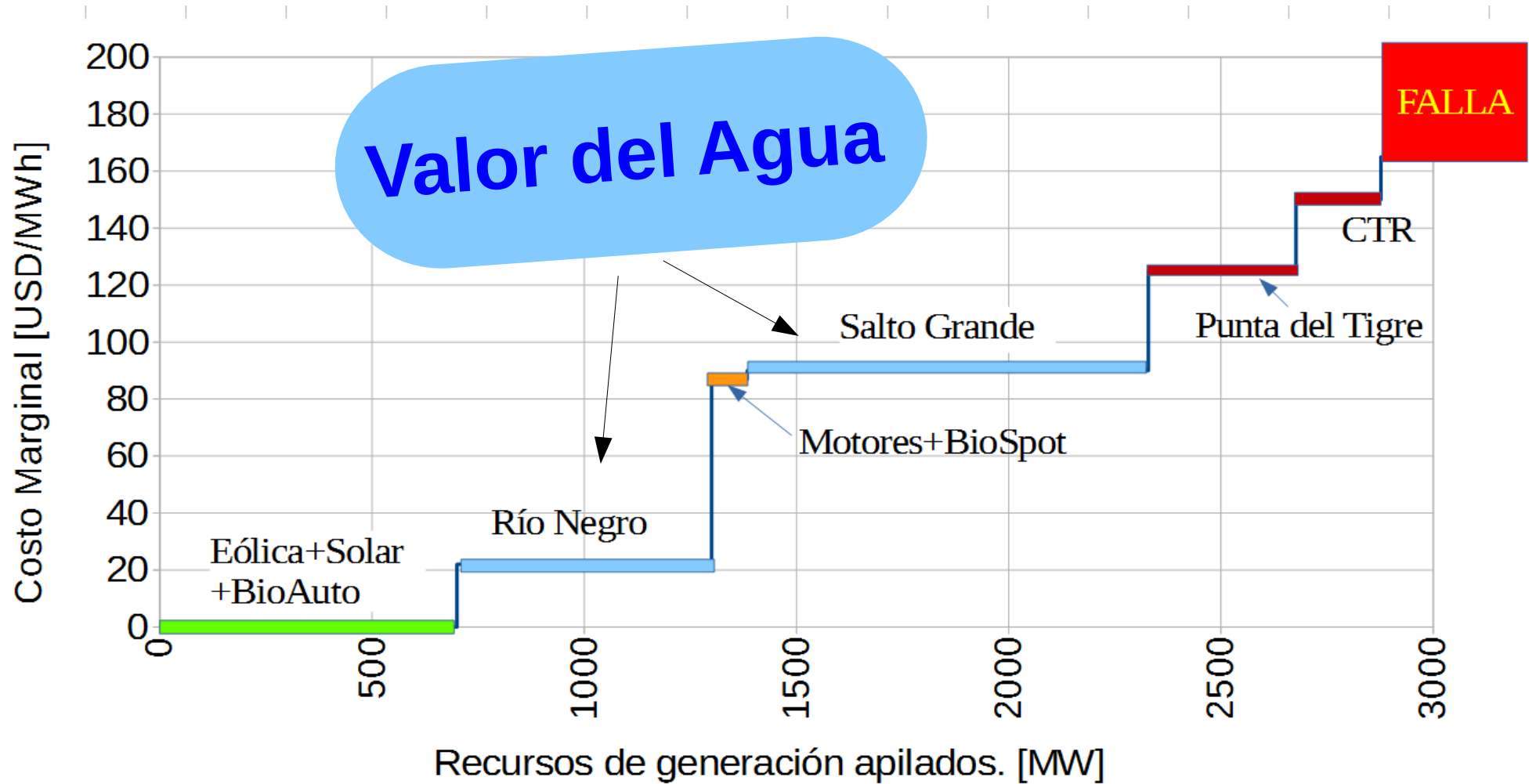


# Costo Futuro = CF(X,k)

$$CF_k = \sum_{j=k}^{j=\infty} (cc_j + cd_j + ci_j - ie_j) \cdot q^{j-k}$$

cc = costo de combustible  
cd = costo de déficit  
ci = costo de importaciones  
ie = ingresos por exportaciones  
q = factor de depreciación del dinero

# Costos marginales de generación



# Modelo del SIN



Sistema

Modelo

$X = \text{Estado}$

Ecuación de evolución del Estado

Simular

Paso T

Horizontes

Poste

Incertidumbre

Crónica

Escenario

La Demanda

Falla

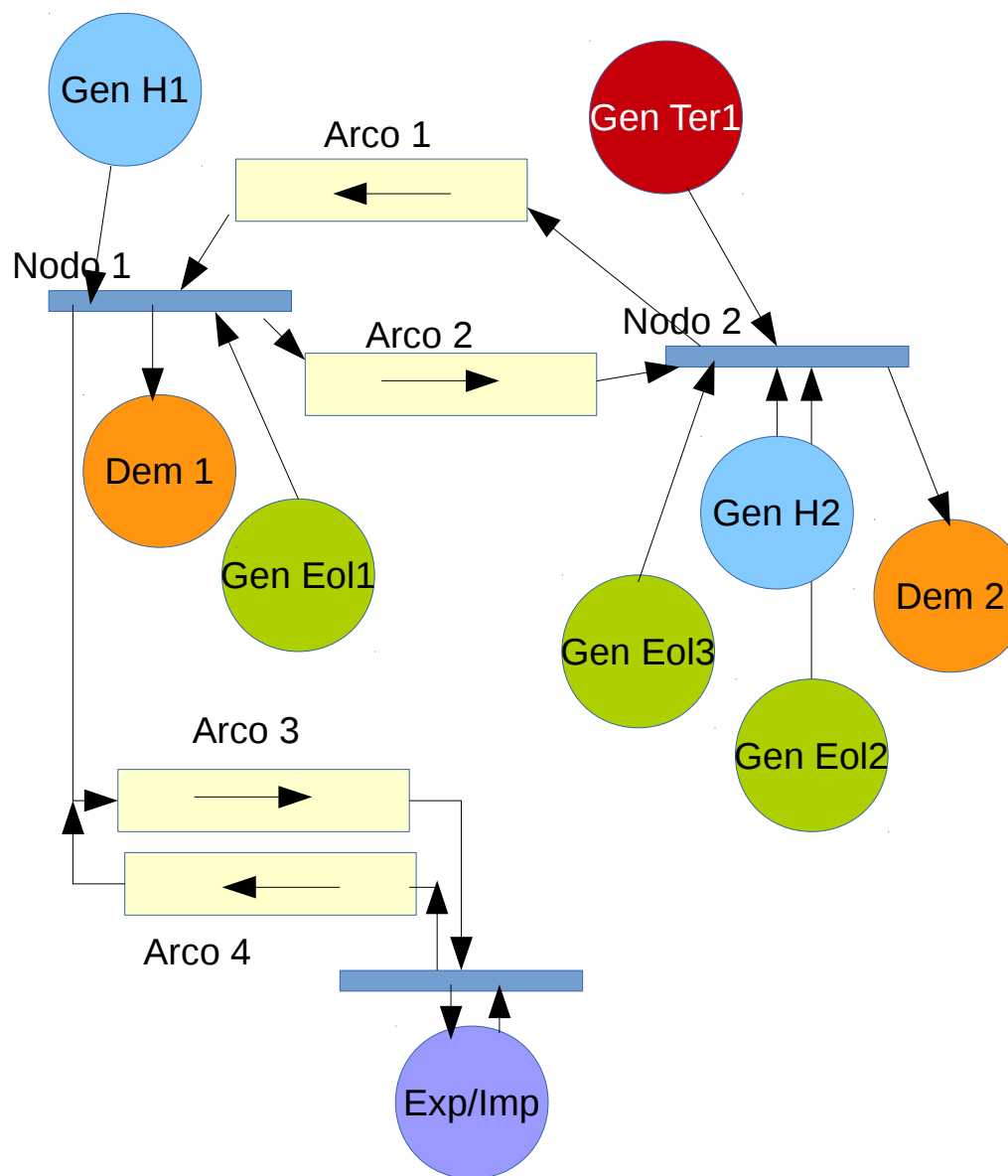
Costo de Falla

Generadores

Nodos

Arcos

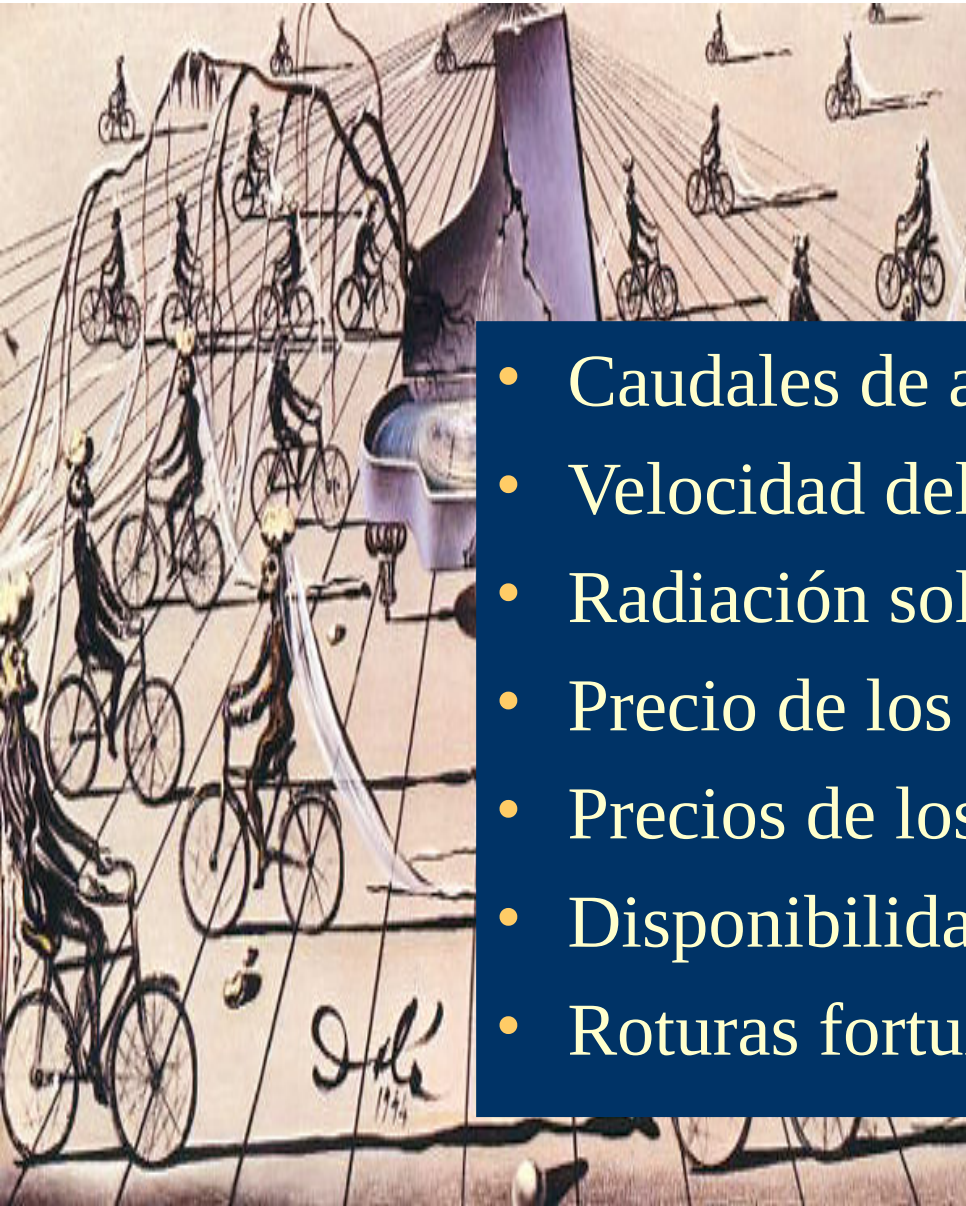
# Despacho energético con restricciones de transporte



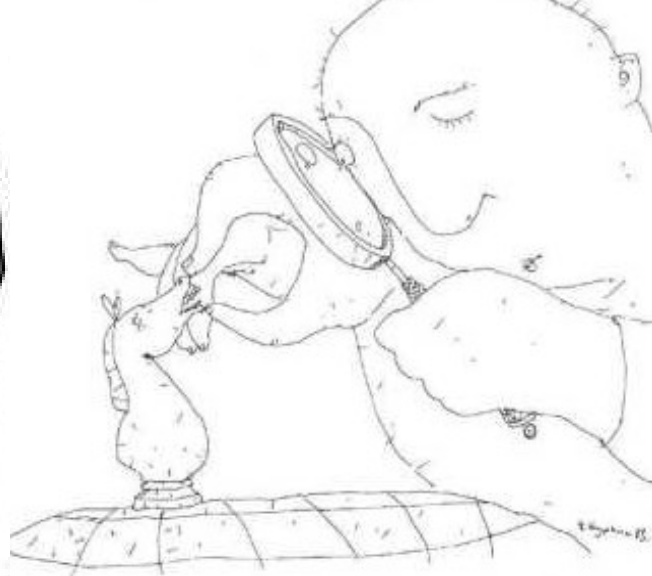
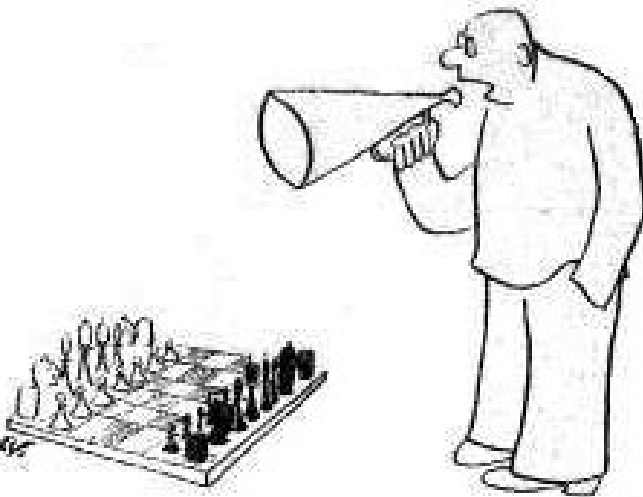
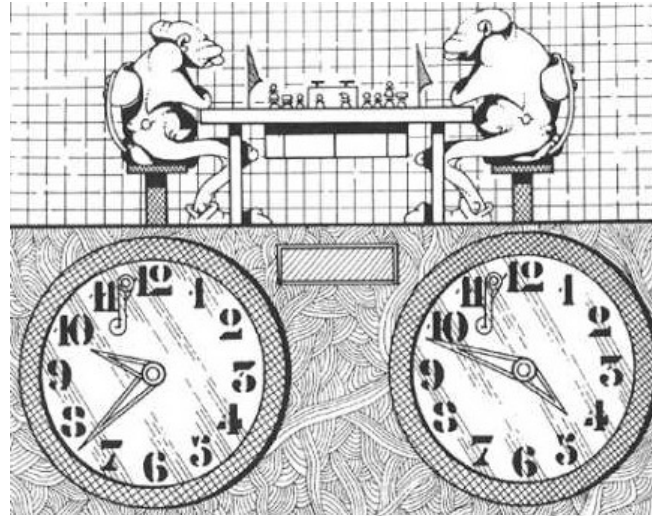
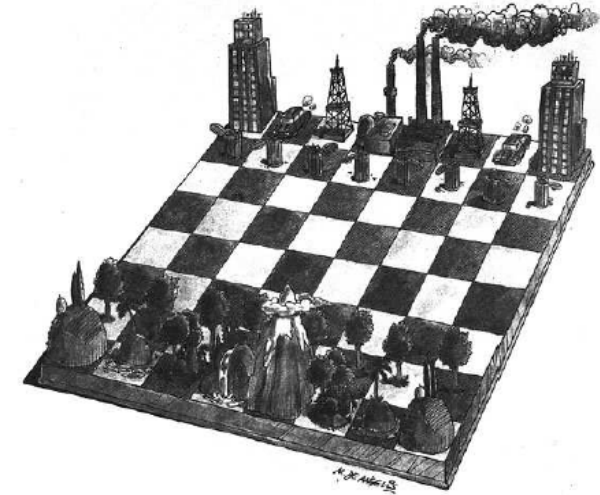




# Fuentes de aleatoriedad



- Caudales de aportes hídricos
- Velocidad del viento
- Radiación solar
- Precio de los mercados spot considerados.
- Precios de los combustibles
- Disponibilidad de combustibles
- Roturas fortuitas



Implementación  
de SimSEE  
100% OOP

Actores  
Sala de Juego  
Monitores



# Proyectos SimSEE

- 1) PDT 47/12 BID – CONICYT 2006-2007  
Creación
- 2) ANII-FSE 2009-128 Mejoras
- 3) ANII-FSE-1-2011-1-6552 Modelado Autoctonas
- 4) ANII-FSE\_1\_2013\_1\_10957 OptimA
- 5) 2015-2017 VATES (en curso)
- 6) 2016-2017 PRONOS (en curso)

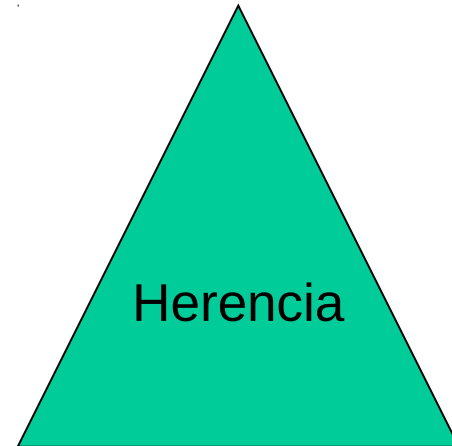
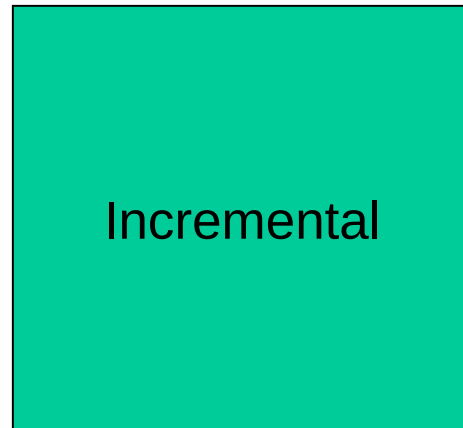
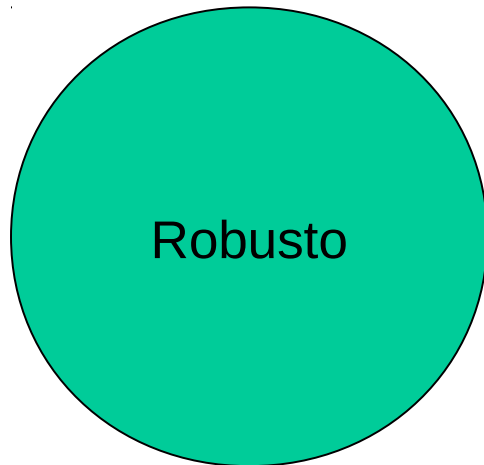




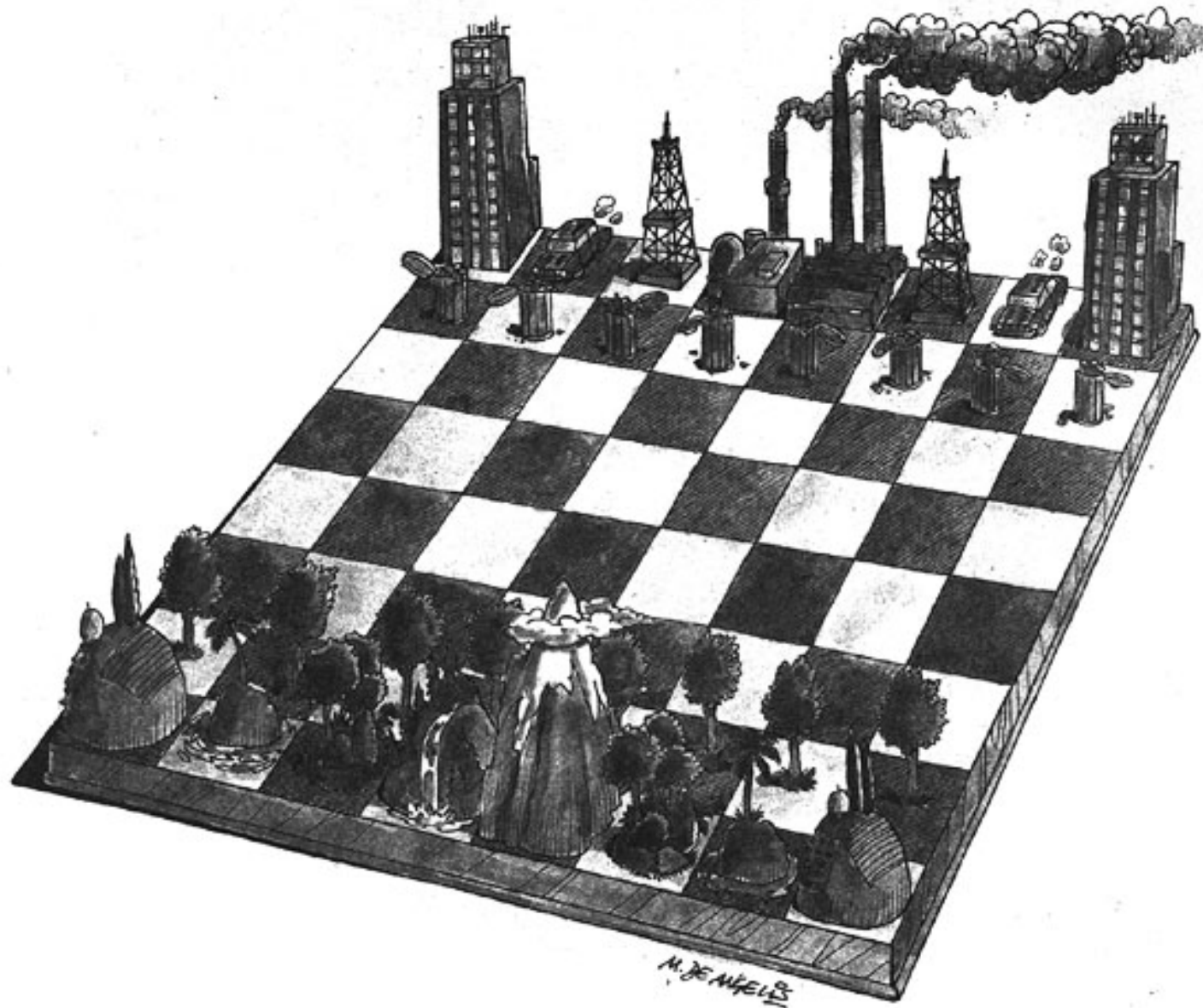
# Modelos disponibles.

- Nodos y Arcos en Red Energía Eléctrica
- Generadores Simples, con costos de arranque y ciclos combinados.
- Nodos y Arcos en Red de combustibles.
- Modelo de central hidráulica de pasada, con embalse y con capacidad de bombeo.
- Banco de batería
- Demanda con Respuesta
- Interconexiones entre mercados

# OOMT



# Sala de Juegos y Actores



# Programación por Eventos

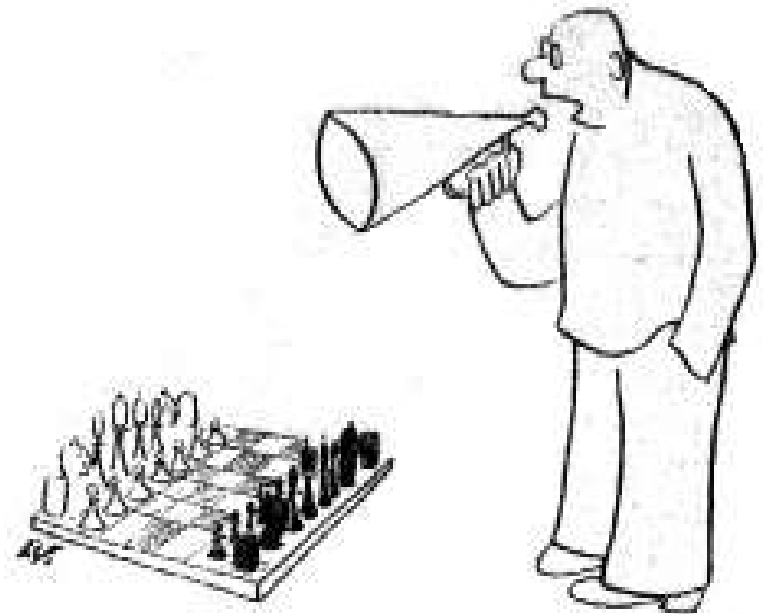
Repetir para cada paso:

<evSorteosDelPaso >

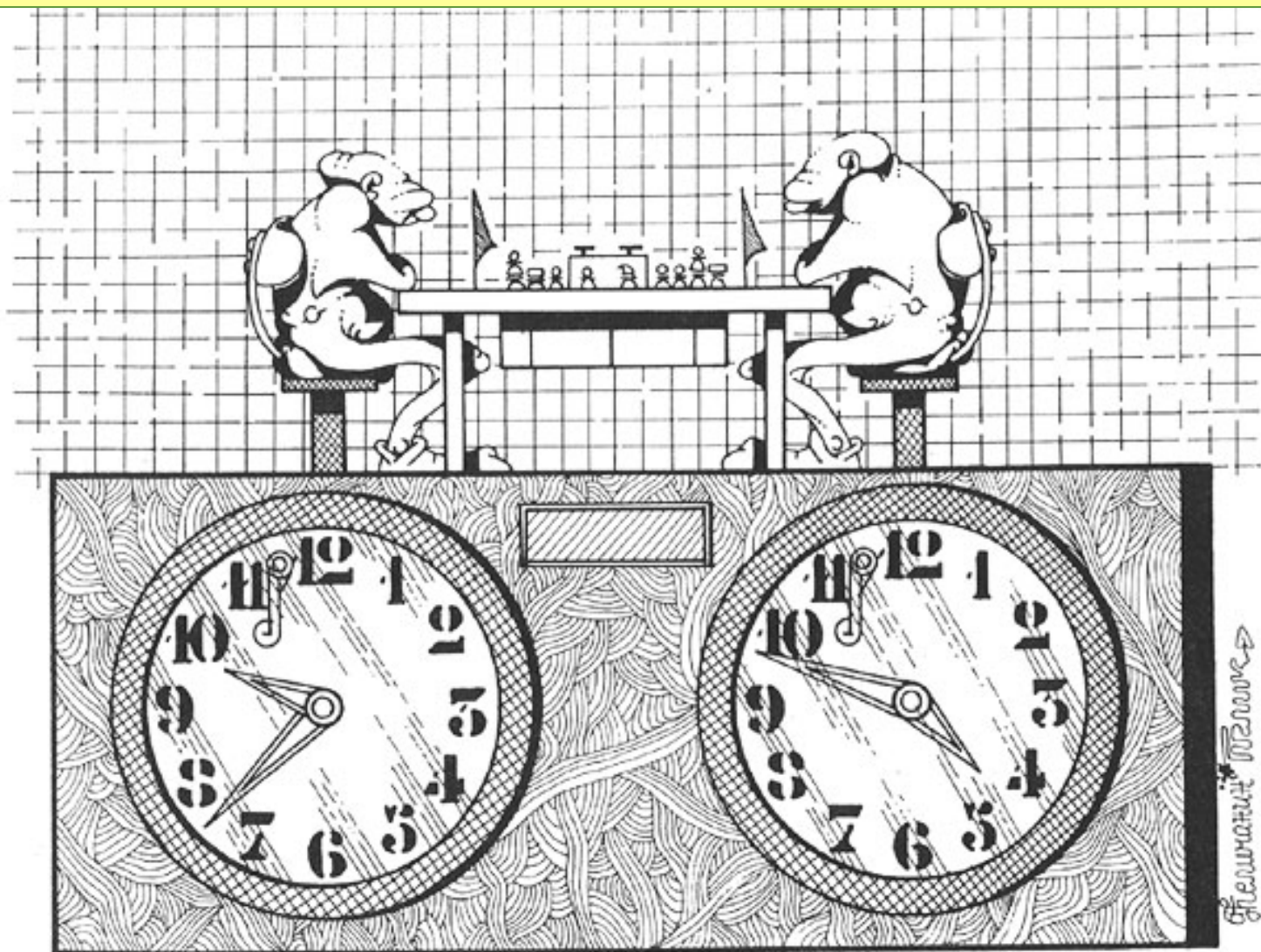
< evCargarProblema >

Resolver el despacho

< evLeerResultados >

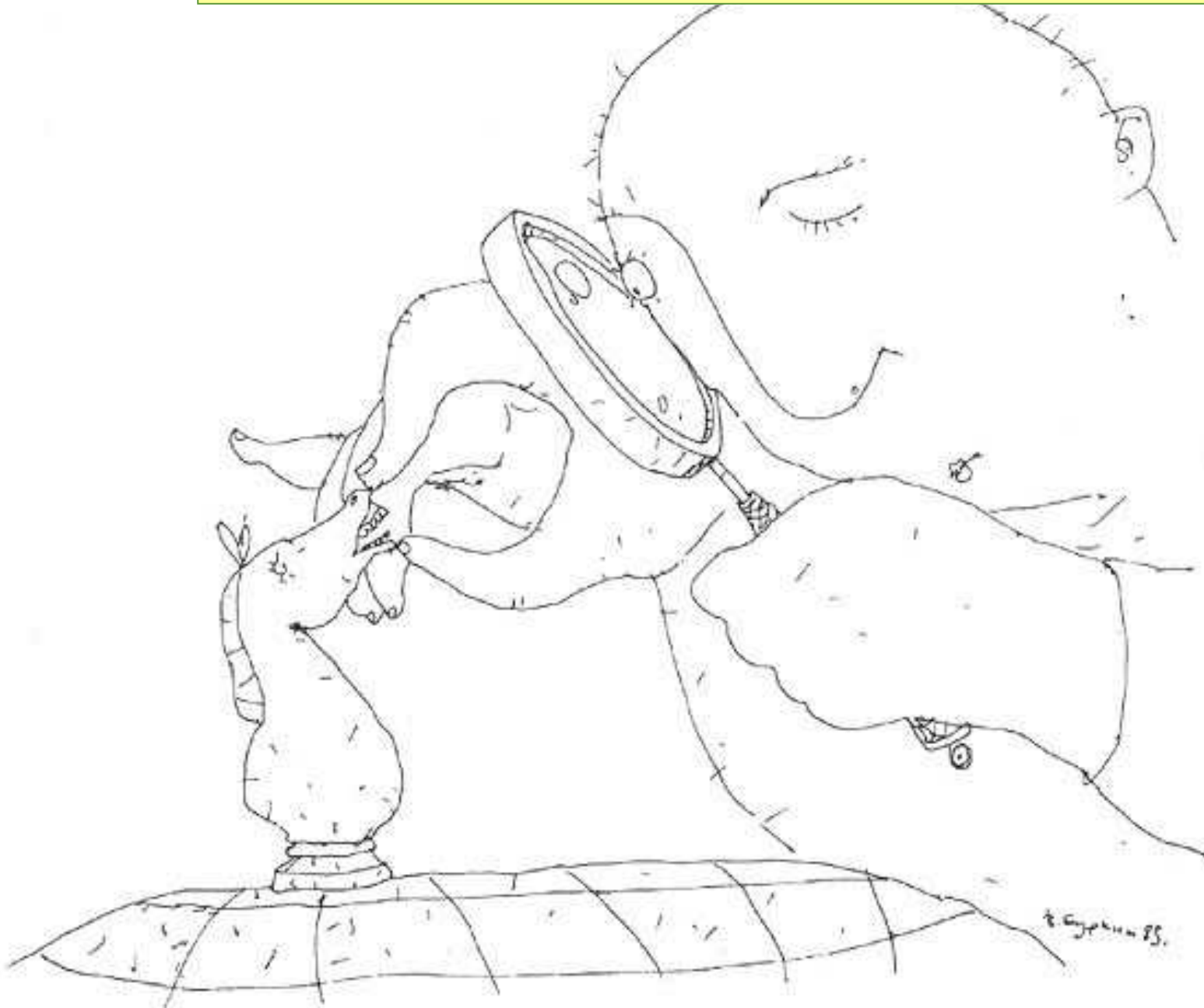


# Parámetros dinámicos.





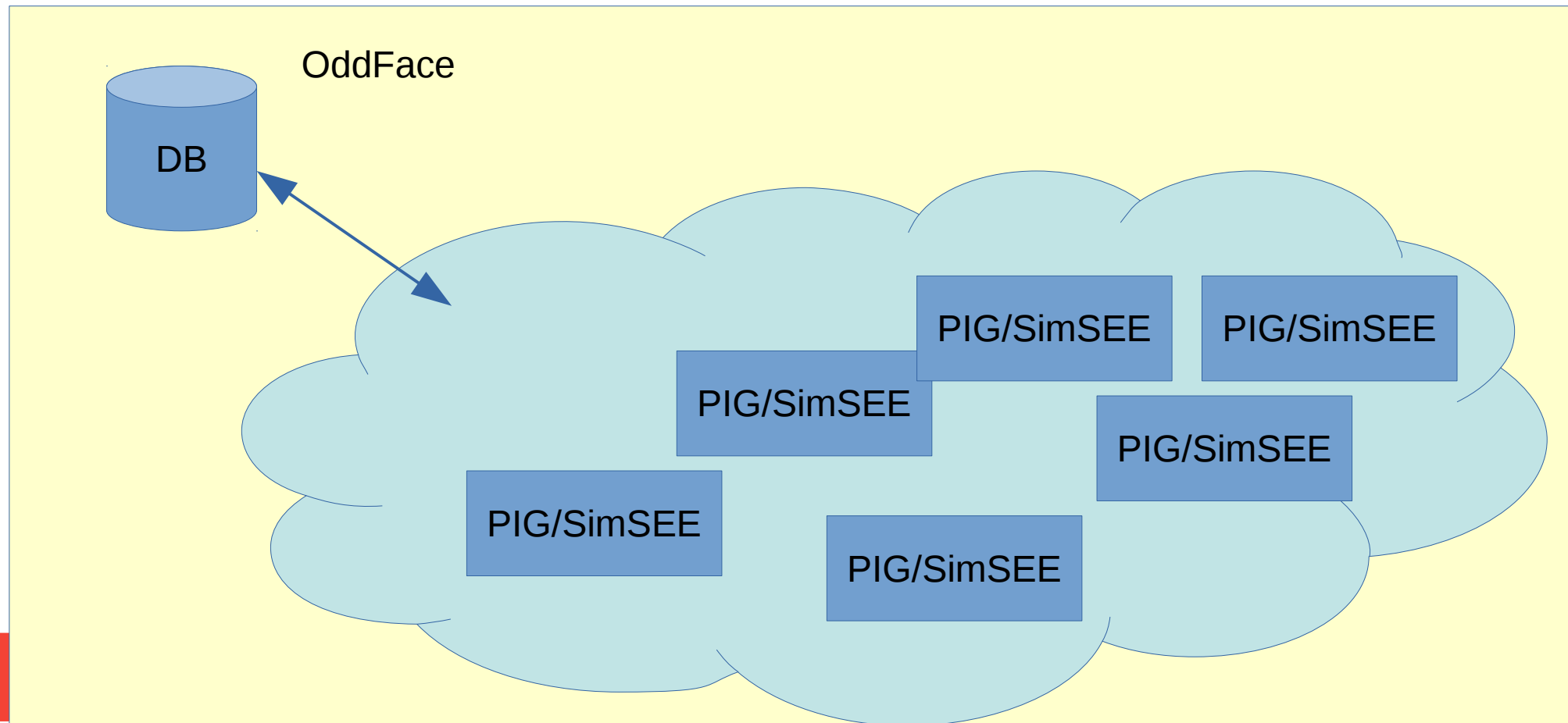
# Monitores



# OddFace + PIG + SimSEE

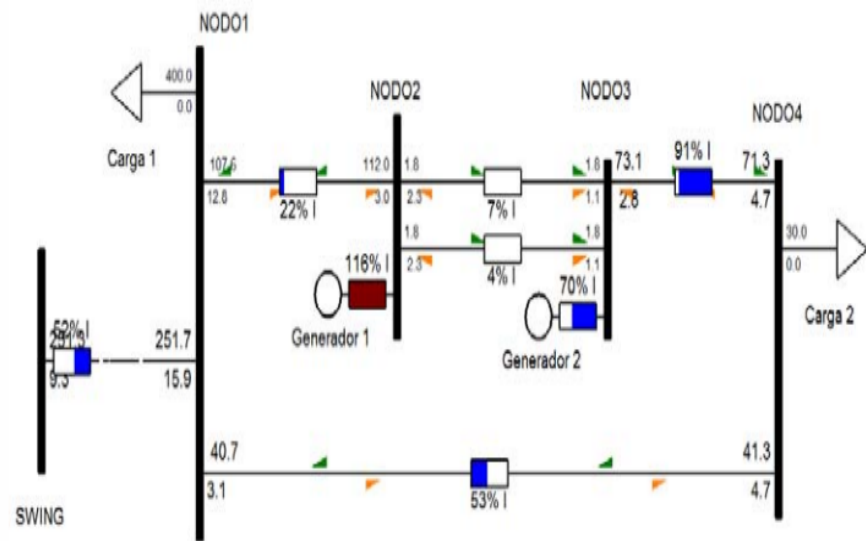
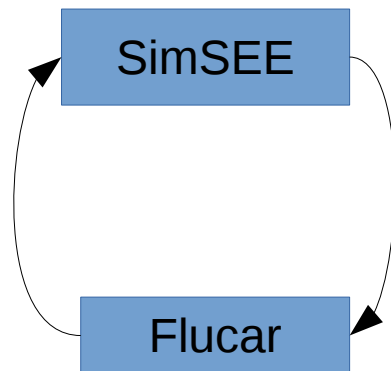
**Optimizador distribuido de funciones de alto costo de evaluación.**

**Planificación de Inversines de Generación.**





# SimSEE y FLUCAR.



Generación:

Generador 1	:	115.70 MW
Generador 2	:	69.40 MW



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY





## VATES

**Pronóstico de la  
operación en tiempo  
continuo con  
integración de  
información del  
Estado y de los  
pronósticos del SIN.**

Fin de la primera parte.



*Neofuturist*  
©2005