



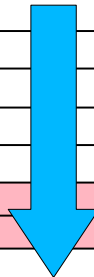
Clase 6 - REPASO
Post-Semana Santa

Parte 1) Repaso y análisis de formación del CF en al recursión de Bellman.

Parte 2) Modelos CEGHs y herramienta AnálisiSerial.

2 de abril de 2024
Montevideo - Uruguay

Plan tentativo:

Clase	Fecha				
	1	07/03/24	Jueves	Introducción al modelado y operación óptima de sistemas	rch
	2	12/03/23	Martes	Instalación de SimSEE y Práctico 1	xc
	3	14/03/24	Jueves	Optimización en pocas palabras y Práctico 2	rch, xc
	4	19/03/23	Martes	Programación Orientada por los Objetos y Primeros Actores y Práctico	rch, xc
	5	21/03/24	Jueves	Programación Dinámica Estocástica y Costo Futuro y Práctico 3	rch, xc
		26/03/23	Martes		
		28/03/24	Jueves		
	6	02/04/23	Martes	Repaso general Modelo de procesos estocásticos -CEGHs (rch). Práctico 4 (AnálisisSerial)	rch
	7	04/04/24	Jueves	Práctico Sala LP. Expansión de la Demanda, cálculo de Gradiente de inversión de las tecnologías. Eol., Sol, Térmicas de Punta y de Base, expansión de la Demanda y planteo de la necesidad de expansión de la generación. Introducimos el concepto de Costos Fijos y Variables pero sin entrar en detalle de cómo calcular.	xc
	8	09/04/23	Martes	Introducción a la Planificación de Inversiones.	gcp
	9	11/04/24	Jueves	Bellman + CEGH + SimSEE_ICF y Aprendizaje por refuerzo	rch
	10	16/04/23	Martes	Influencia de iN34 en la operación, asimilación de pronósticos de caudales + Práctico (si es que da el tiempo).	Rafael/Alejandra
	11	18/04/24	Jueves	Integración de Ensamble de Pronósticos en CEGHs + Práctico	?GF
	12	23/04/23	Martes	Programación Estacional y Semanal y VATES + Práctico	
	13	25/04/24	Jueves	TRACTORCITO y guía de trabajos finales.	
14	30/04/23	Martes	Modelo CC Horario + Práctico	?VC	
15	02/05/24	Jueves	Modelo de Demanda + Práctico	?EC	

Reservas de corto plazo

- Reserva Operativa. (2.1% de la Demanda; < 10 minutos).
- Reserva 10 minutos. (2.1% de la Demanda; 10 a 20 minutos).
- Reserva Fría. (3% de la Demanda; 20 minutos).

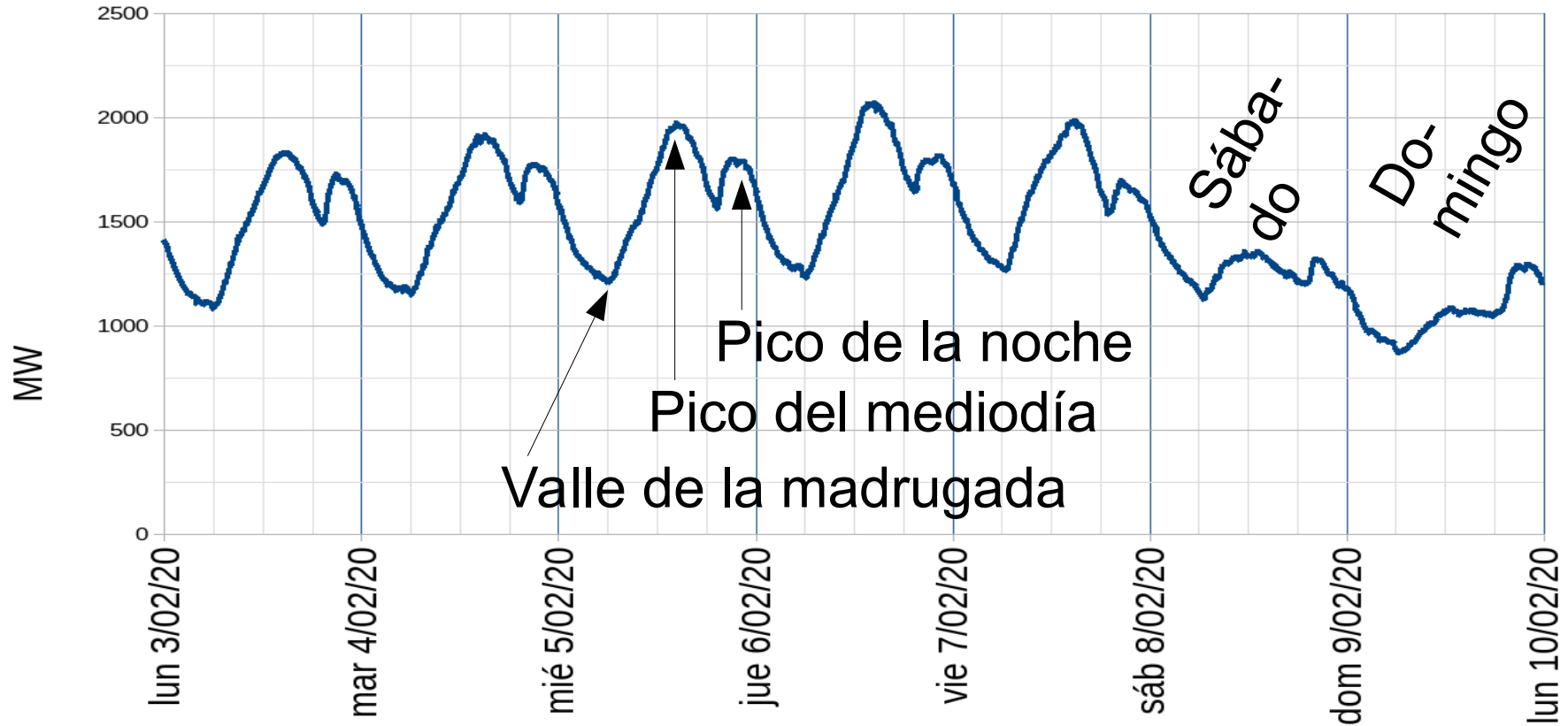
- Seguimiento de la Demanda Horaria.



¿Por qué y para qué?

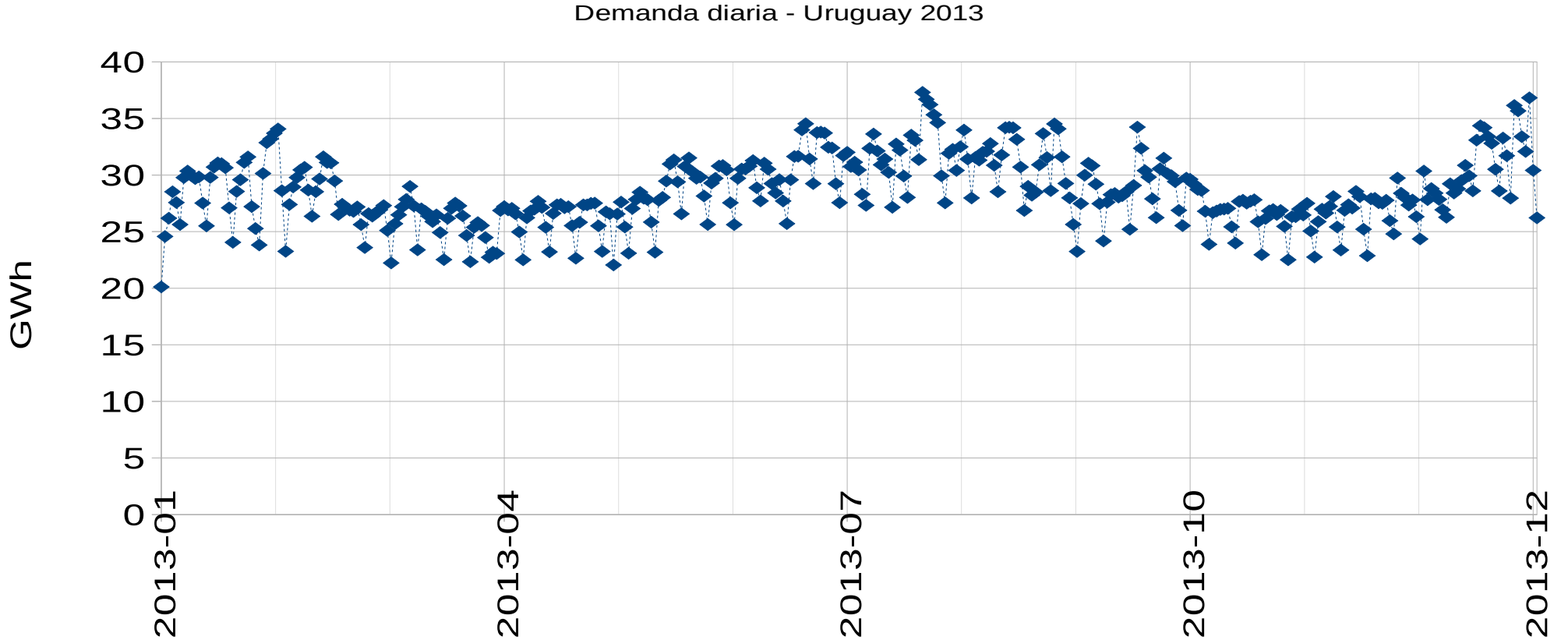


▣ **Demanda - Potencia y Energía.**



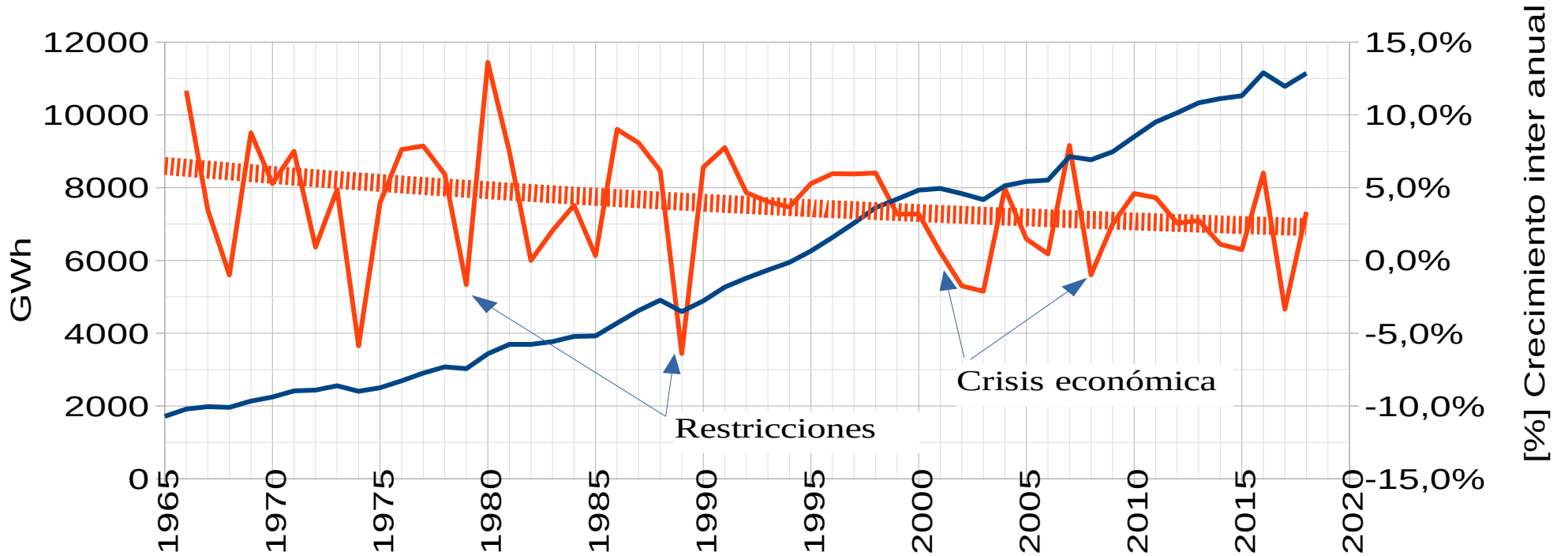
Serie diezminutal. Fuente ADME.

Estacionalidad de la demanda.



Evolución de largo plazo.

Demanda de energía eléctrica de Uruguay a nivel de generación.





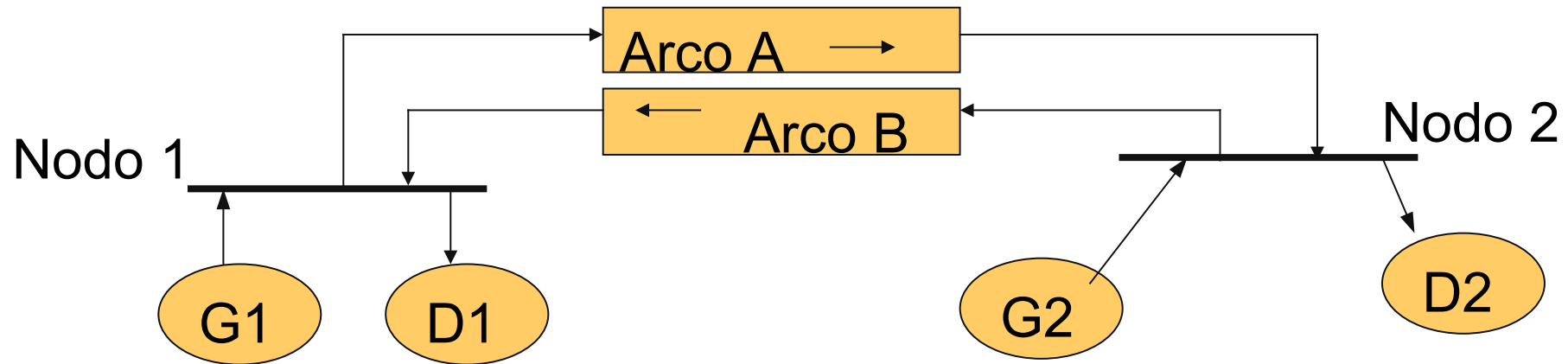
- Racionamiento
- Falla
- Déficit
- Demanda insatisfecha
- Costo de Falla

Escalones de Falla

- Se suele agregar más de una MÁQUINA DE FALLA, asignándoles diferentes costos variables de operación.
- En SimSEE, para cada Demanda se deben definir los escalones de falla especificando su profundidad y costo.

	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

Sistema de transporte



Los Recursos

Costos Variable = CV [USD/MWh]

Costos Fijos = PP [USD/MWh]

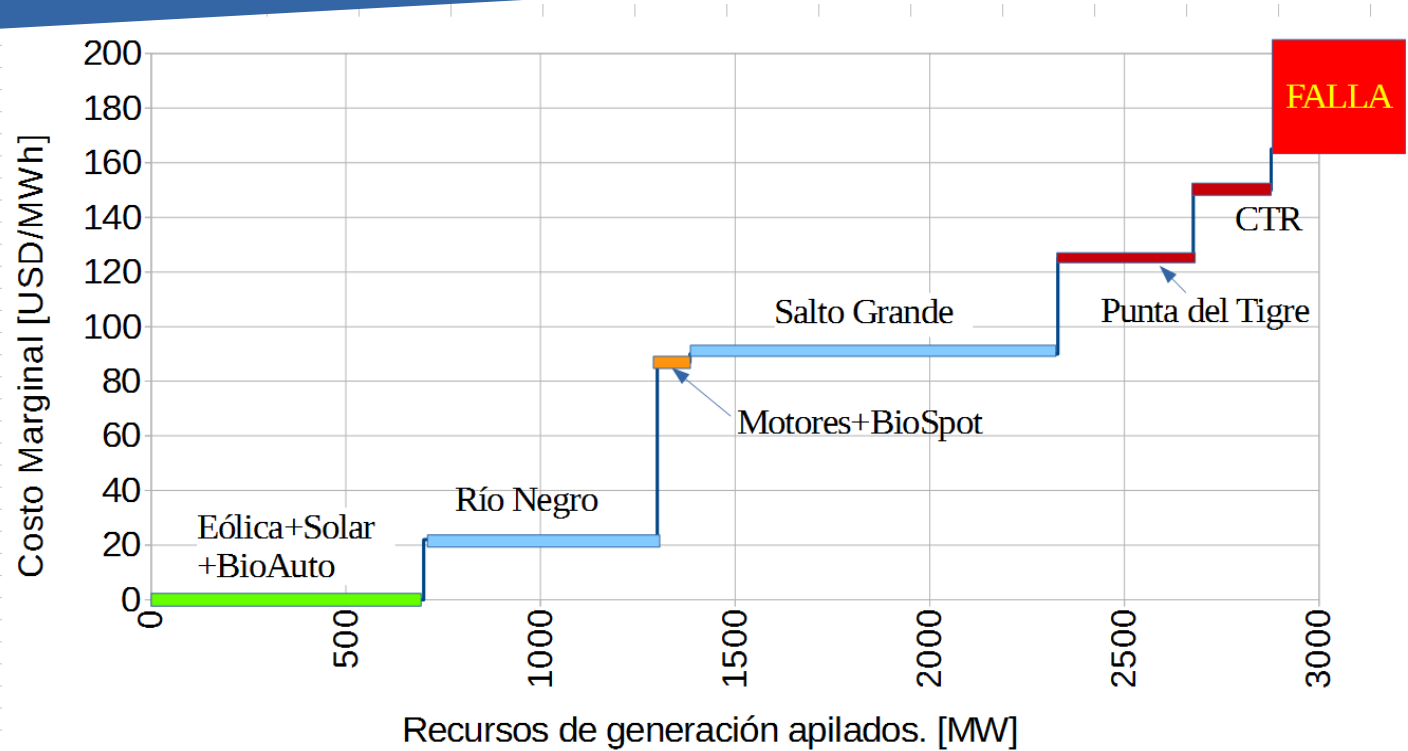
	PP [USD/MWh]	CV [USD/MWh]
eólica	65	0
solar	85	0
Turbina Ciclo Abierto (GO)	15	120
Ciclo Combinado (GO)	25	90
@wti = 50 USD/bbl		

Biomasa (Autodespachada | Spot)

Hidroeléctricas

Despacho Óptimo

Primer Principio: "Sólo Costos Variables"



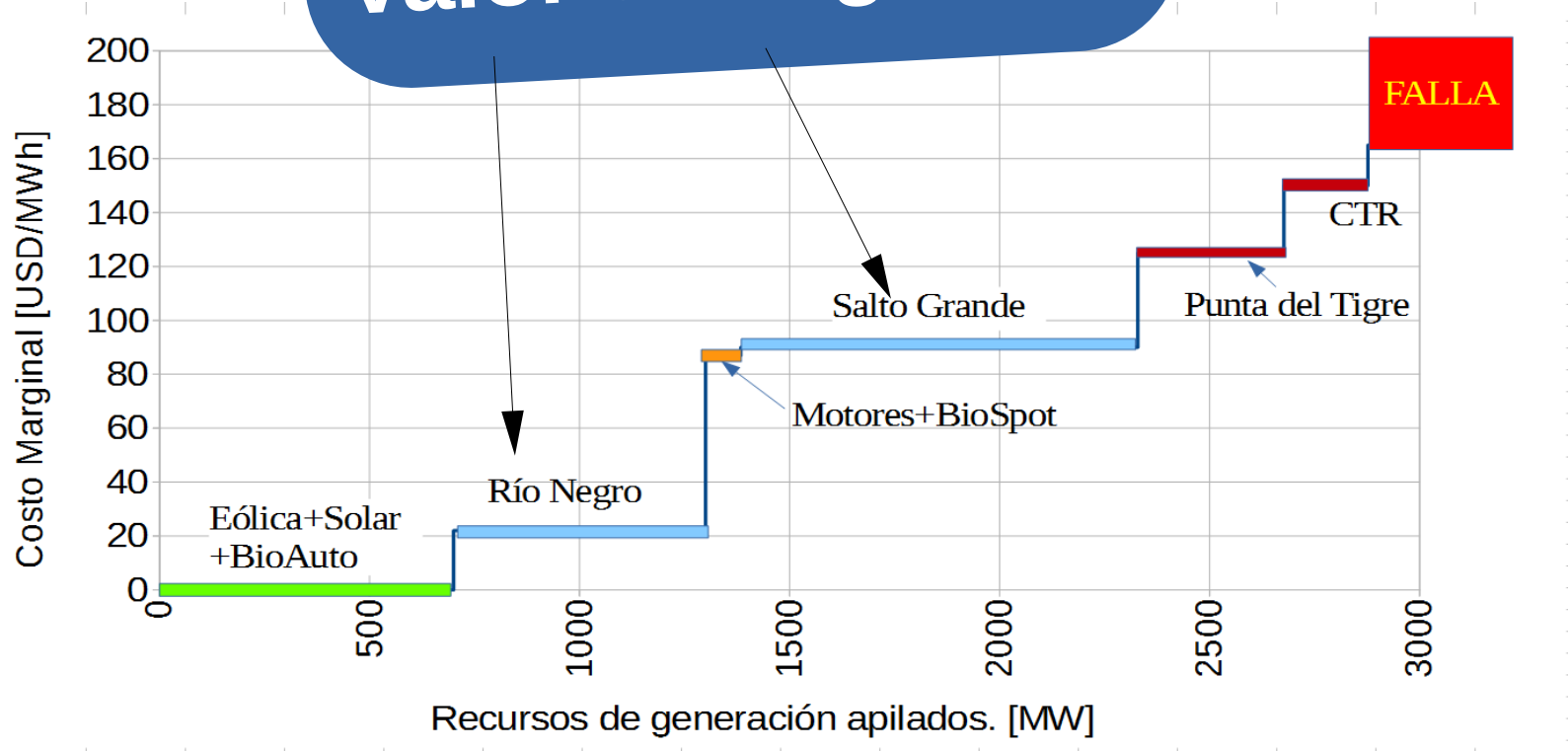
Despacho Óptimo

Segundo Principio:

“Los contratos son de papel”



Valor del Agua



Valor de un recurso almacenable



Comparación entre costo del presente y costo del futuro.

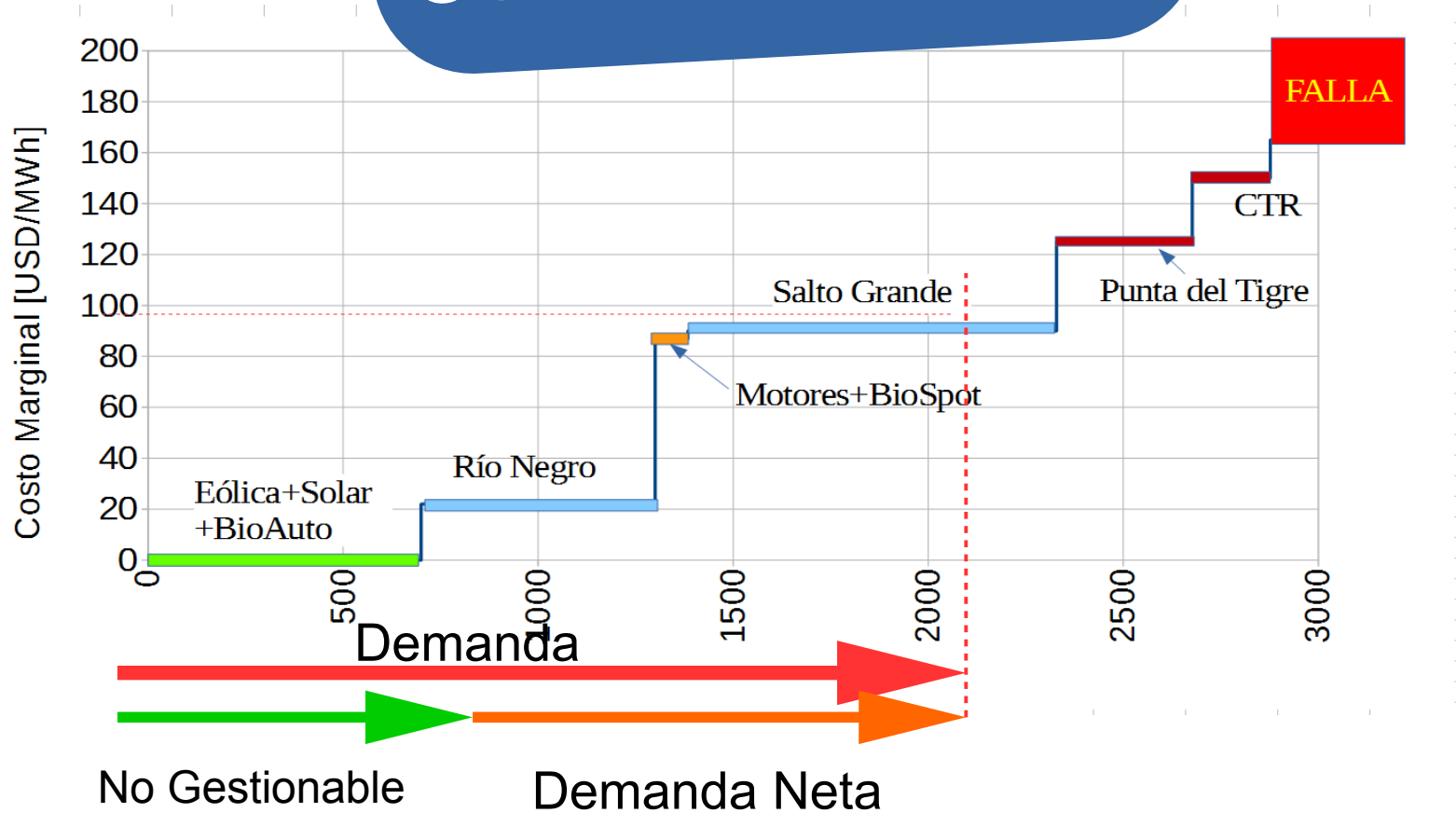
De no haber restricciones para el traslado en el tiempo, el costo marginal sería el mismo en todas las horas del futuro.

INCERTIDUMBRE DEL FUTURO.

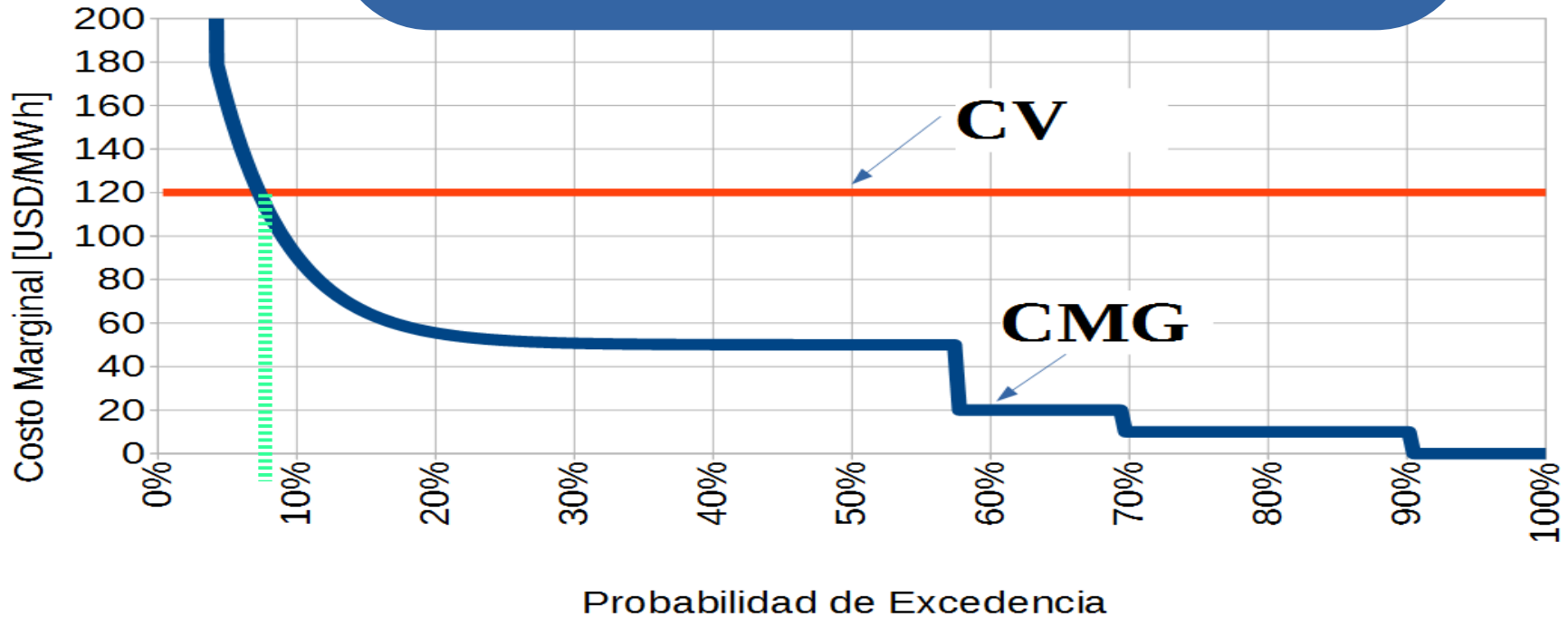
MODELOS ESTOCÁSTICOS

PRONÓSTICOS

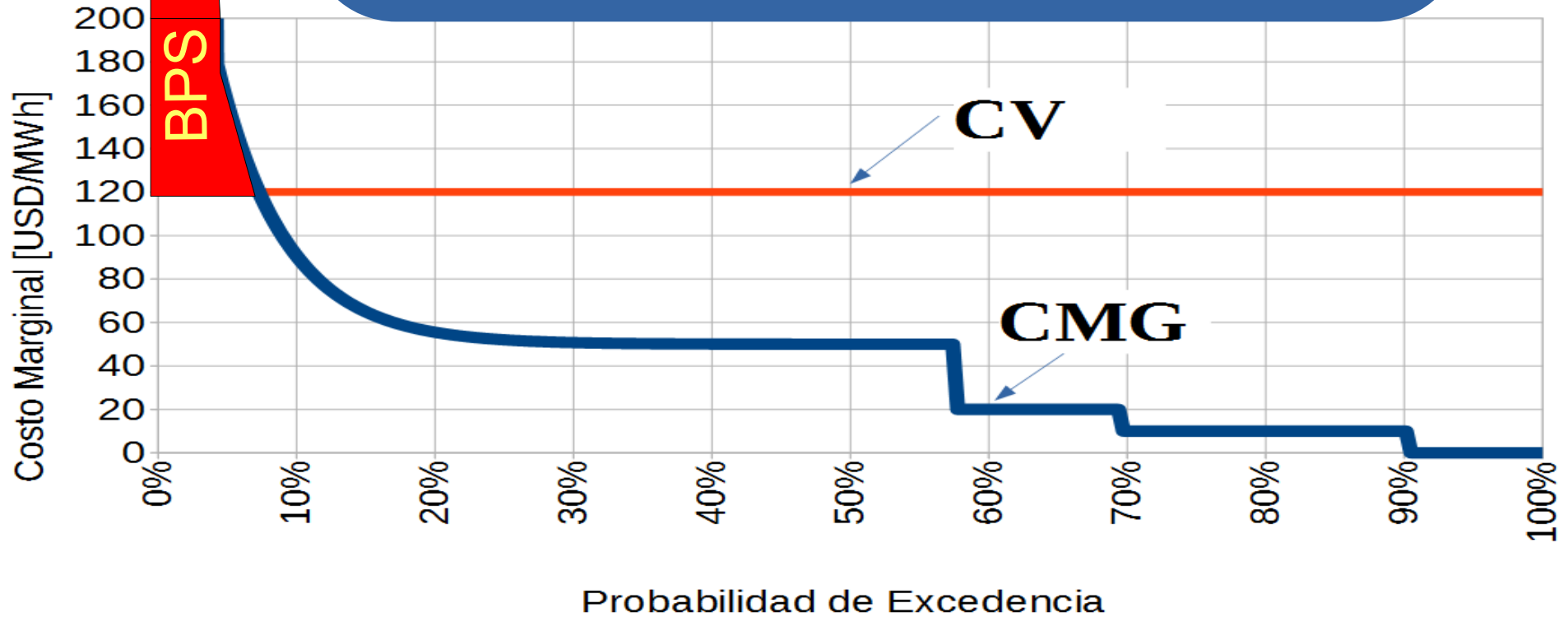
Costo Marginal



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 $GI = 0$.

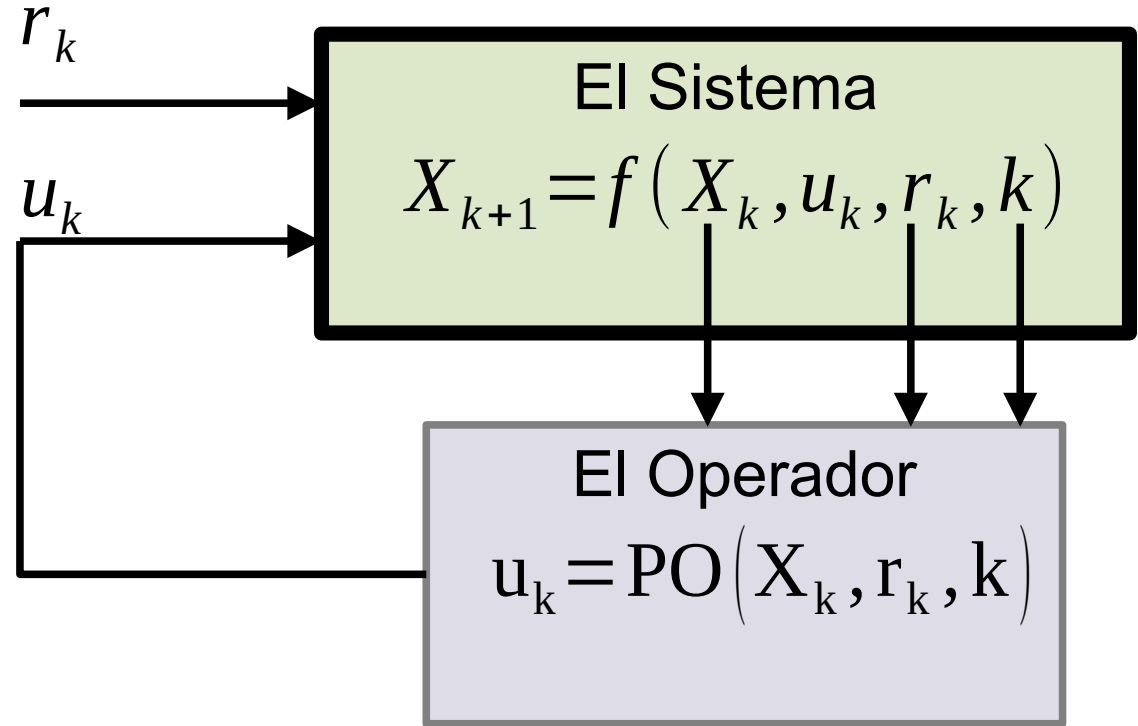
Estado de un Sistema Dinámico

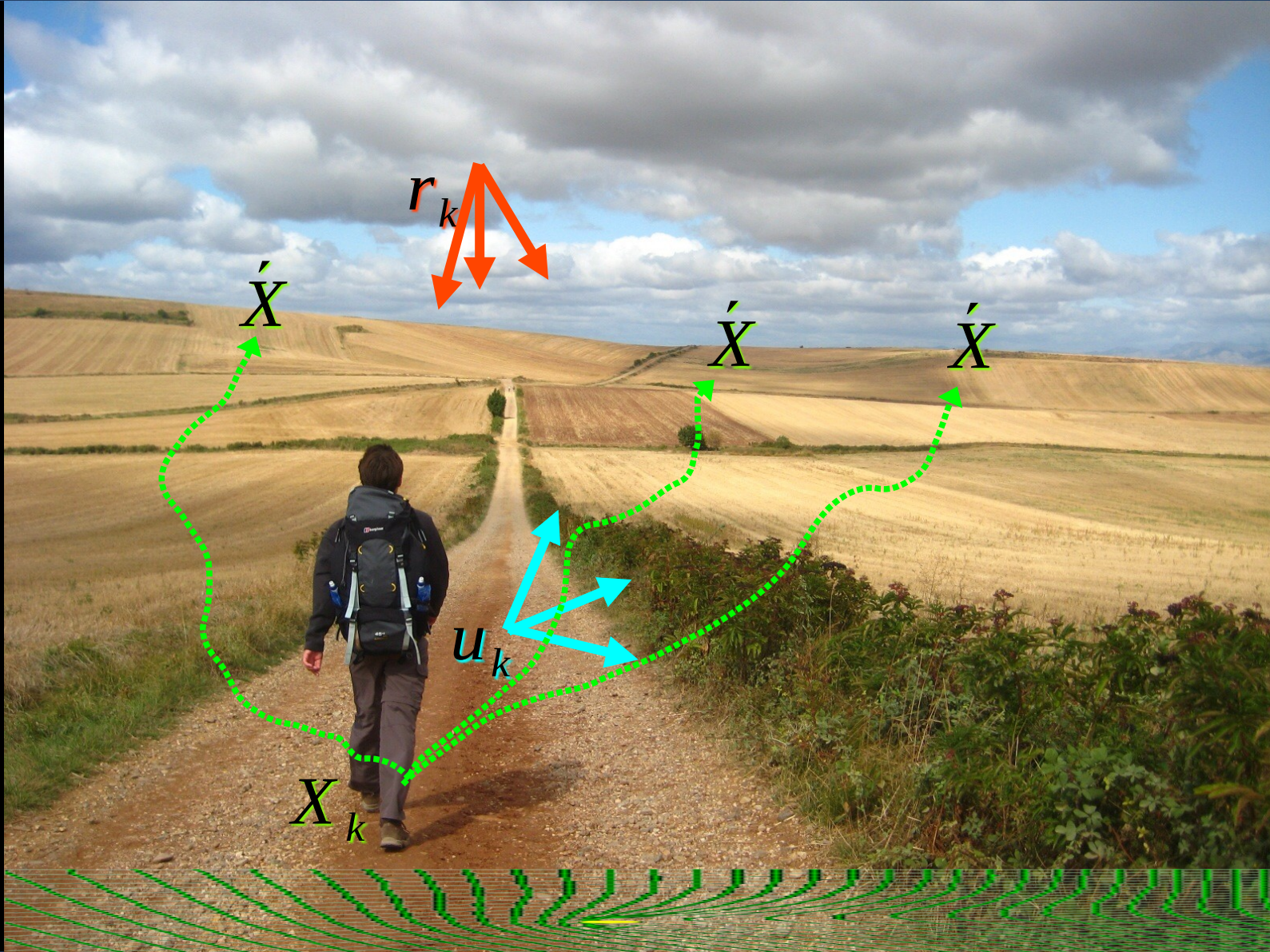
- X = Vector de información que capta todo lo relevante del pasado para calcular el futuro si se conocen las entradas de aquí en mas.

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



El Operador y su Política de Operación





El despacho óptimo es un "problema de programación dinámica estocástica"

El uso de recursos almacenados (agua) hoy reduce los costos operativos del presente pero aumenta los del futuro, y viceversa.

Una política óptima es aquella que reduce el valor esperado del costo operativo futuro del sistema.

$$\text{Min } \langle \text{CF} \rangle$$

En el nivel óptimo, las variaciones causadas por las acciones de control sobre el presente equilibran las causadas sobre el futuro están en equilibrio.



- *Dynamic Programming* 1957

Bellman recursion

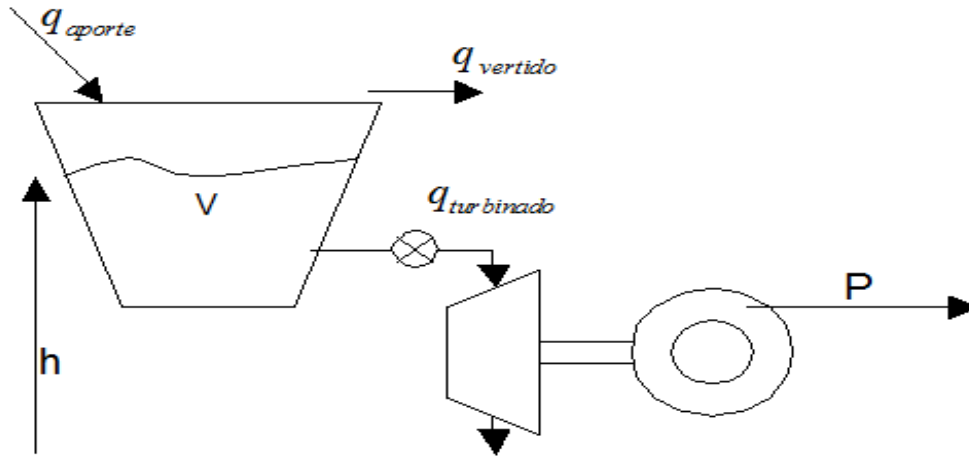
$$CF(X, k) = \left\langle \min_{u_k} \left\{ sc(X, u_k, r_k, k) + \gamma FC(X_{k+1}, k+1) \right\} \right\rangle_{\{r_k, r_{k+1}, \dots\}}$$

Bellman's Curse of Dimensionality



Richard Ernest Bellman (1920–1984)

Ejemplo: Sistema con una variable de estado



$$\frac{\partial}{\partial t} V = q_{aporte} - q_{turbinado} - q_{vertido}$$

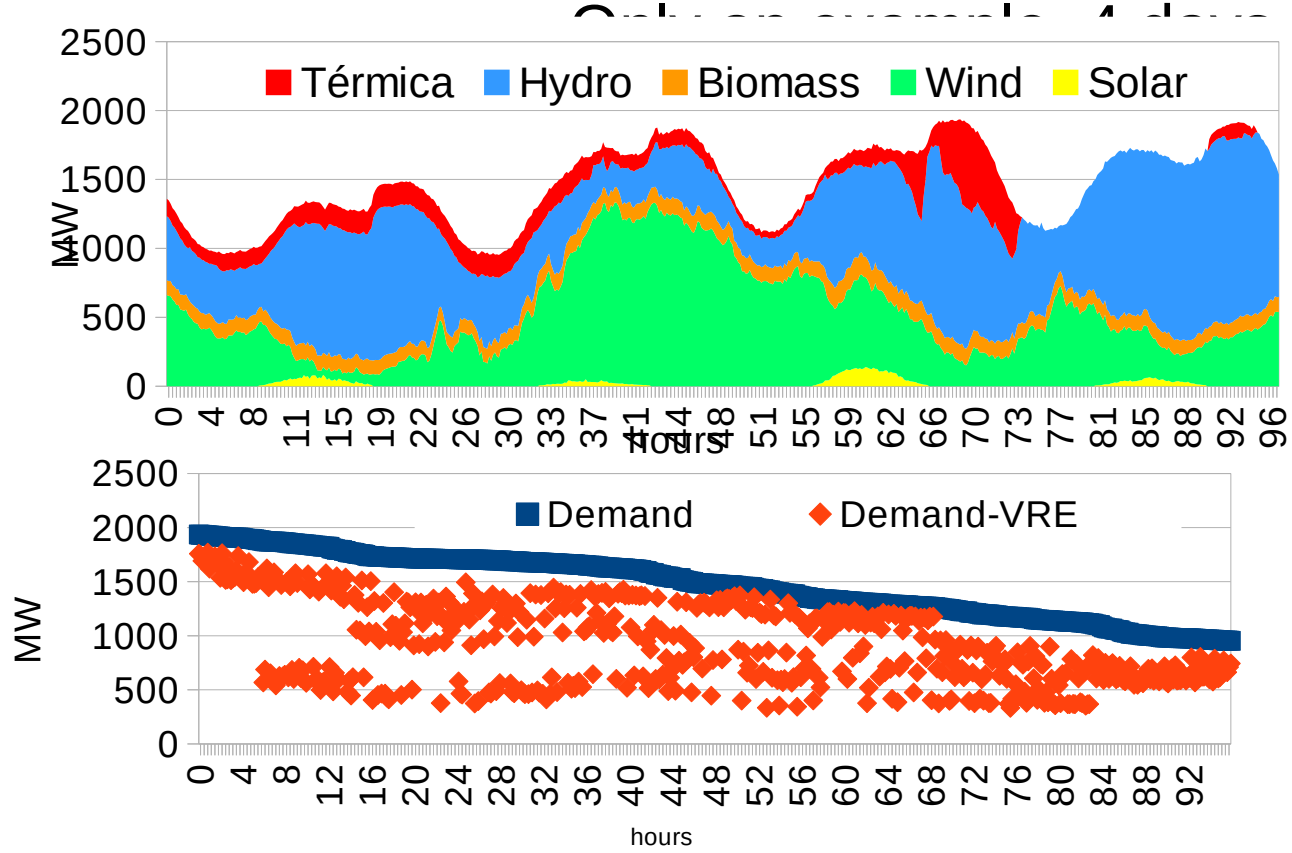
$$\text{sujeto a: } 0 \leq V \leq V_{\text{máx}}$$

$$P = h \cdot \rho \cdot g \cdot \eta \cdot q_{turbinado}$$

Time-Bands (Patamares) defined by the Monotonous Load Curve ...

Makes sense?

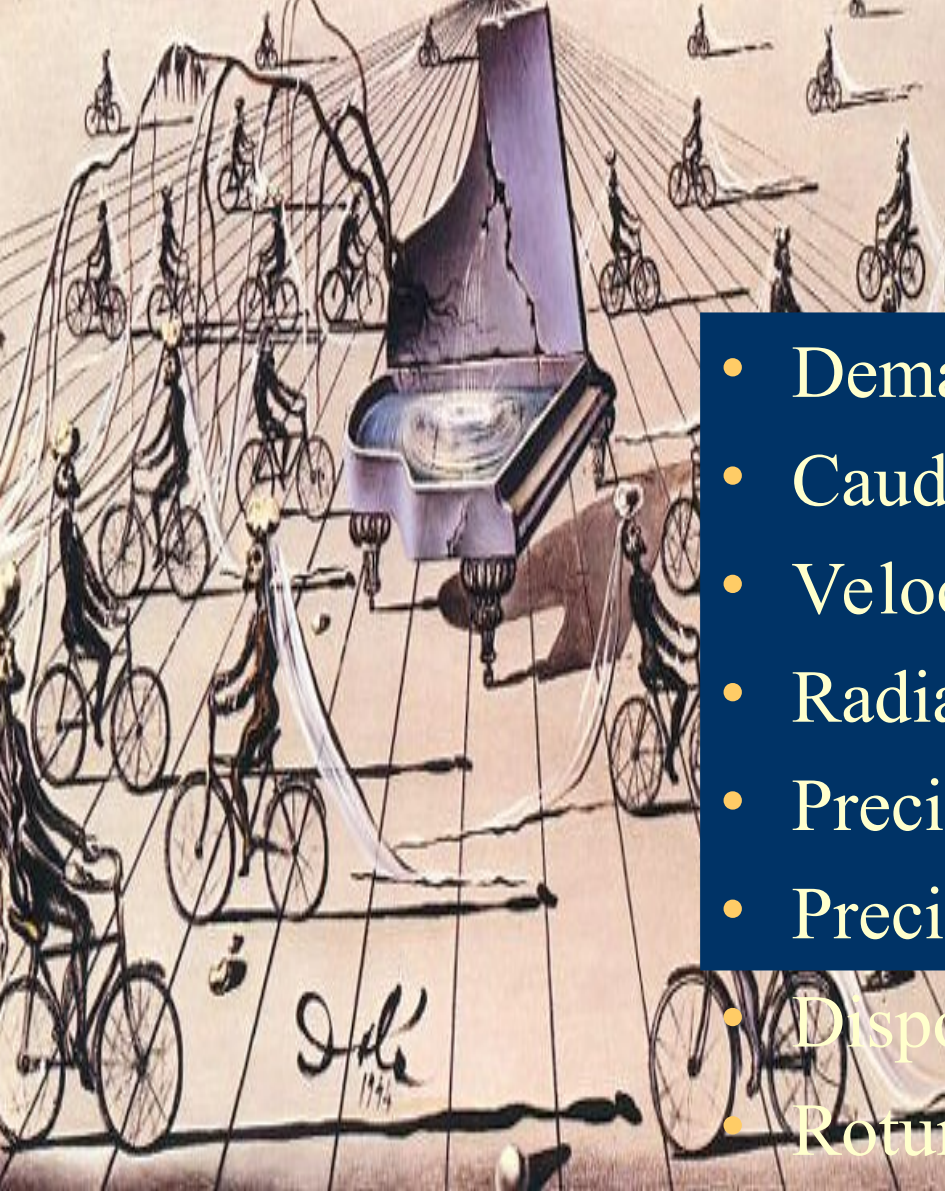
of july-2018-Uruguay



Source: ADME - SCADA ten-minute time series

Representación de la
incertidumbre.





Fuentes de aleatoriedad

- Demanda eléctrica.
- Caudales de aportes hídricos.
- Velocidad del viento.
- Radiación solar.
- Precio de los mercados regionales.
- Precios de los combustibles.
- Disponibilidad de combustibles.
- Roturas fortuitas.

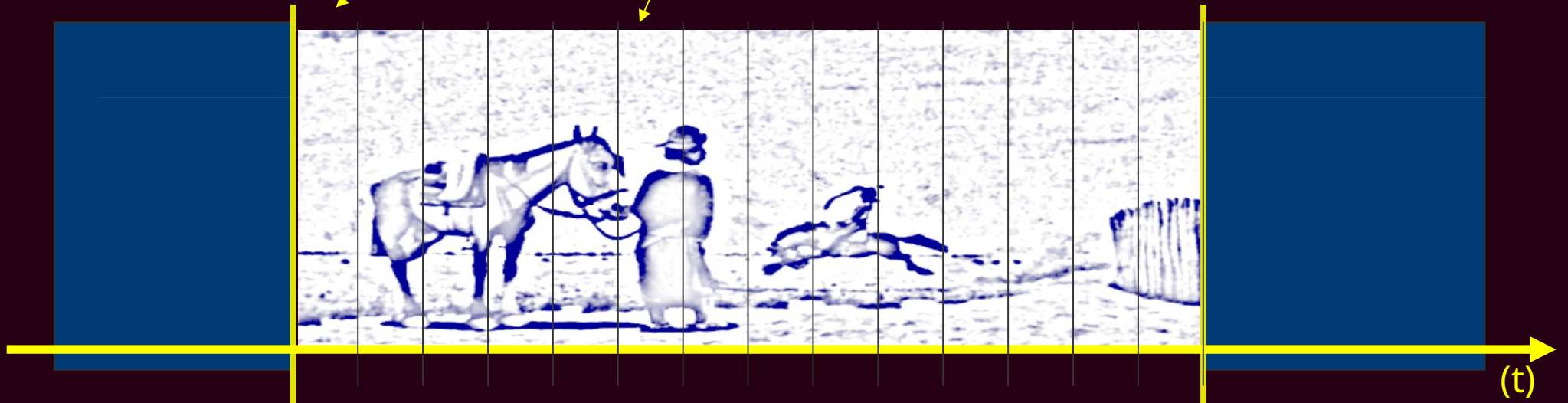
Horizonte de y Paso de tiempo

$t_{inicial}$

t_{final}

Paso 1

Paso k



Horizonte

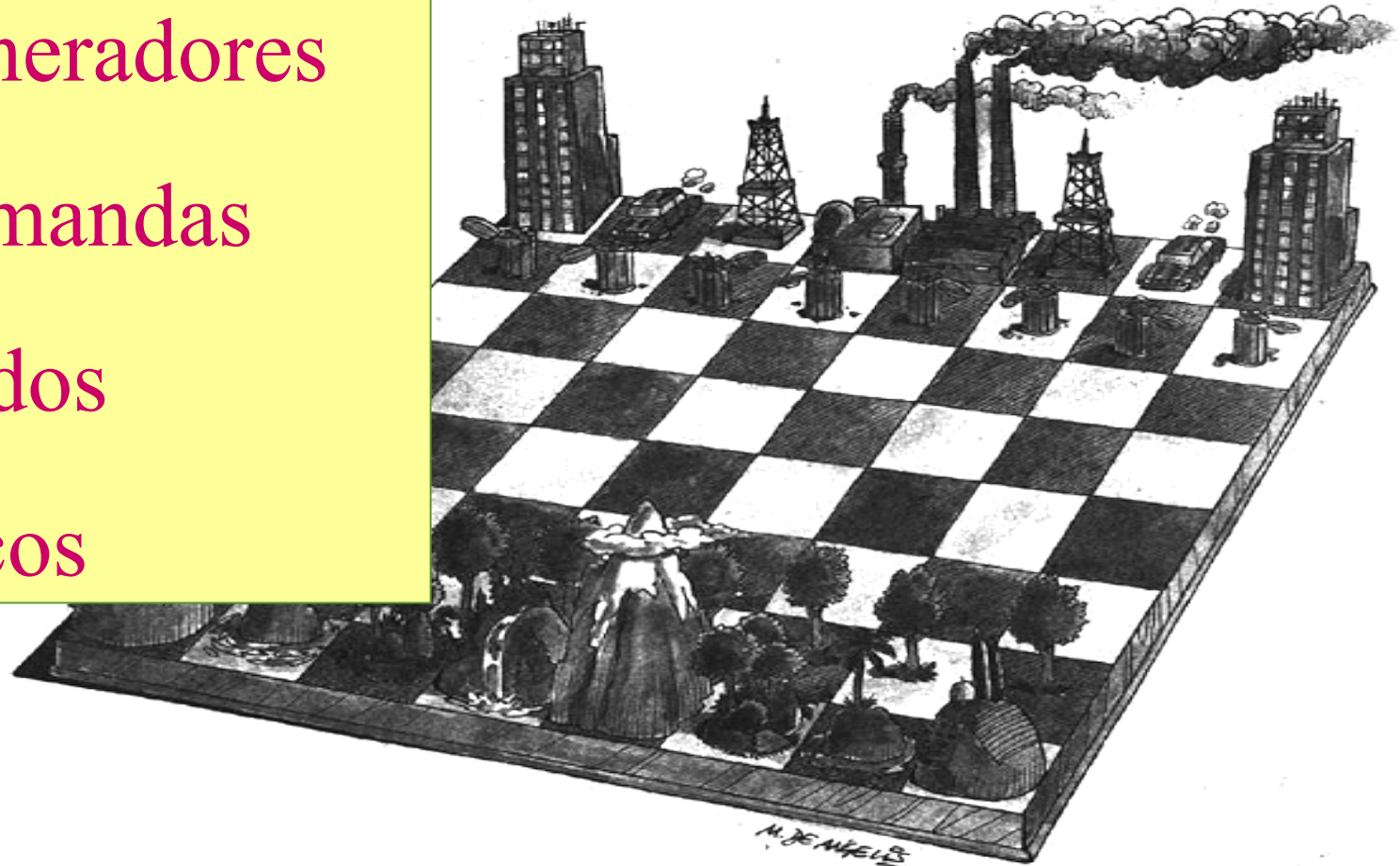
Object Oriented Modeling.

Modelado Orientado por los Objetos.

- Trauma de las correcciones.
- Es imposible no equivocarse, pero...



- Generadores
- Demandas
- Nodos
- Arcos



Programación por Eventos

(mala traducción??? será SEÑALES, OCURRENCIAS??)

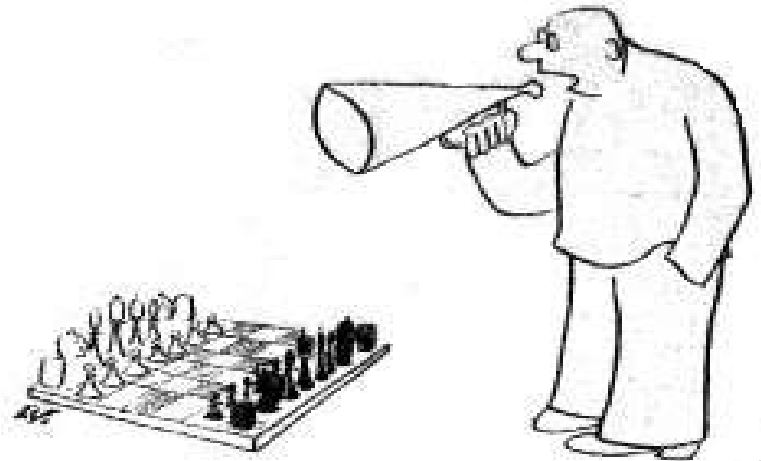
Repetir para cada paso:

<evSorteosDelPaso >

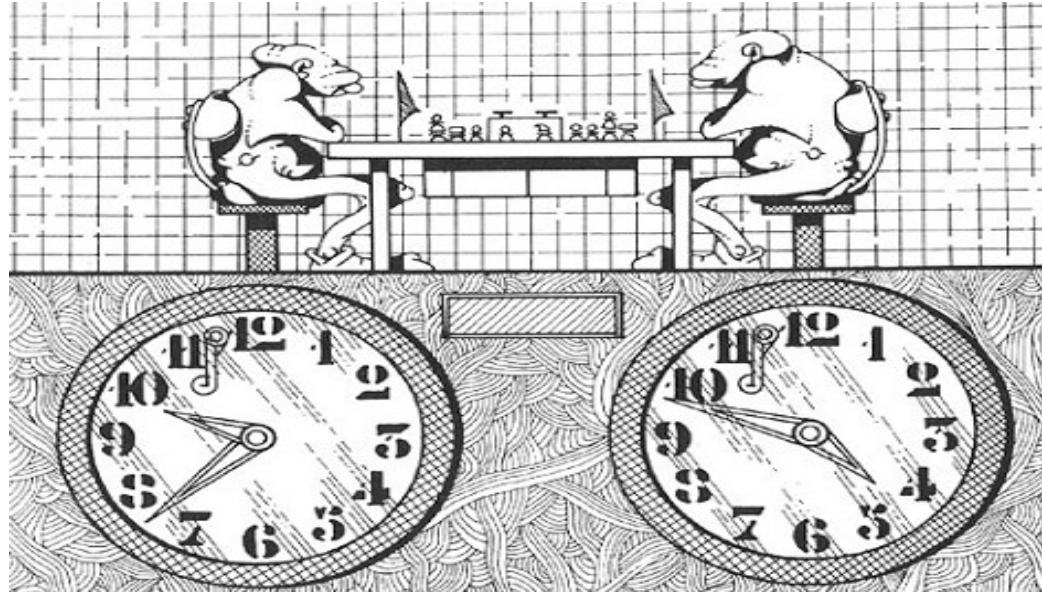
< evCargarProblema >

Resolver el despacho

< evLeerResultados >



Parámetros dinámicos.



Fuentes de valores



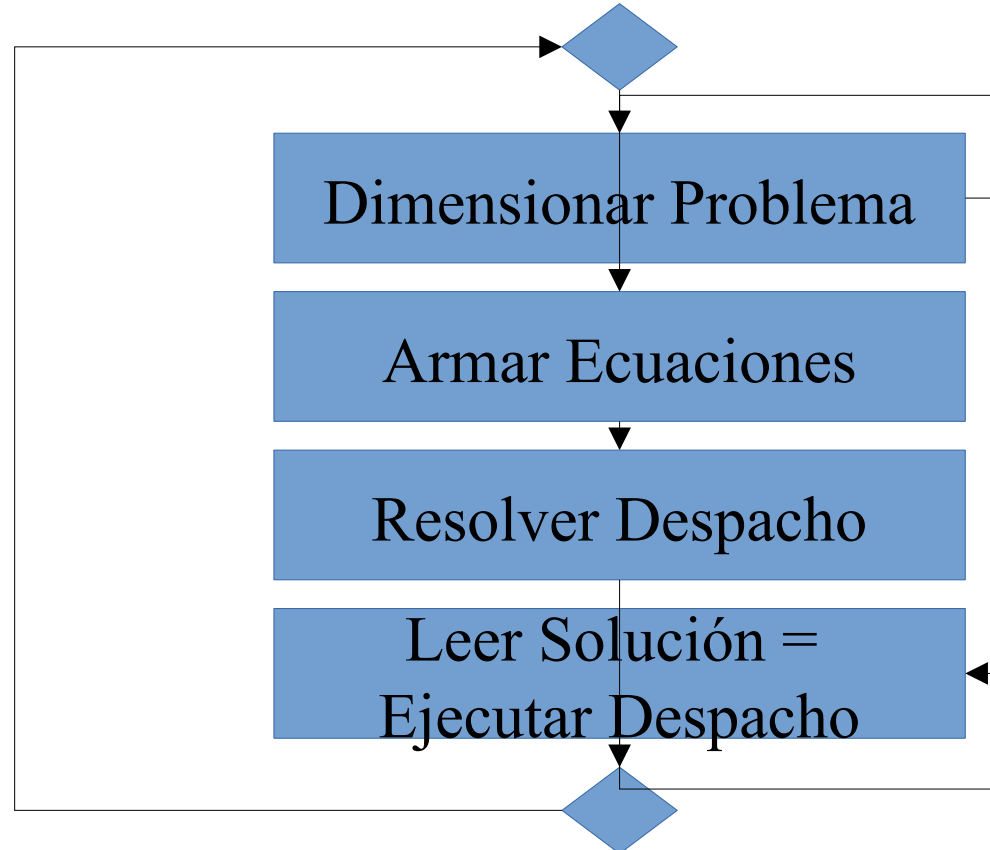
- Constante
- Uniforme
- Gaussiana
- Weibull
- Combinación
- Producto



• CEGH

Implementación de SimSEE

En cada paso de tiempo hay que:



Implementación COLABORATIVA de los Actores para cargar un TSimplex.



Dimensionado



Consulta a todos los actores.
Variables de control “u”, Cantidad de restricciones
(y cantidad de variables enteras).

Recorrida de carga del MIP Simplex



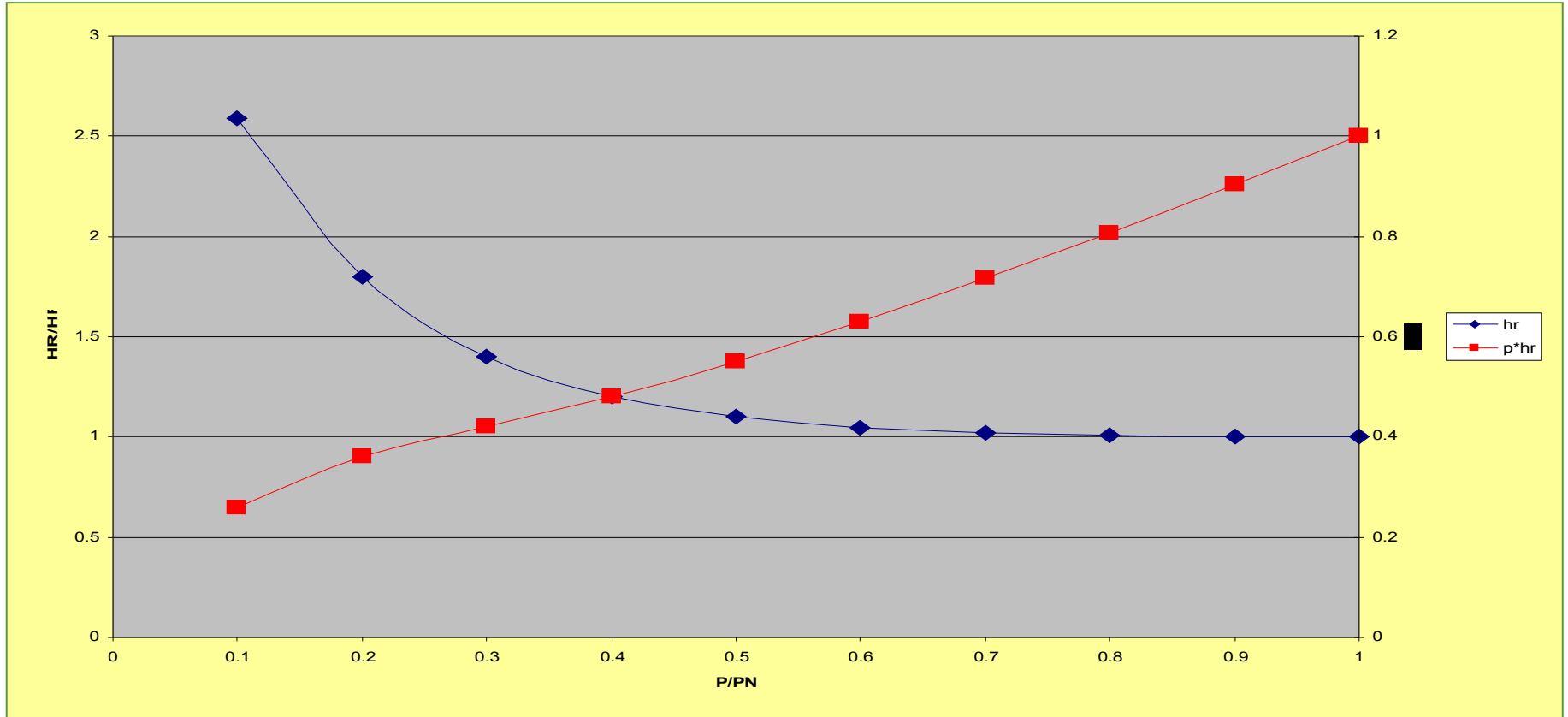
		Variables de control					
		u1	u2	...	unv	1	
Restricciones	R1	▶ a11	▶ a12	...	▶ a1nv	▶ b1	≥ 0
	R2	▶ a21	▶ a22	...	▶ a2nv	▶ b2	= 0

	RM	▶ am1	▶ am2	...	▶ amnv	▶ bm	≥ 0
	-fc	▶ -c1	▶ -c2	...	▶ -cnv		

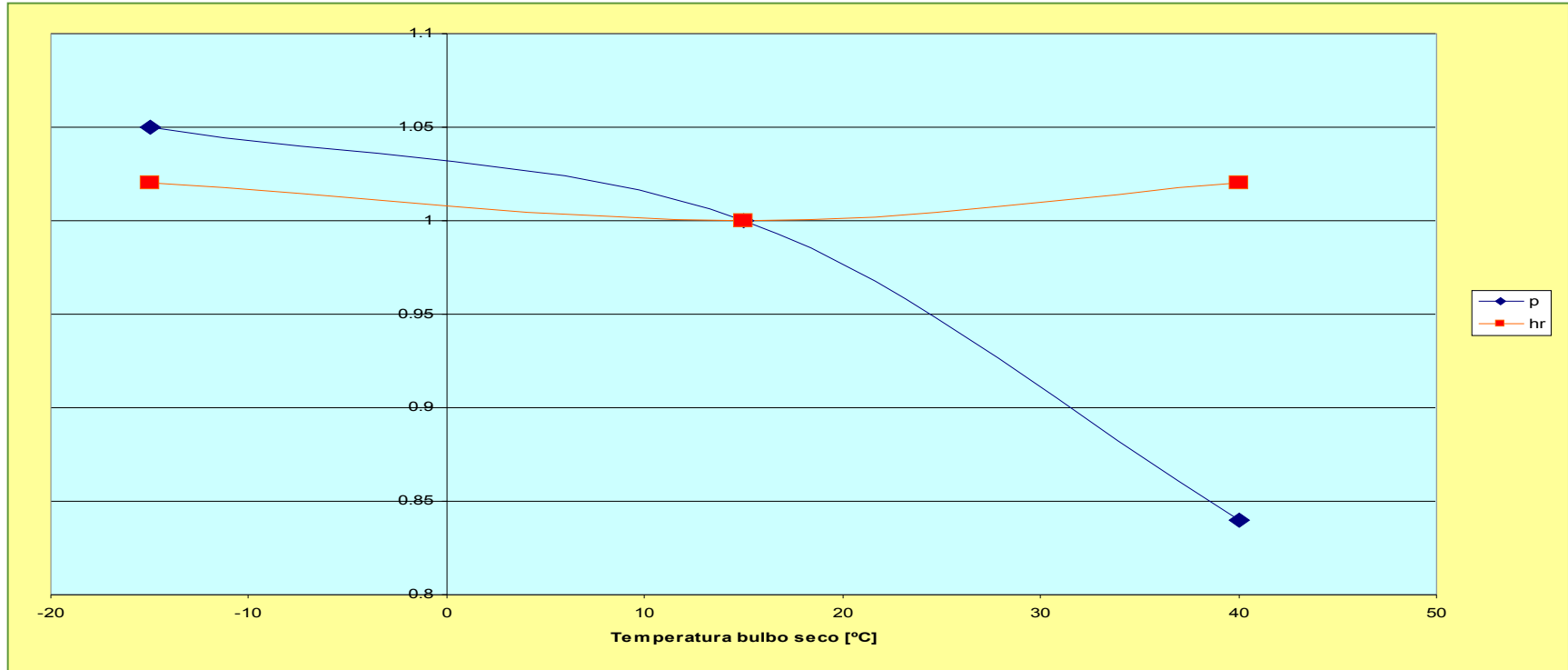
Resolución del problema de despacho de la etapa

```
spx.resolver;
```

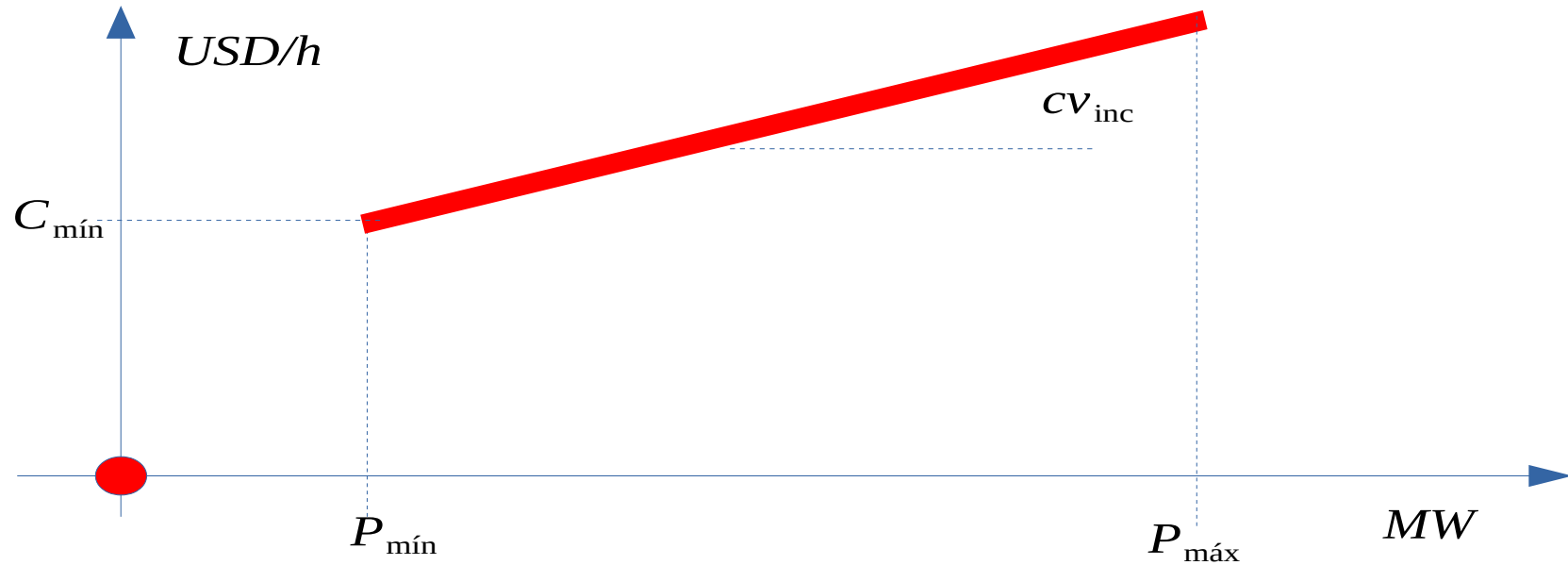
TG Carga parcial



TG Temp ambiente



Modelo de máquina con mínimo técnico.



Modelo de máquina con mínimo técnico. ON/OFF por paso

Variables de control

$$A = \begin{cases} 1; ON \\ 0; OFF \end{cases}$$

$$B_j = (P_j - P_{mín})$$

$$0 \leq B_j \leq P_{máx} - P_{mín}$$

1+NPOSTES

Cargado de la matriz

$$P_j = B_j + P_{mín} \cdot A$$

Aporte a las restricciones del nodo

$$B_j \leq (P_{máx} - P_{mín}) \cdot A$$

Restricciones adicionales (NPOSTES)

$$c = c_o \cdot A + \sum_j c_v \cdot B_j$$

Aporte a la función de costo

Valor de un recurso almacenable



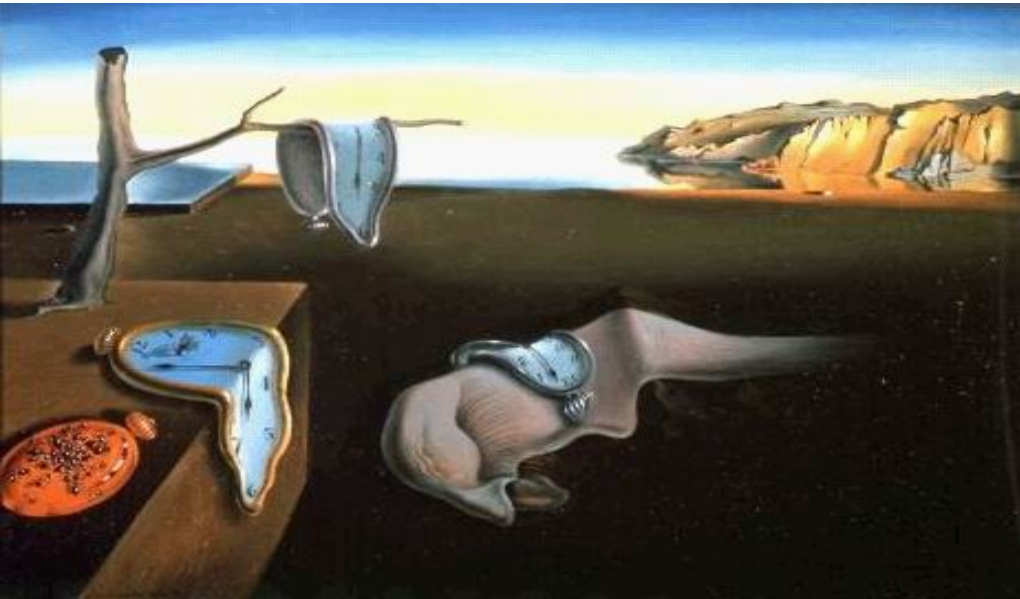
Comparación entre costo del presente y costo del futuro.

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

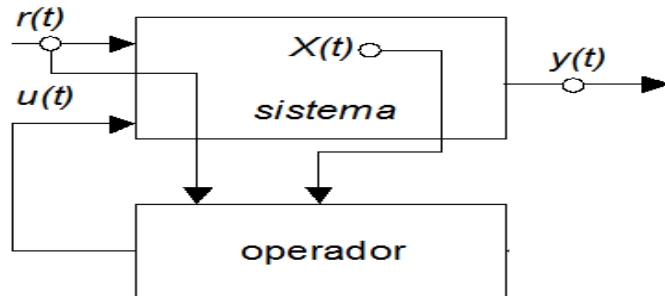
PRONÓSTICOS



Estado y Poste Horario

- Los Postes son un desorden del tiempo.
- Carece de sentido hablar de estado por POSTE HORARIO.
- El Estado será siempre por Paso de Tiempo y nunca por Poste.

Sistema Dinámico, Operador y Política de Operación.



$$ce_k = ce(x_k, u_k, r_k, k)$$

Costo de etapa

$$x_{k+1} = f(x_k, u_k, r_k, k)$$

Restricción dinámica

$$u_k = p(x_k, r_k, k)$$

Política de operación

Valor del STOCK

Si pensamos que cada componente del estado x representa un stock de un recurso (por ejemplo agua embalsada), las derivadas de CF respecto de cada variable pueden interpretarse como menos el valor que le asignamos a una unidad de stock de esa variable.

Generalmente aumentar el stock de un recurso

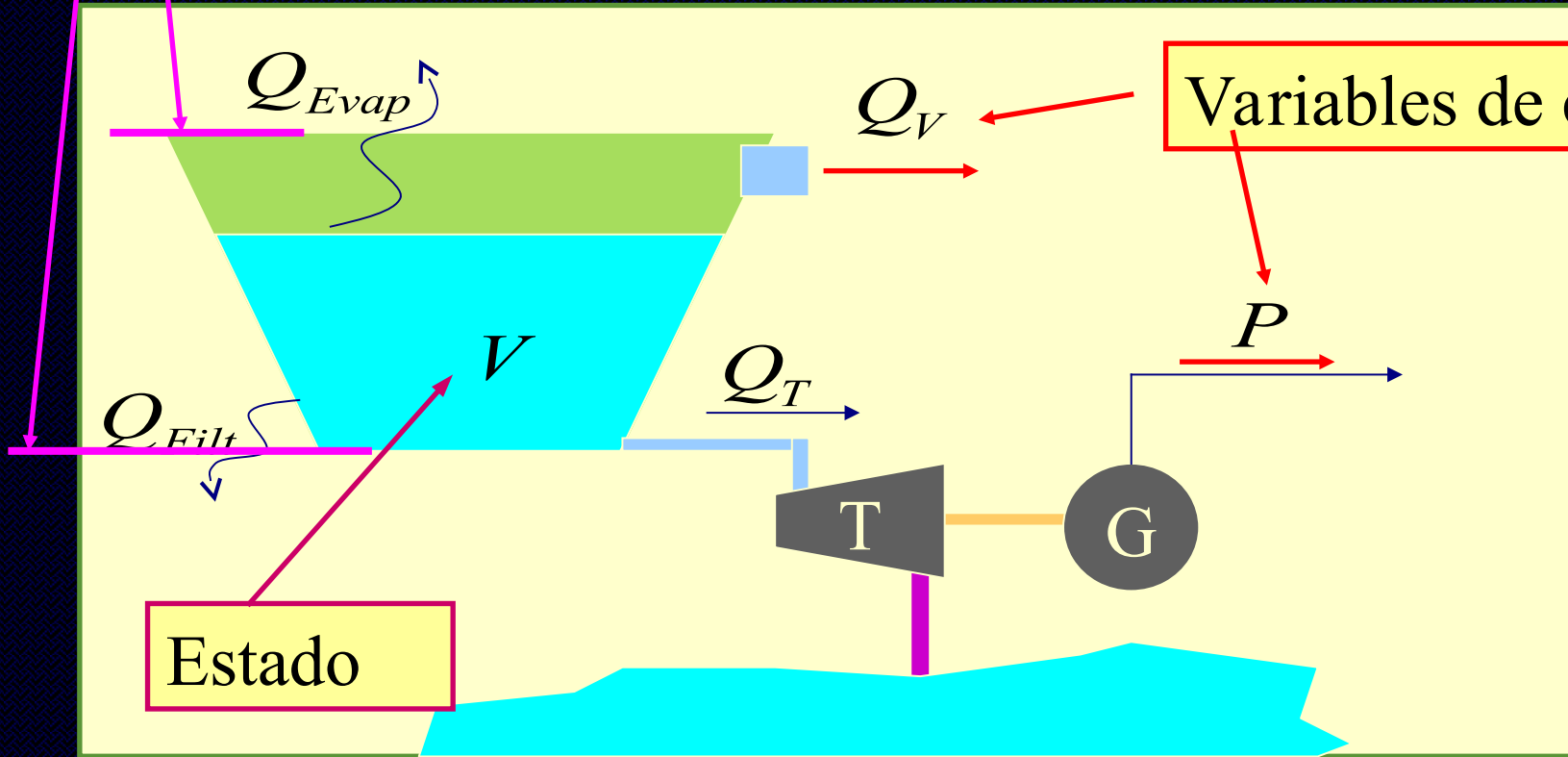
disminuirá el CF por lo que es negativo.
negativas.

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

Central con embalse

Restricciones

Variables de control



Estado

Central con embalse

$$V_{k+1} = V_k + (Q_A - Q_T - Q_V - Q_{Evap} - Q_{Filt})\Delta T$$

$$0 \leq V_{k+1} \leq V_{m\acute{a}x}$$

$$Q_T = P / ce(h)$$

$$Costo = \dots + cva \cdot (Q_A - Q_T - Q_V - Q_{Evap} - Q_{Filt})\Delta T + \dots$$

$$cva = -q \cdot \frac{\partial CCF(x_k, k+1)}{\partial V}$$

$$x_k^T = [x_{1,k}, x_{2,k}, \dots, V_k, \dots]$$

Central con embalse

- Curva cota-volumen.
- Curva de vertimiento admisible.
- Restricción de mínimo caudal erogado.

Optimización Con-Sorteos vs. Sin-Sorteos.

Valor del Agua de Bonete vs. máquinas del Sistema.

