

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 2.
Introducción a la operación óptima de
sistemas de generación de energía
eléctrica.



Ing. Ruben Chaer
rchaer@adme.com.uy



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



Fundación
Julio Ricaldoni
INGENIERÍA EN EL URUGUAY

Objetivo de la operación del SIN.



- Abastecer la demanda al **MENOR COSTO POSIBLE** en condiciones de **CALIDAD ACEPTABLE.**

La Demanda

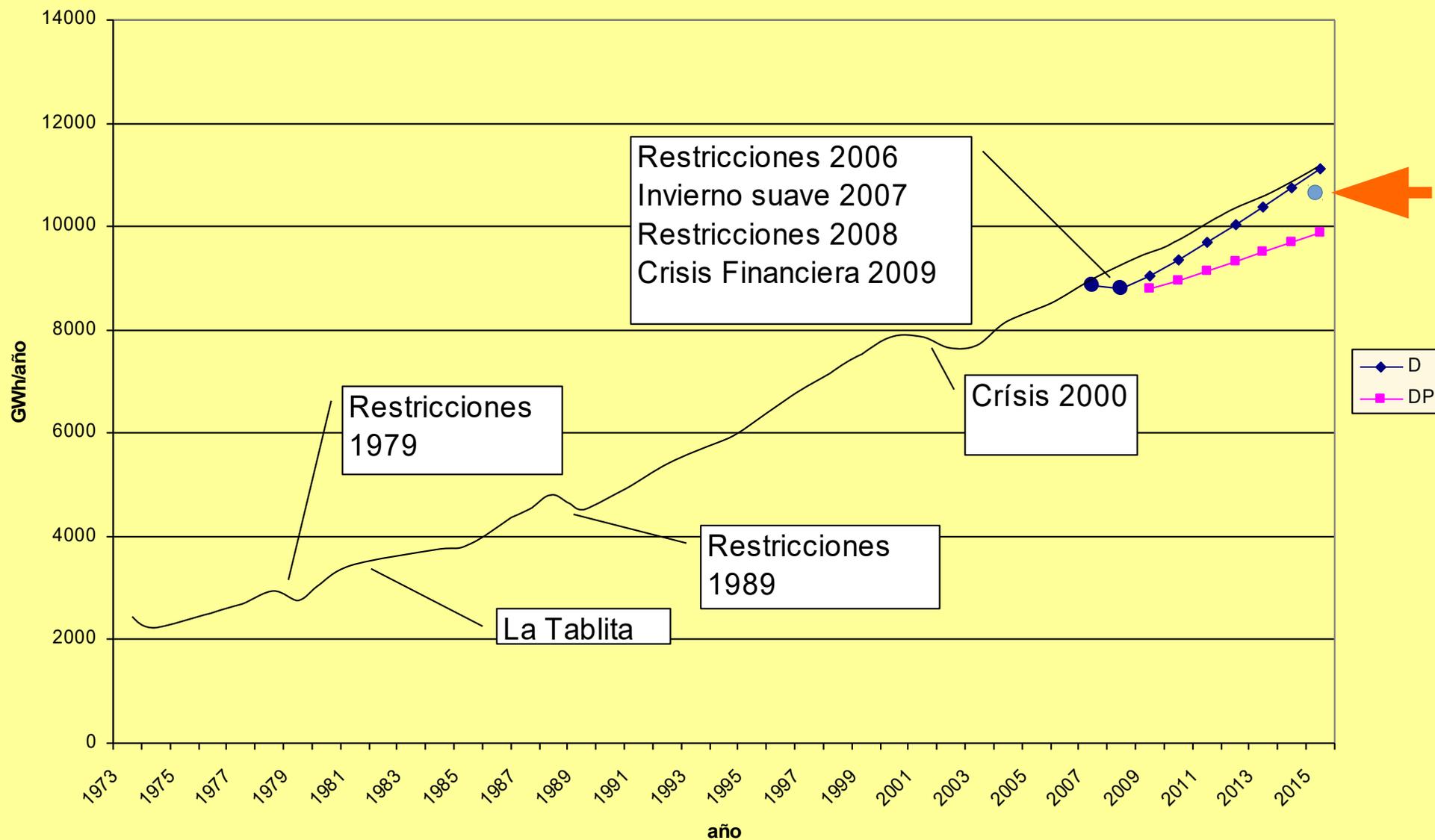
Uruguay 2015 :
10500 GWh
tc: 3.5% ... 2.5%

Argentina 2015 :
132000 GWh
tc: 4.4%

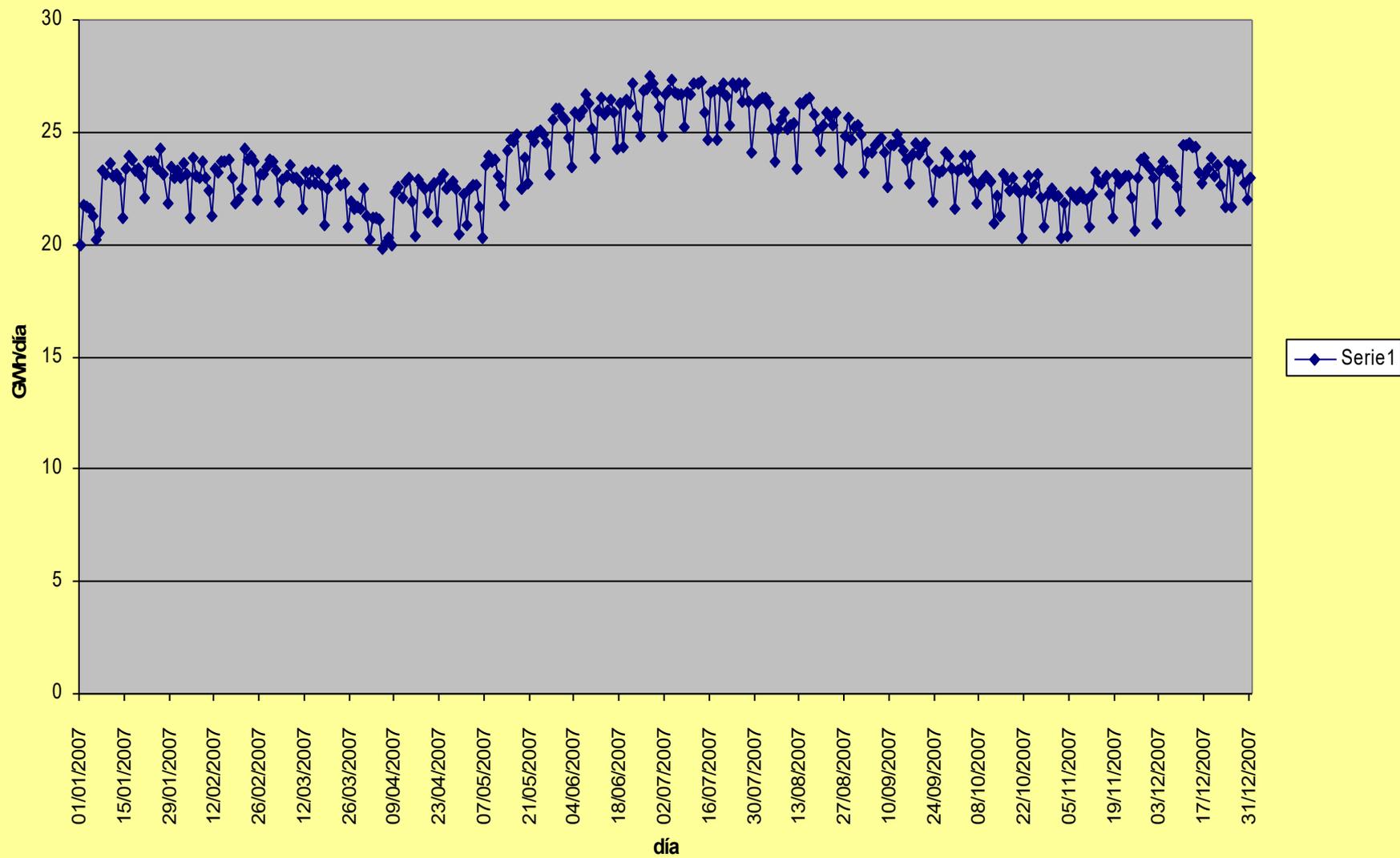
Argentina = 12.5 * Uruguay

Brasil = 35 * Uruguay

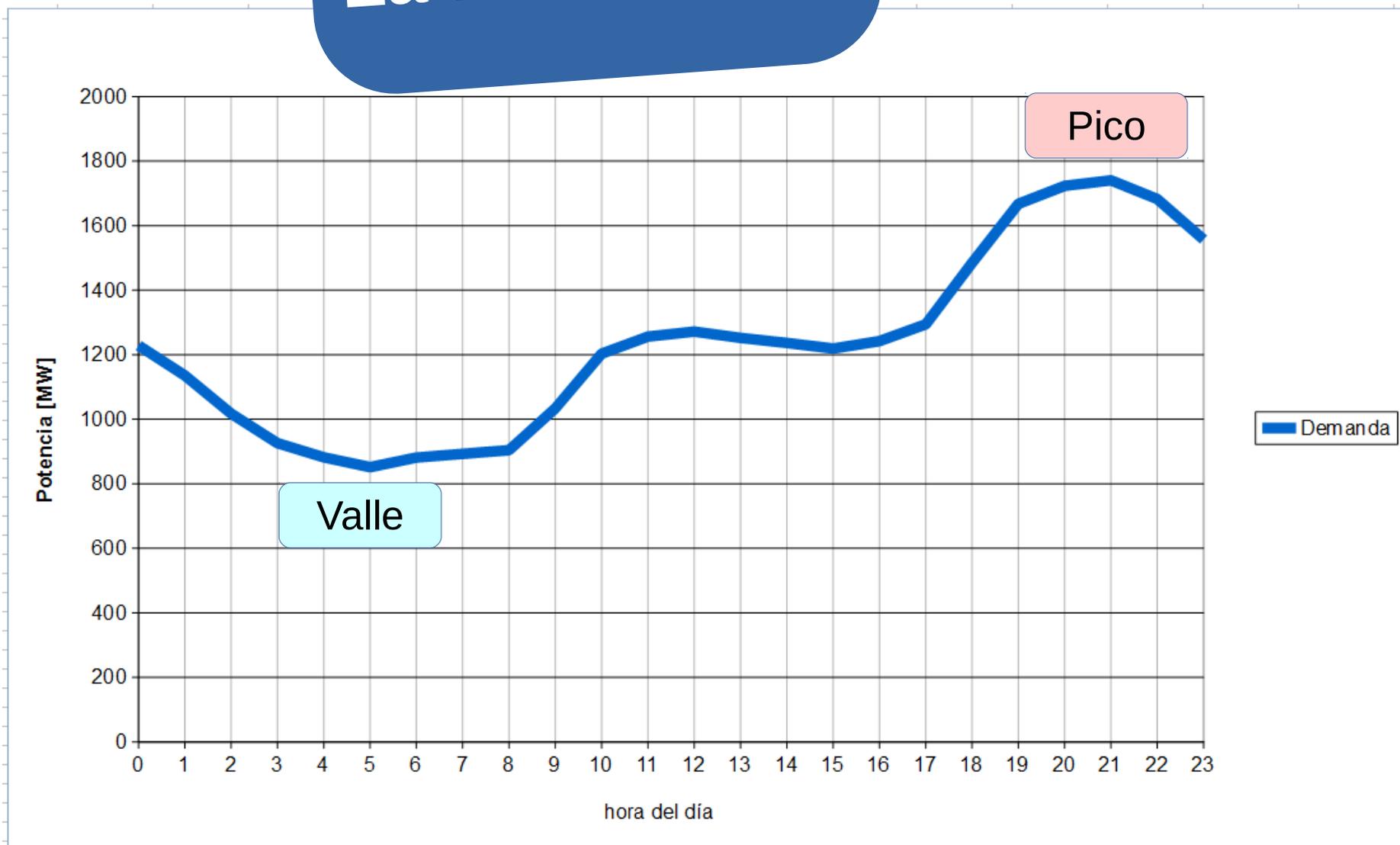
Demanda de energía eléctrica Uruguay. Hasta el 2008 son datos reales



Demanda Uruguay 2007



La Demanda





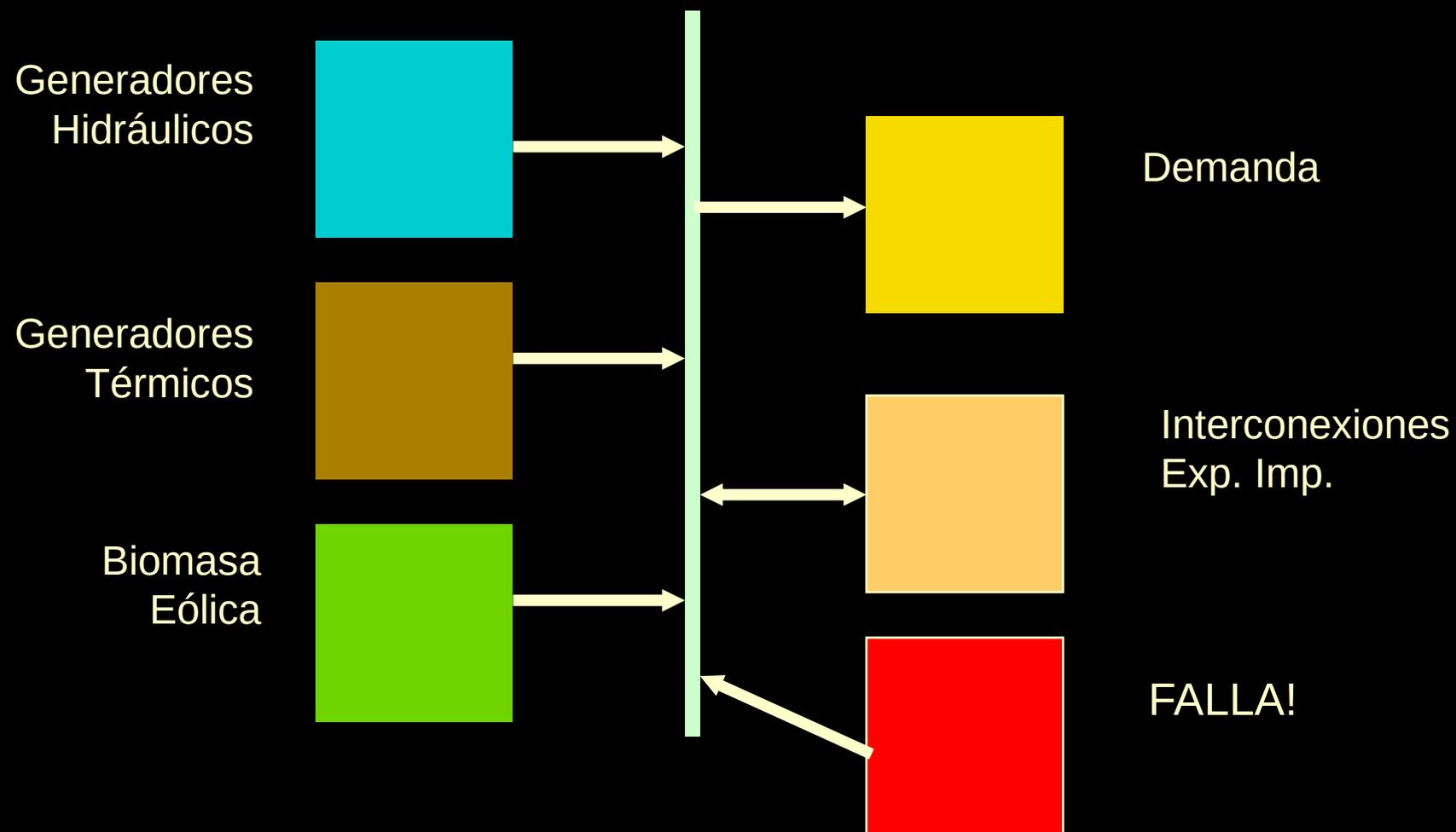
Falla
Déficit
Racionamiento
Costos de falla

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

Balance en todo instante



CF



Costo Futuro.



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

- cc = costo de combustible
- cd = costo de déficit
- ci = costo de imports.
- ie = ingresos por exports.
- q = fact. descuento

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..

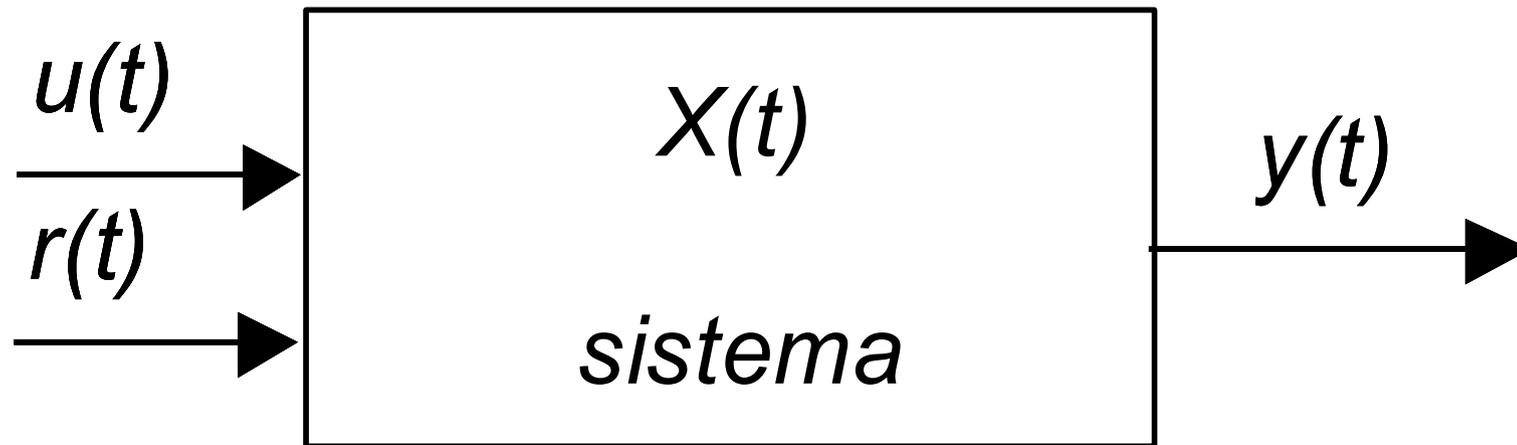
Estado del Sistema



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

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

Diagrama de bloques.



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*

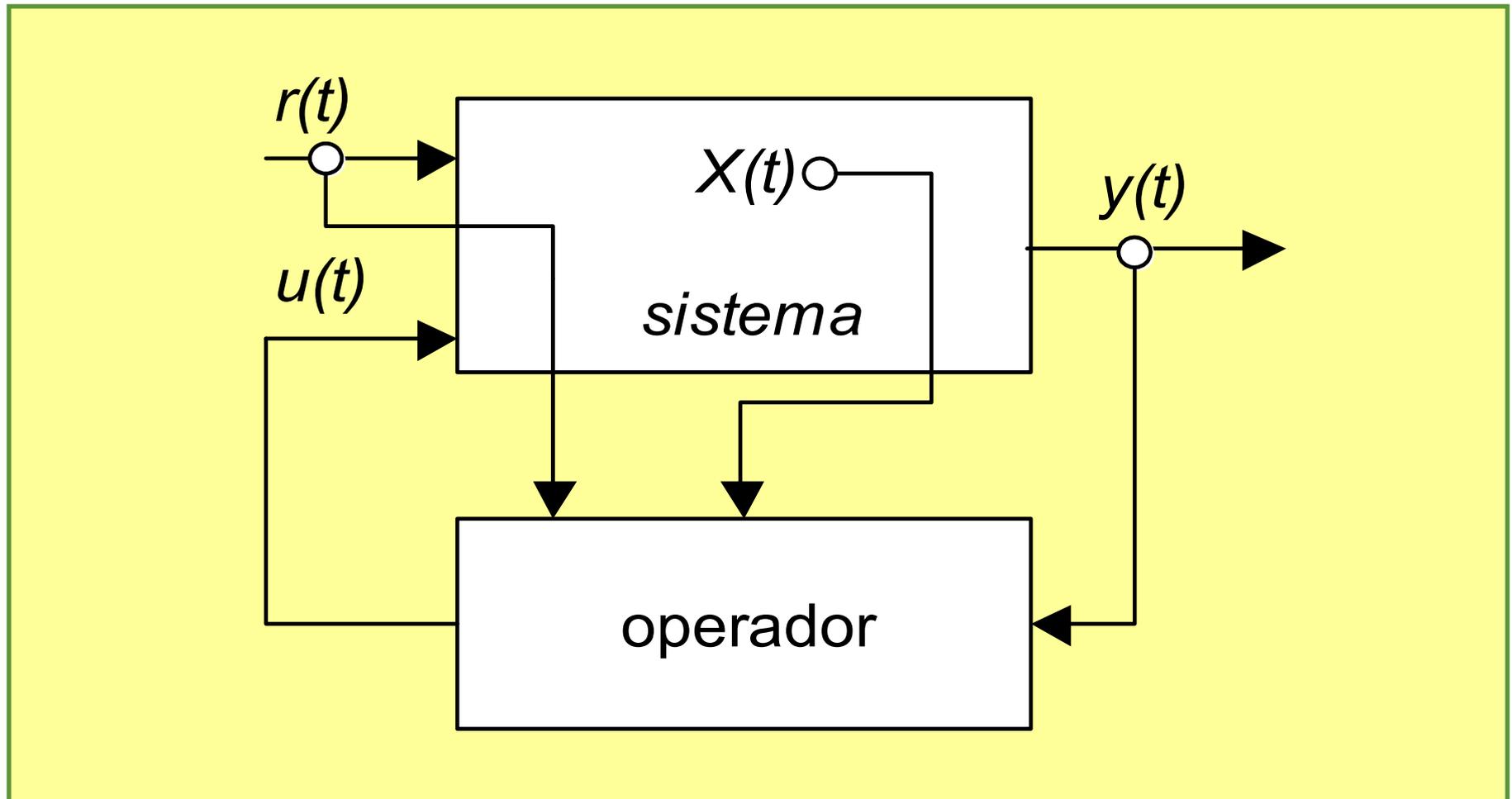
***r**, entradas no controlables*

***x**, estado*

y**, variables observadas o **salidas

***t**, es el tiempo.*

Operación - Sistemas Dinámicos





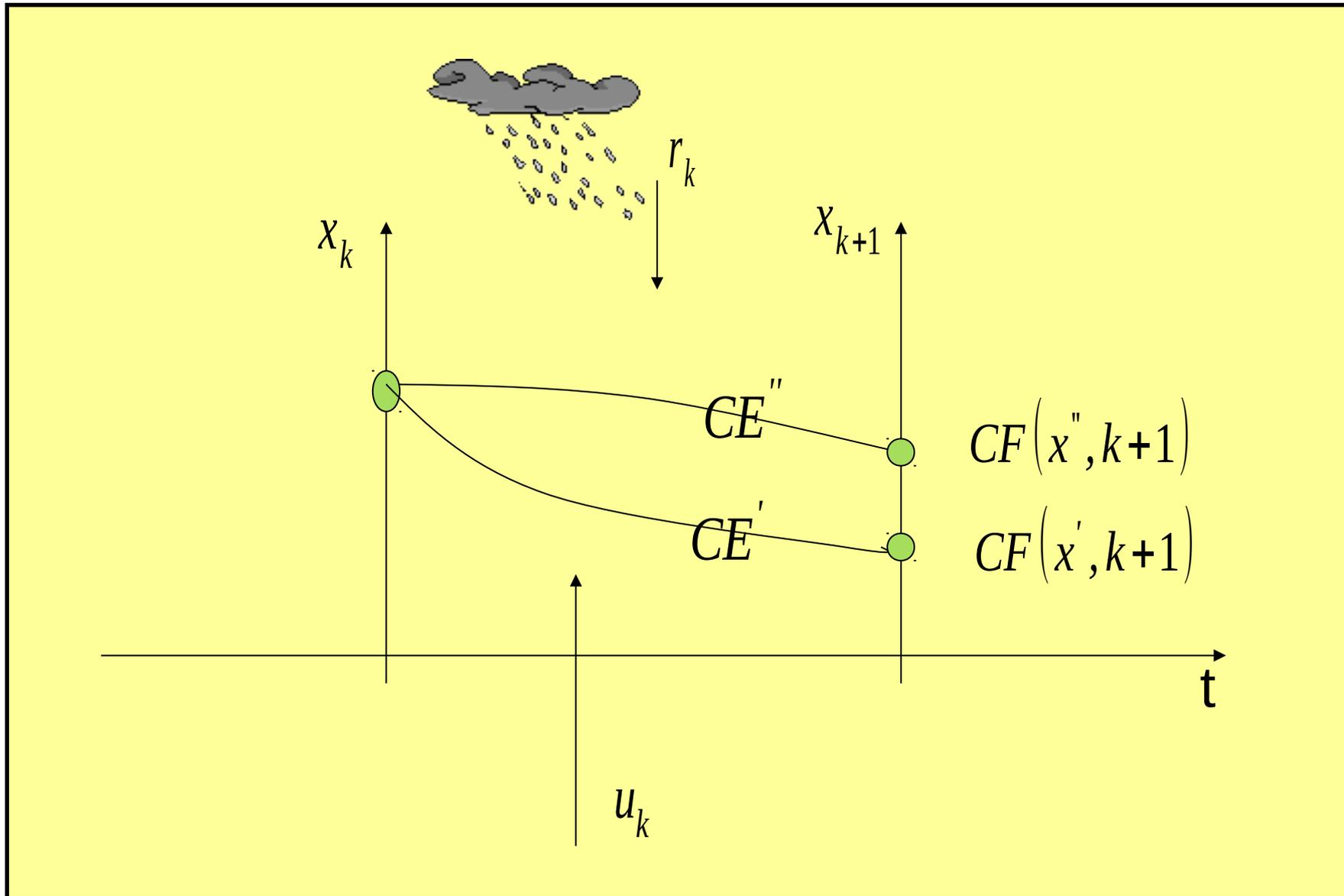
Política de Operación

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

Política de Operación y Costo Futuro

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

Programación Dinámica Estocástica.



Hey, no se duerman!



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 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.

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

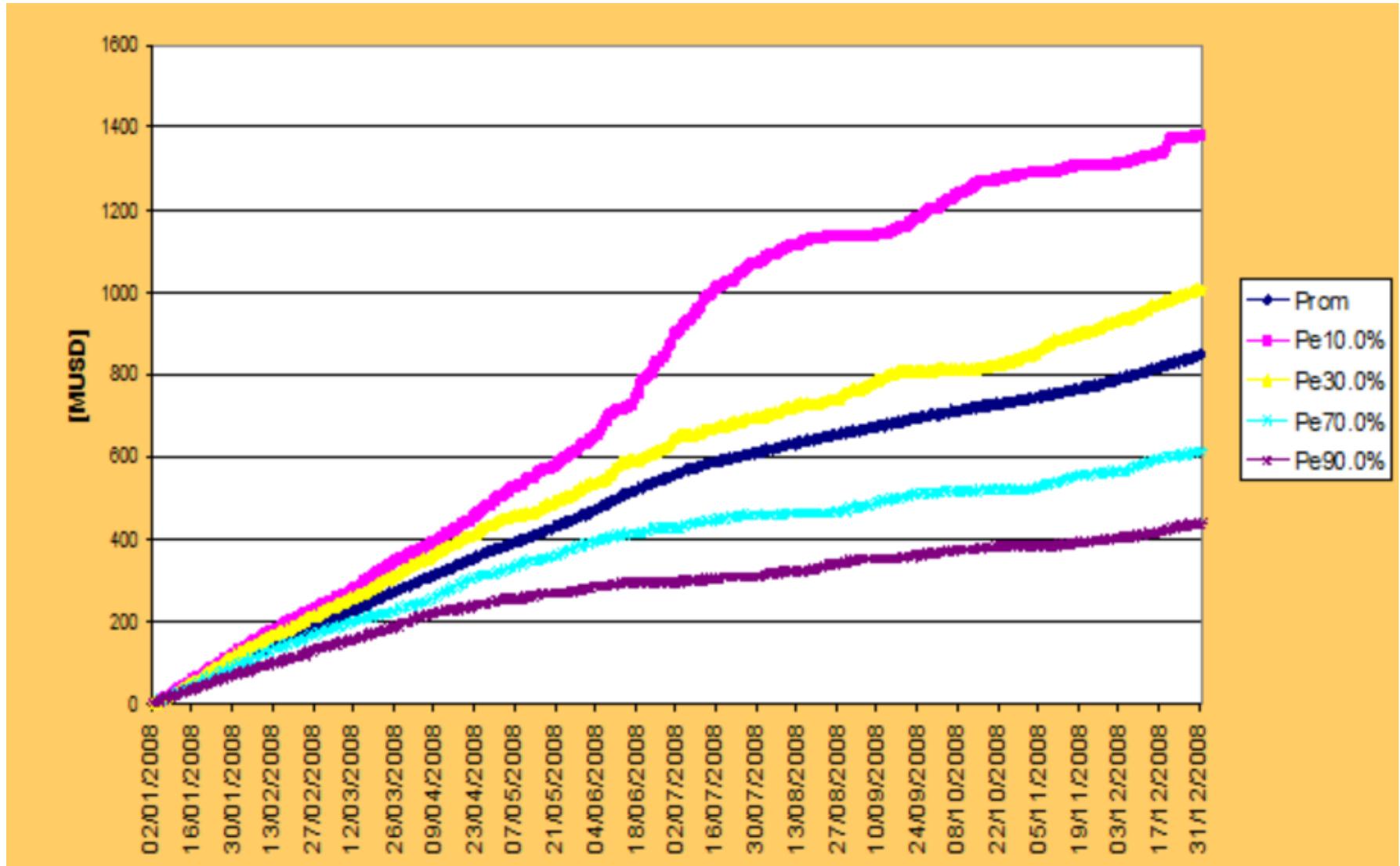
Procesos estocásticos.

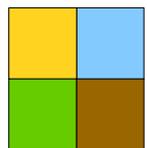


- Fuentes de aleatoriedad.
- Resultados probabilísticos.
- *Escenarios.*
- Crónicas históricas.
- Identificación de procesos estocásticos y generación de sintetizadores.

CAD proyectado 2008

(Uruguay - simulado en 2007)





SimSEE

Plataforma de
Simulación de sistemas de Energía Eléctrica

- PDT 47/12 BID – CONICYT 2006-2007 Creación
- ANII-FSE 2009-128 Mejoras
- ANII-FSE-1-2011-1-6552 Modelado Autoctonas
- ANII-FSE_1_2013_1_10957 OptimA



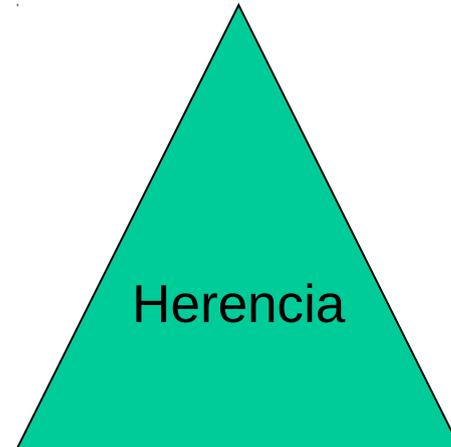
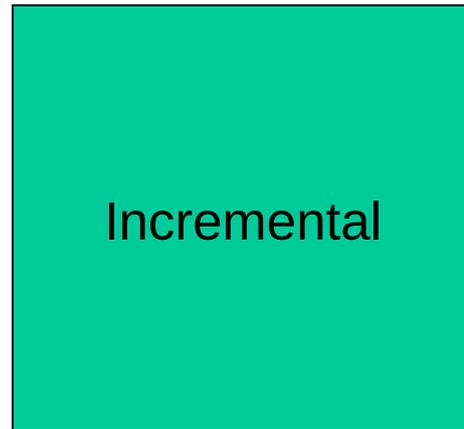
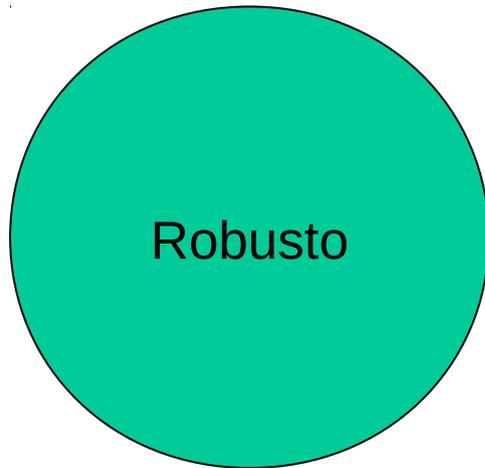
UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



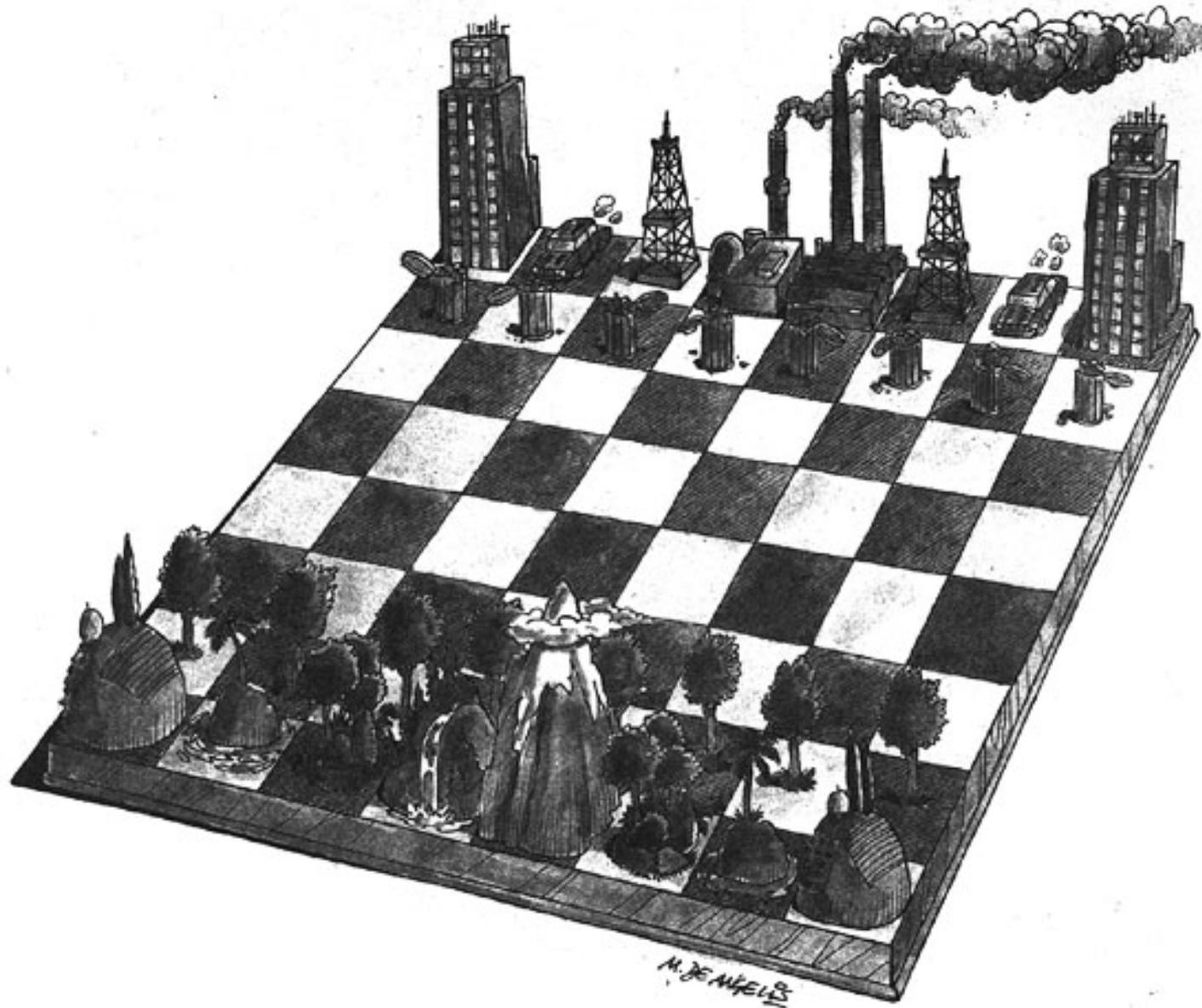
(Dpto. Potencia del IIE – FING)

<http://iie.fing.edu.uy/simsee>

OOMT



Sala de Juegos y Actores



Programación por Eventos

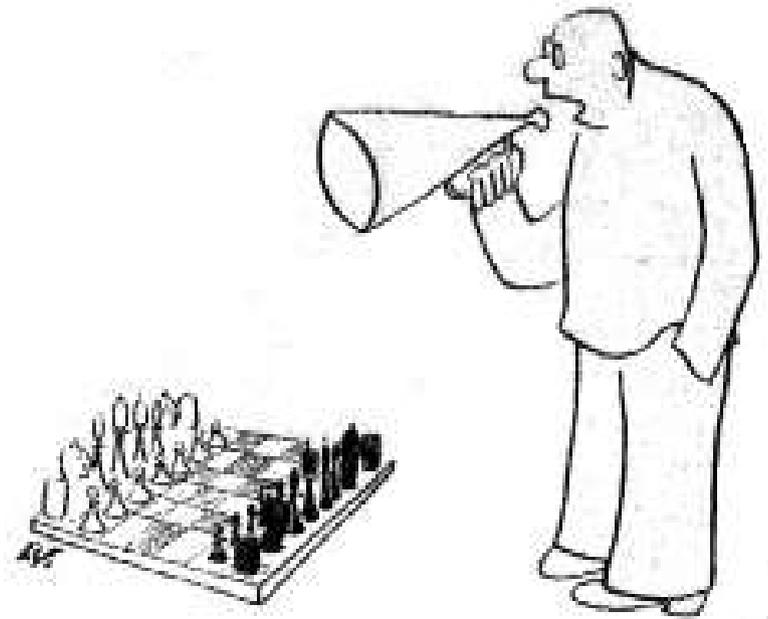
Repetir para cada paso:

<evSorteosDelPaso >

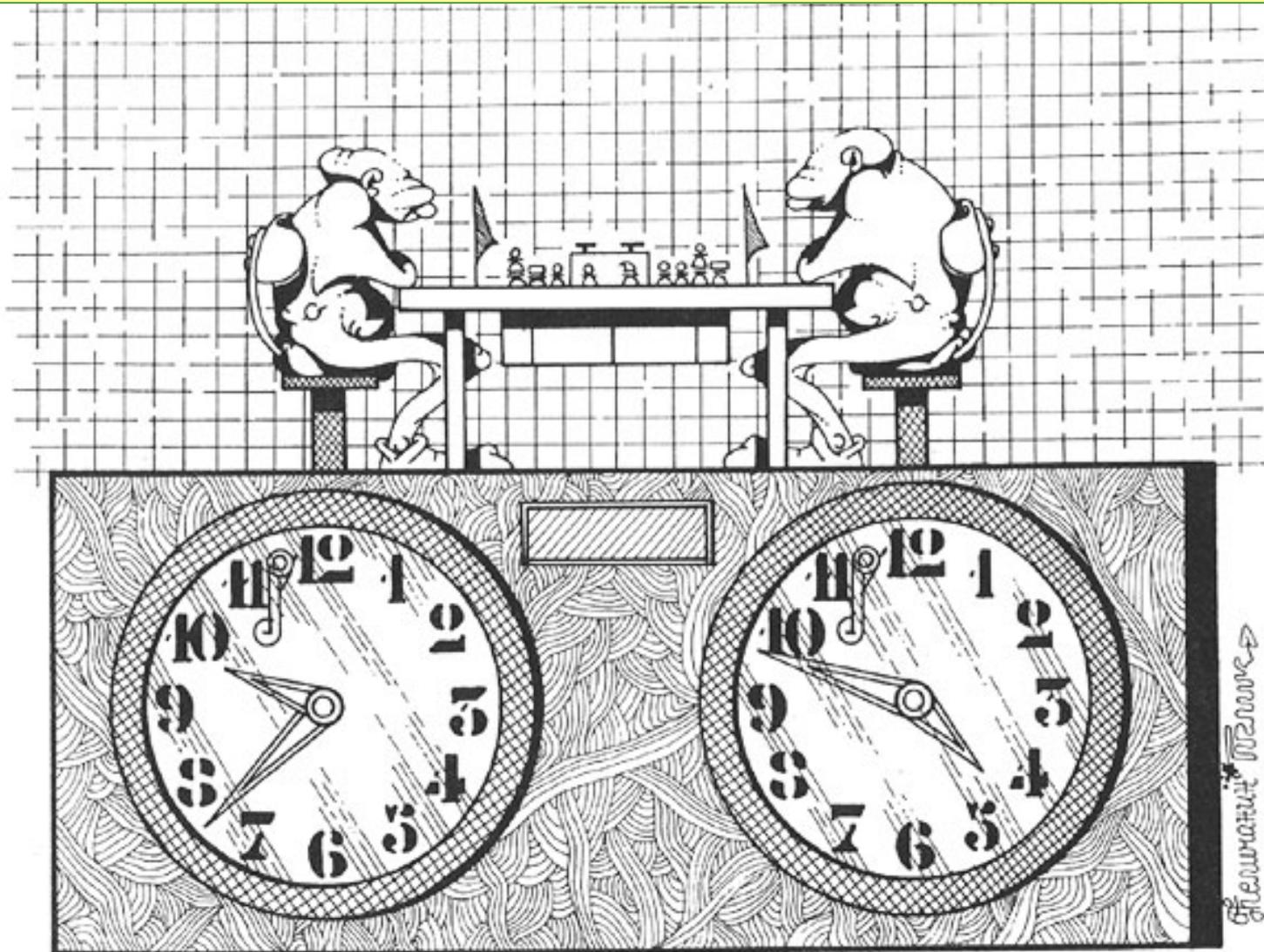
< evCargarProblema >

Resolver el despacho

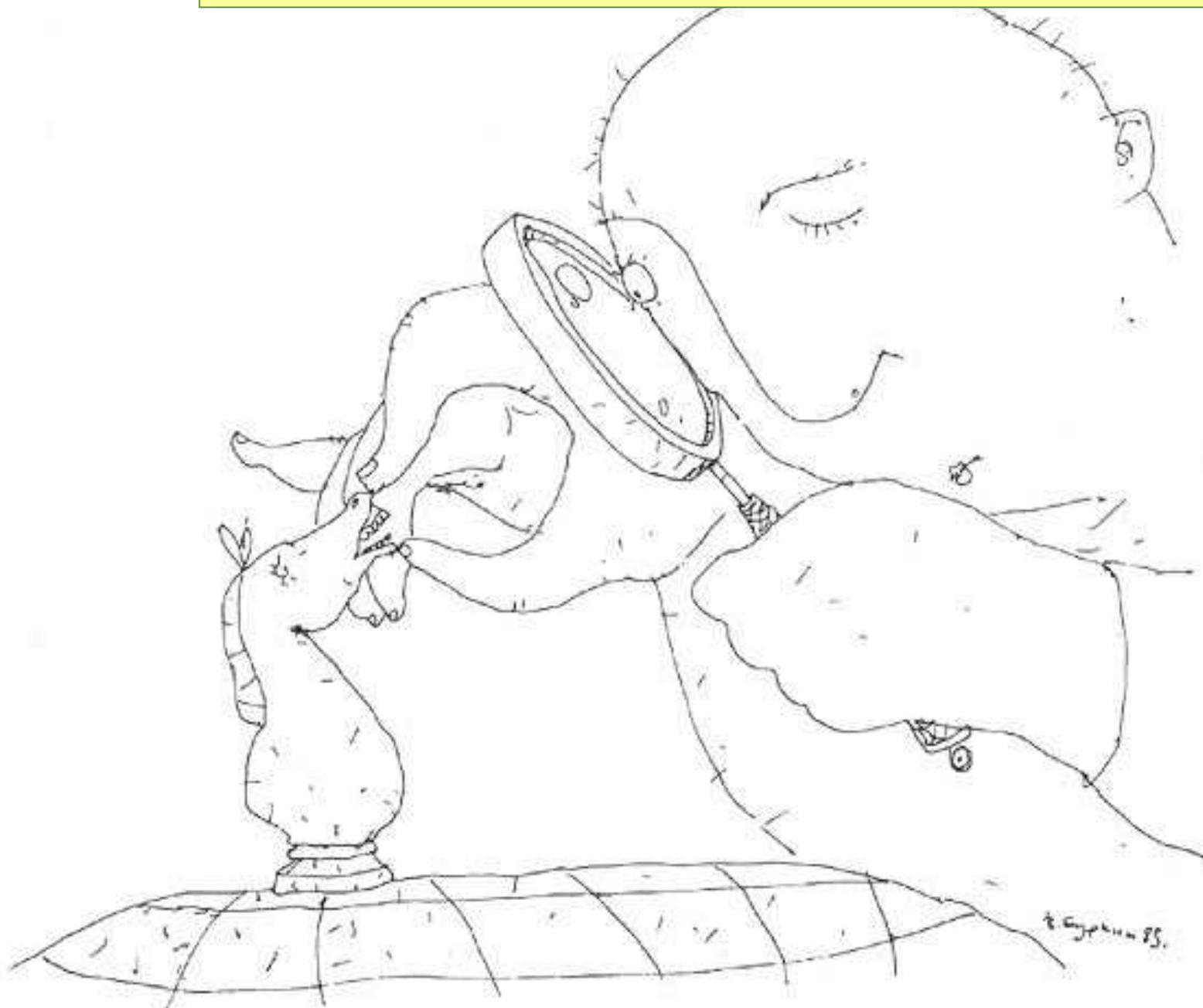
< evLeerResultados >



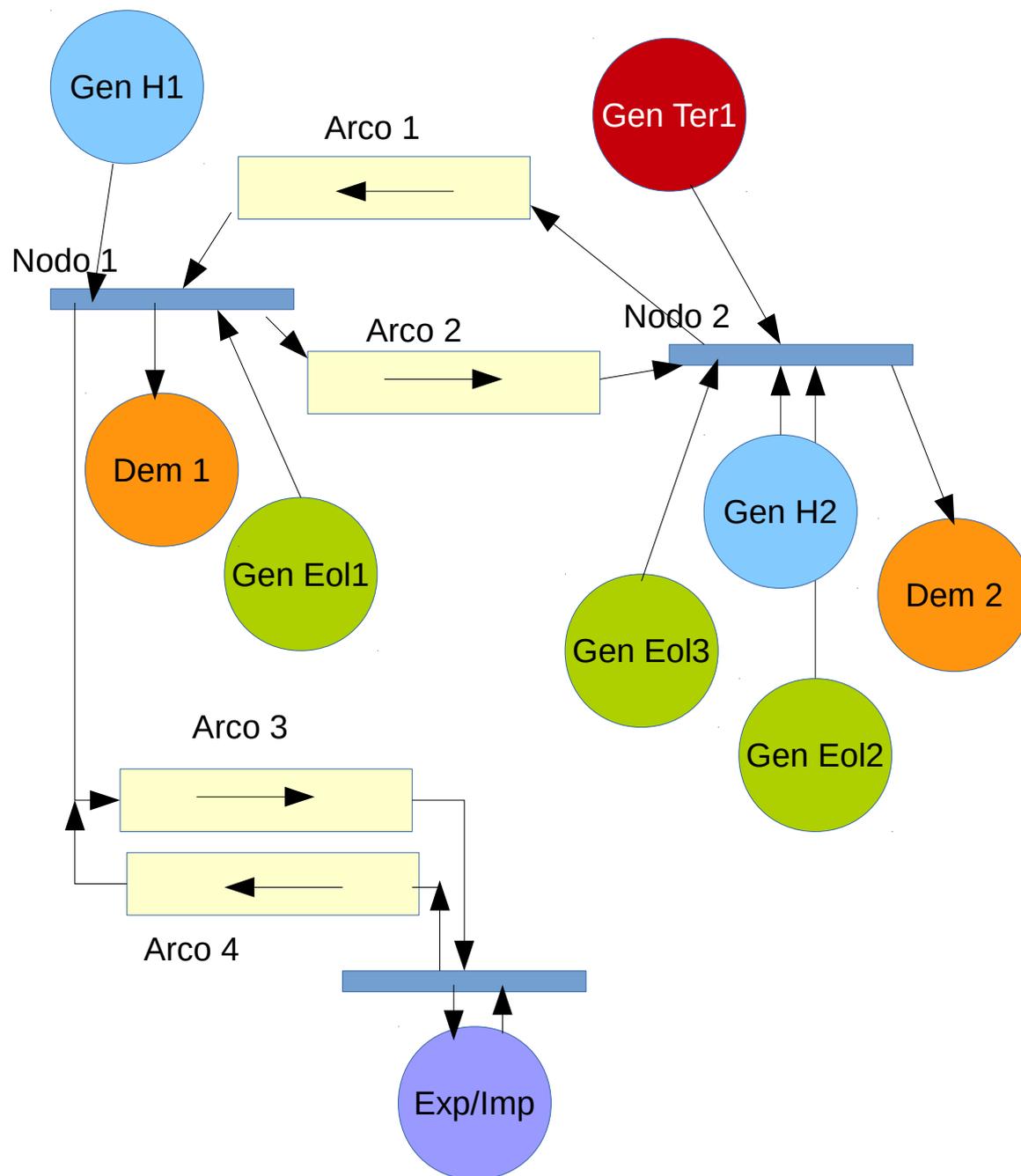
Parámetros dinámicos.



Monitores



Despacho Energético con restricciones de transporte



Sistema

Modelo

$X = \text{Estado}$

Ecuación de
evolución
del Estado

Simular

Horizontes

Paso T

Poste

Incertidumbre

Crónica

Escenario

La Demanda

Falla

Costo de Falla

Generadores

Nodos

Arcos

Los Recursos

Costos Fijos = PP [USD/MWh]

Costos Variable = CV [USD/MWh]

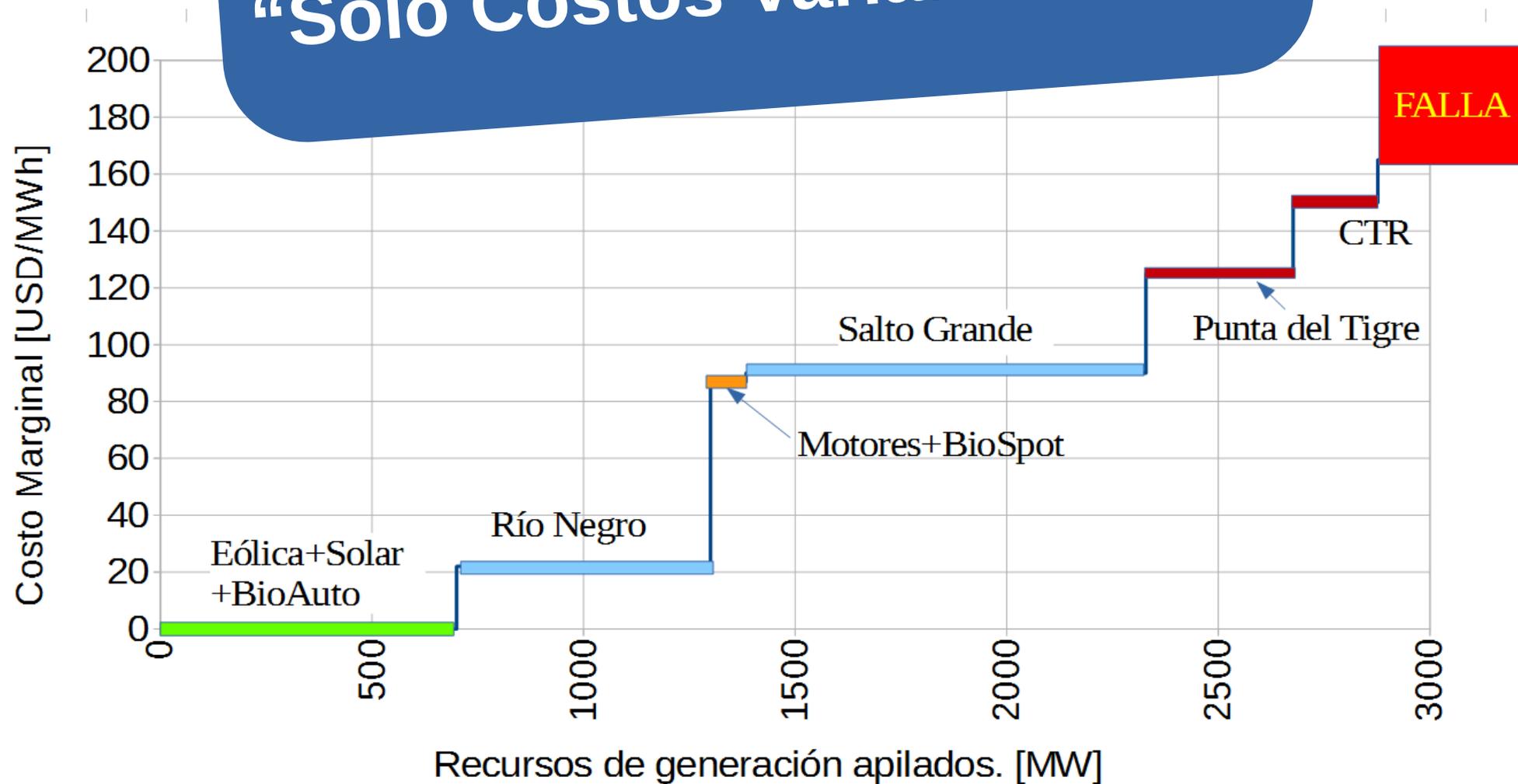
	PP [USD/MWh]	CV [USD/MWh]
eólica	65	0
solar	85	0
Turbina Ciclo Abierto (GO)	15	120
Ciclo Combinado (GO)	25	90
@wti = 50 USD/bbl		

Biomasa (Autodespachada | Spot)

Hidroeléctricas

Despacho Óptimo

Primer Principio: “Sólo Costos Variables”



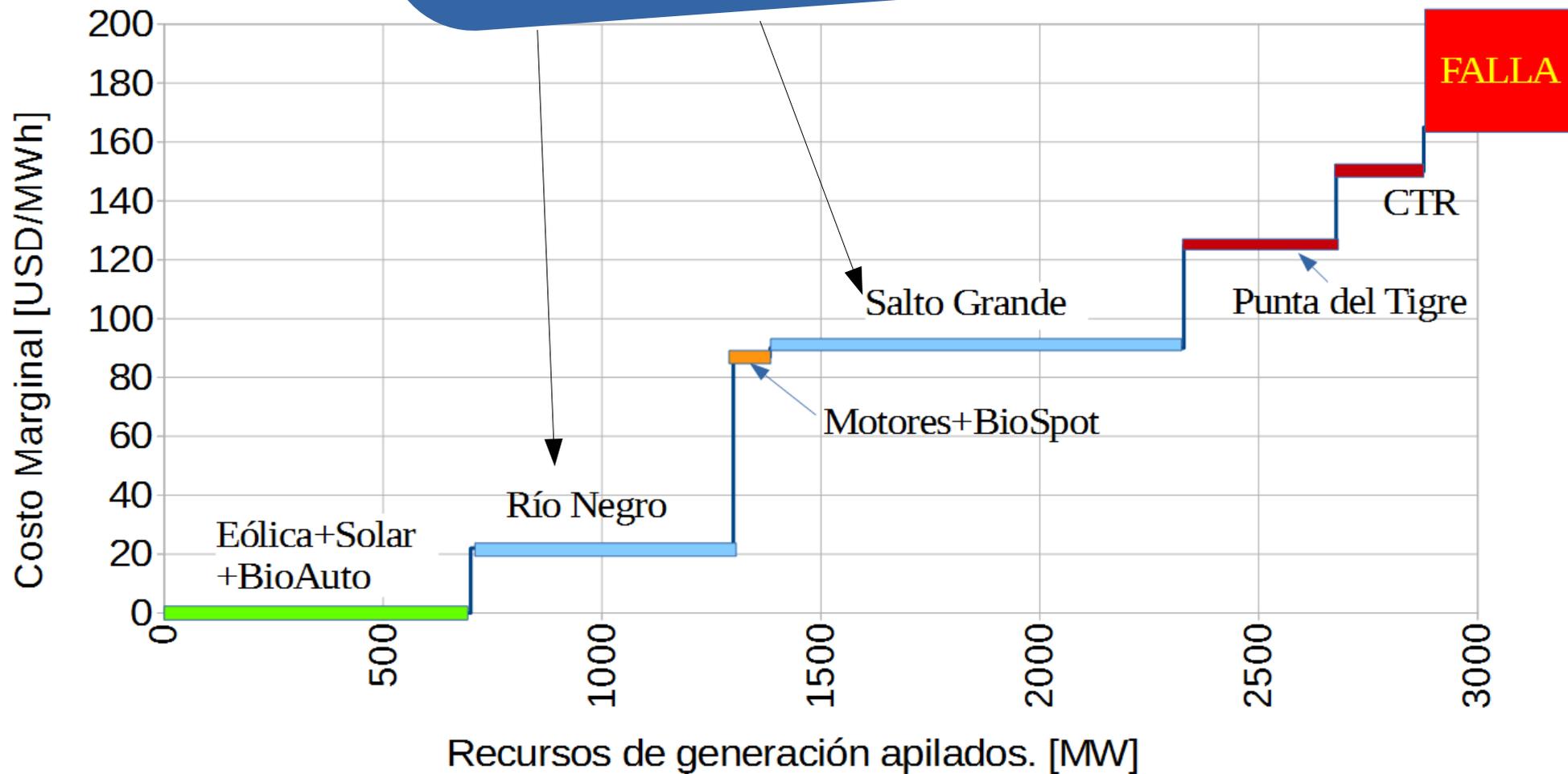
Despacho Óptimo

Segundo Principio:

“Los contratos son de papel”



Valor del Agua



Valor de un recurso almacenable



Comparación entre costo del presente y costo del futuro.

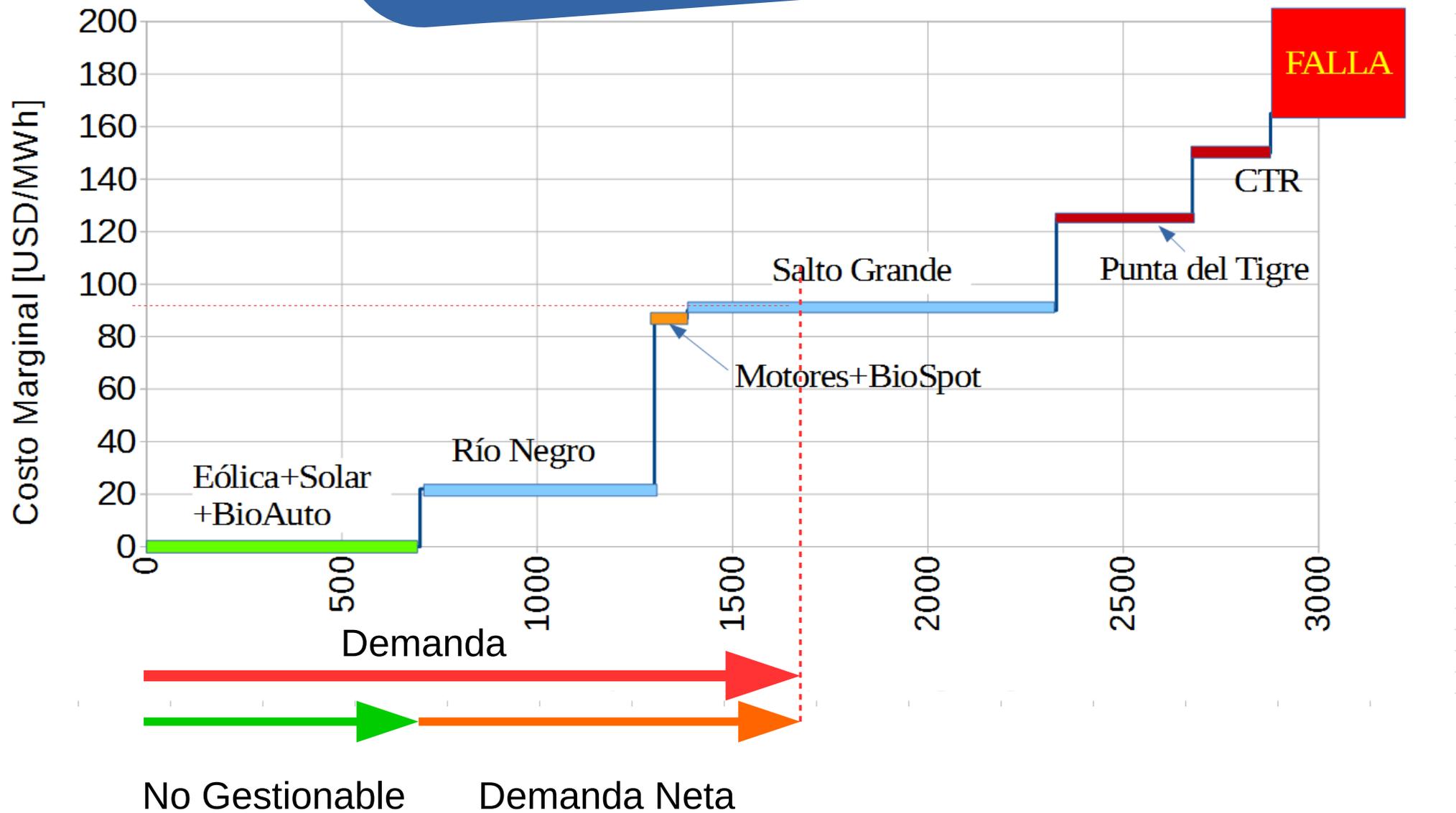
De no haber restricciones para el traslado en el tiempo, el costo marginal sería el mismo en todas las horas del futuro.

INCERTIDUMBRE DEL FUTURO.

MODELOS ESTOCÁSTICOS

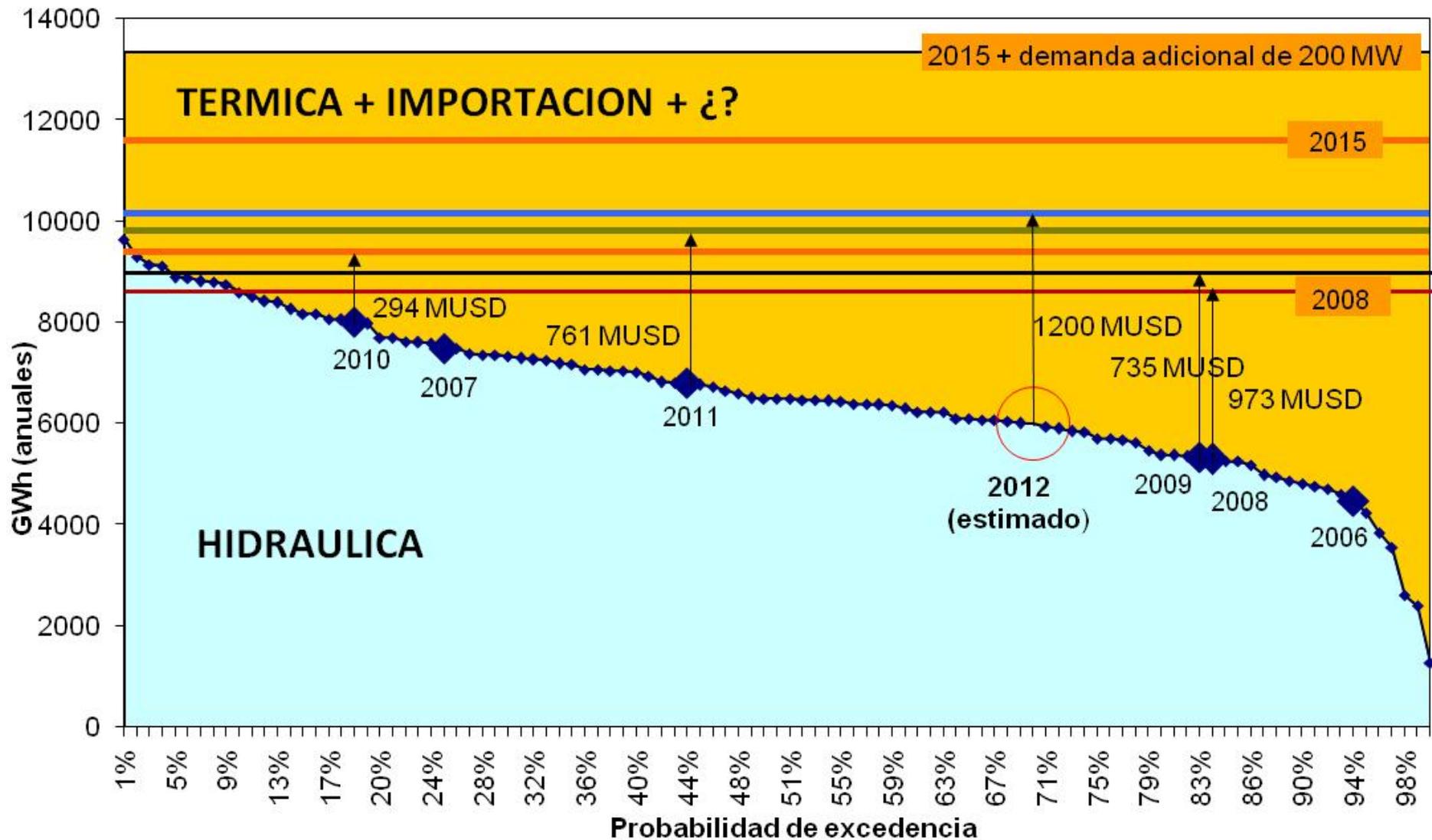
PRONÓSTICOS

Costo Marginal



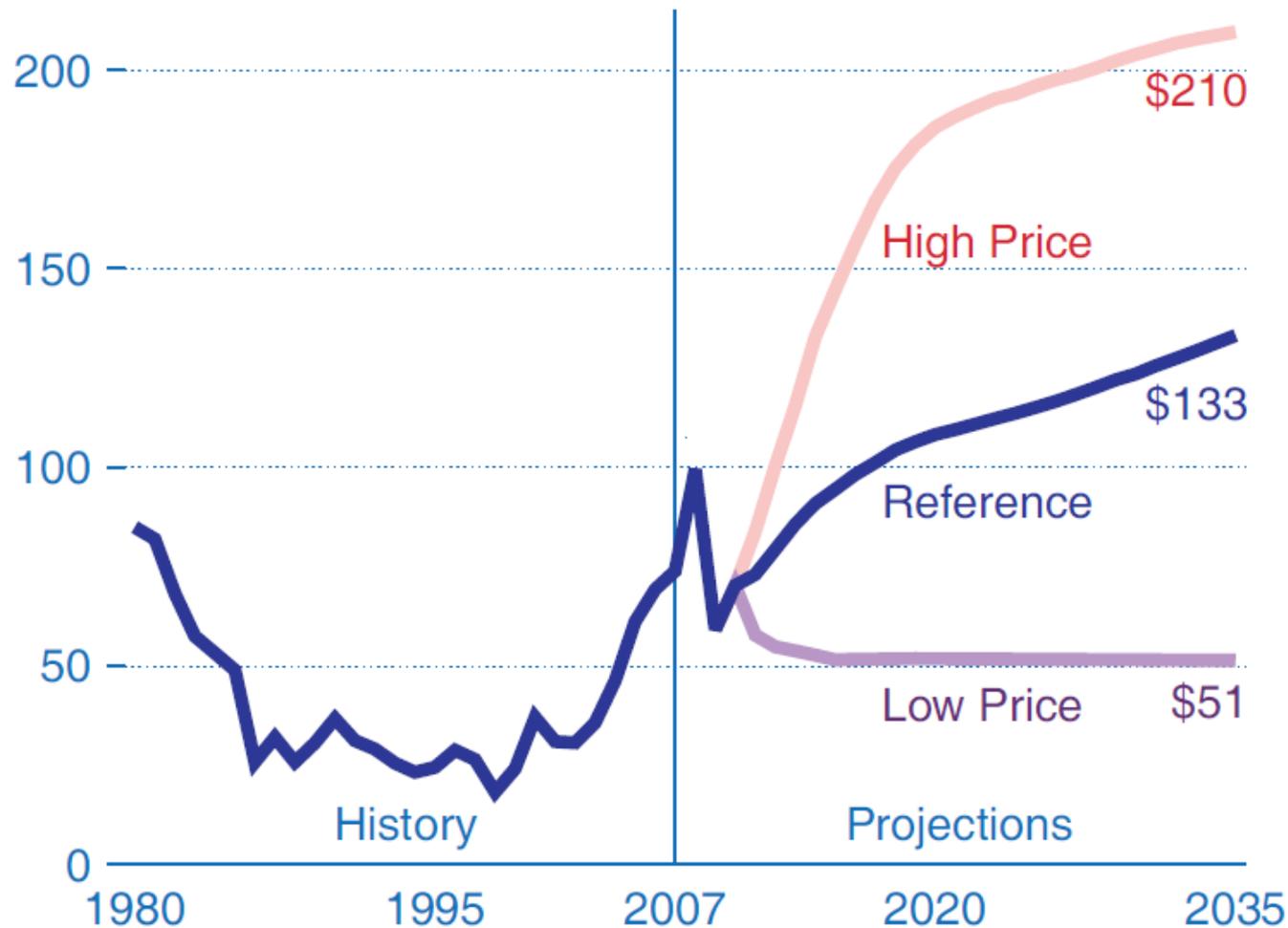
Variabilidad de la generación hidráulica.

(Figura realizada en 2012)

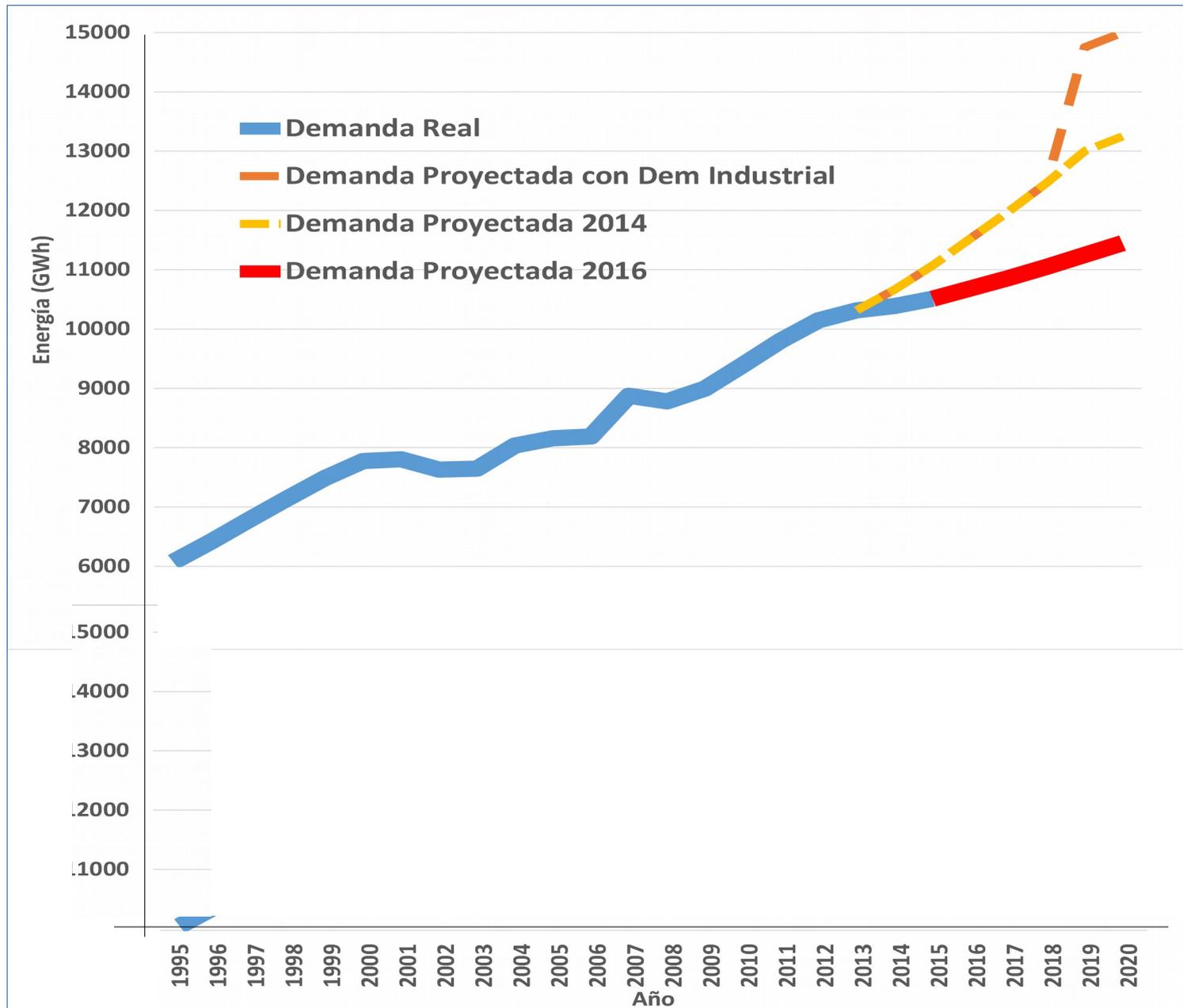


Pronóstico de precios de petróleo. Otra fuente de incertidumbre.

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



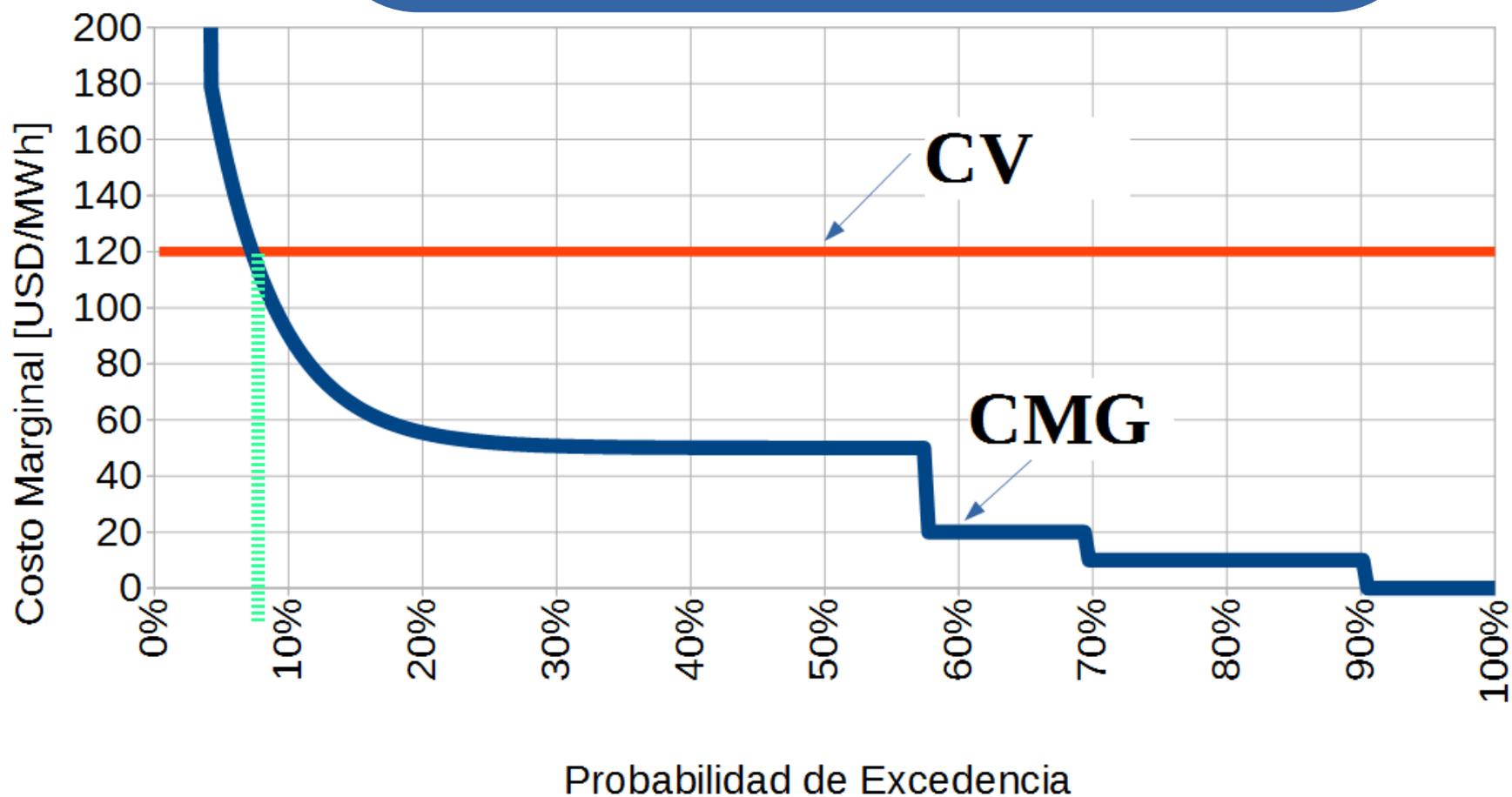
Incertidumbre en el crecimiento.



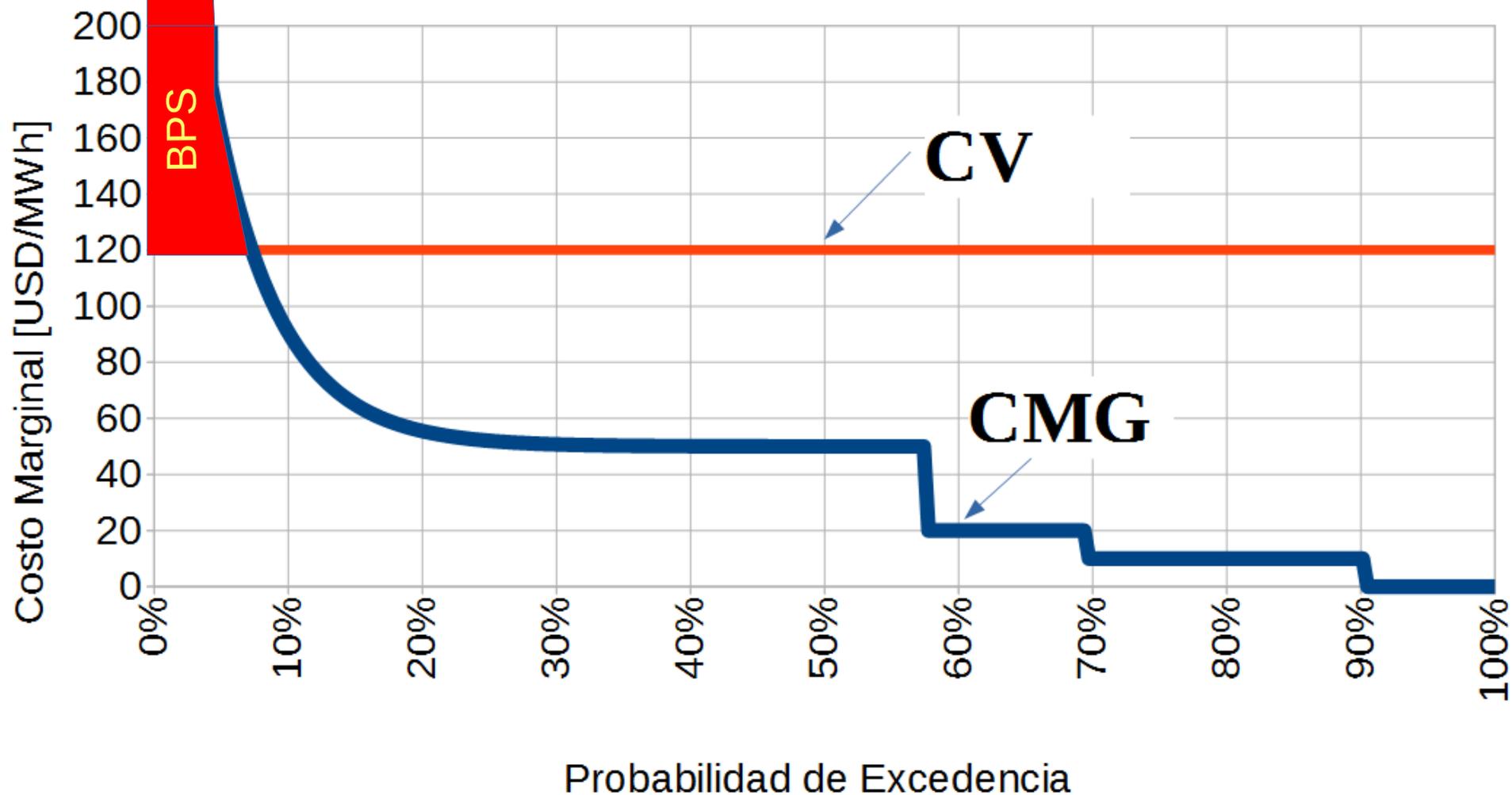


Análisis Marginalista como herramienta de diseño y razonamiento.

Costo Marginal, CV y Factor de Despacho.



Beneficio Por Sustitución.



Gradiente de Inversión.

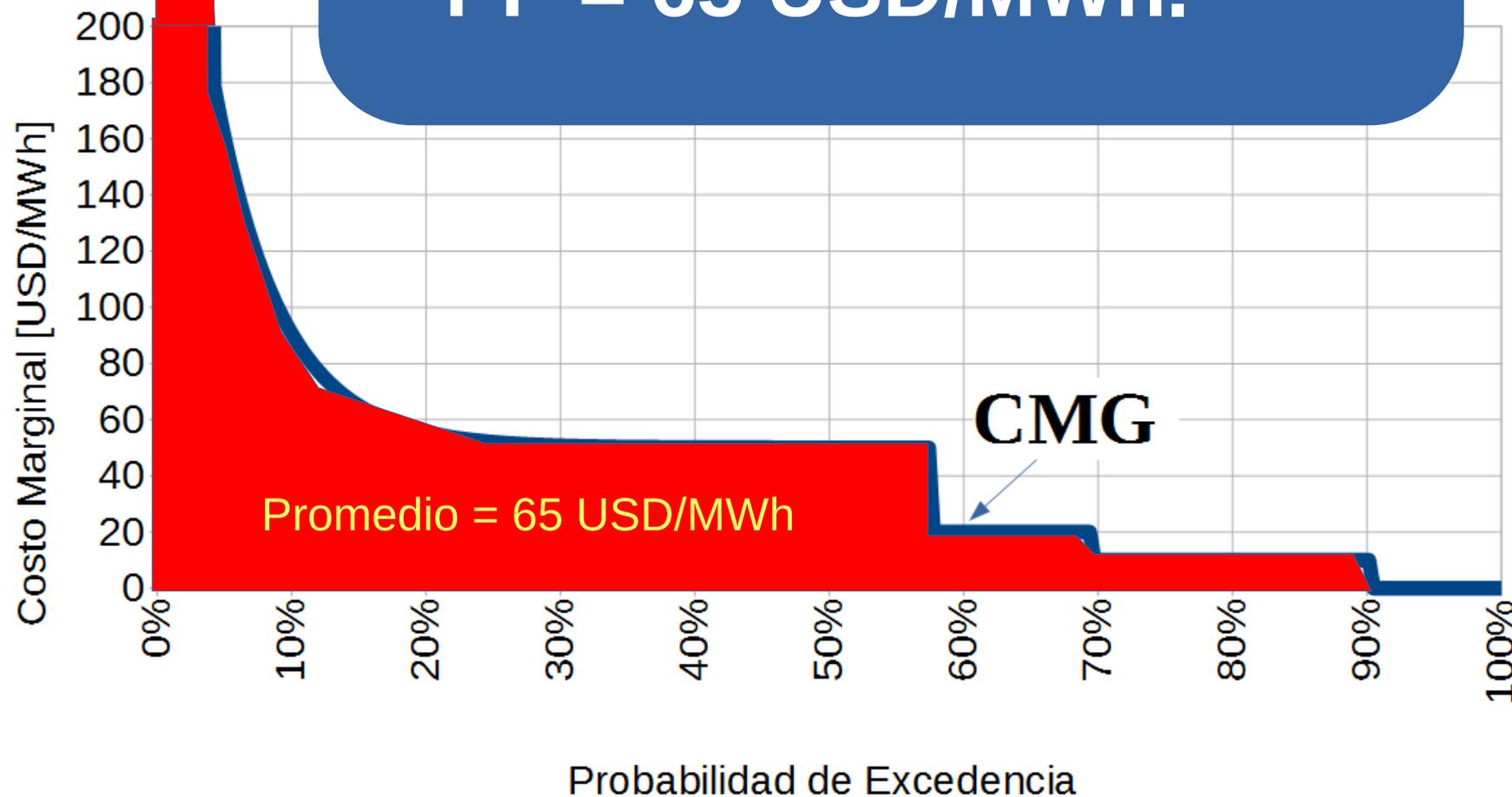
$$GI = (BPS * fd - PP) / PP$$

La tecnología más eficiente marca la expansión hasta que su $GI = 0$.

Eólica:

CV = 0 USD/MWh

PP = 65 USD/MWh.





Planificación de Inversiones.

Costo de Inversión.

Costos de Operación y Mantenimiento.

Período de construcción.

Riesgos del proyecto. (Construcción, Ambiental, Obsolescencia)

Costos Variables de Generación.

Fin



Kevin J. Smith
©2005