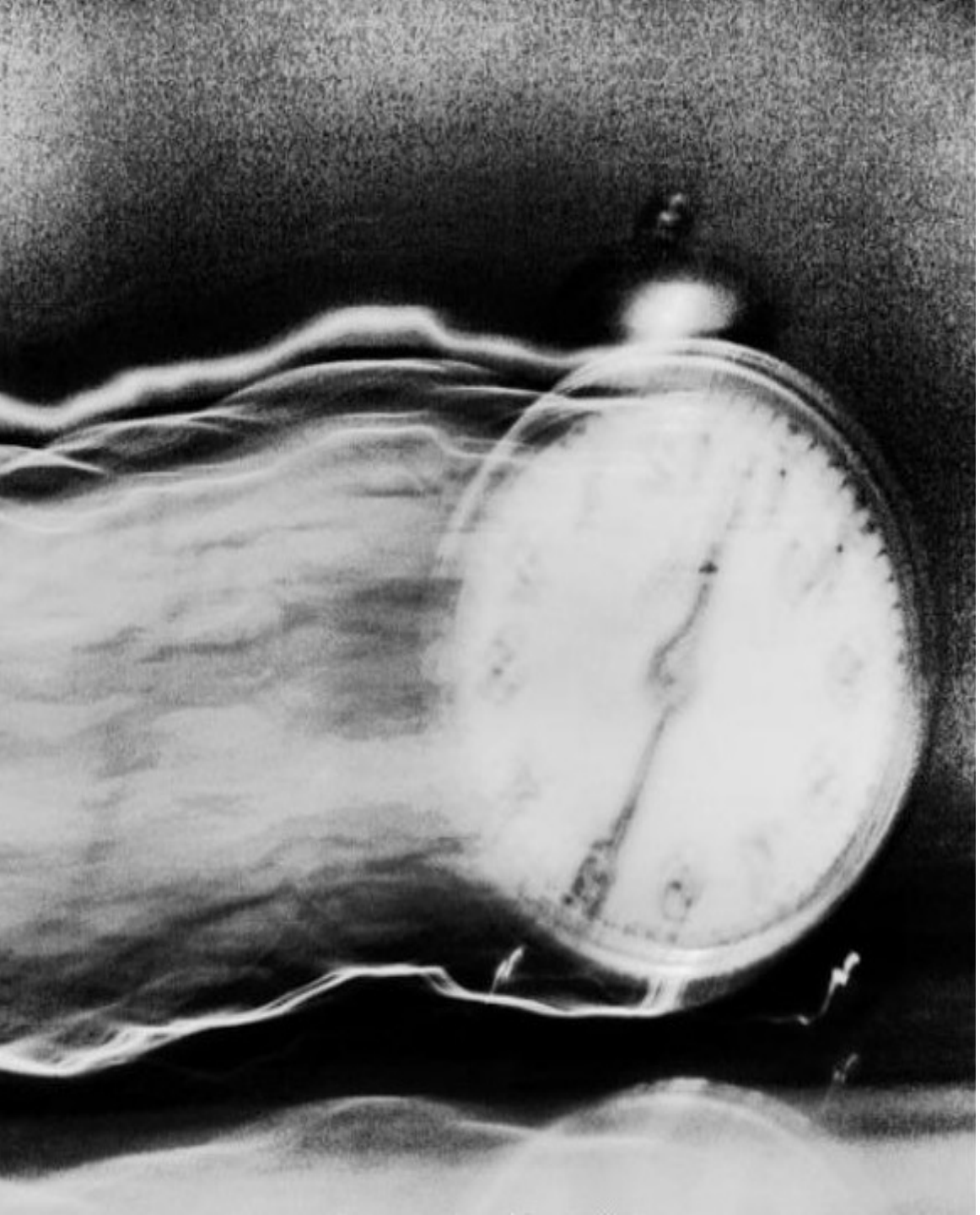


# SimSEE

## Repaso Post-Turismo

Ruben Chaer

Curso SimSEE edición 2025 – Martes 22 de abril.

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA URUGUAY

# Optimización

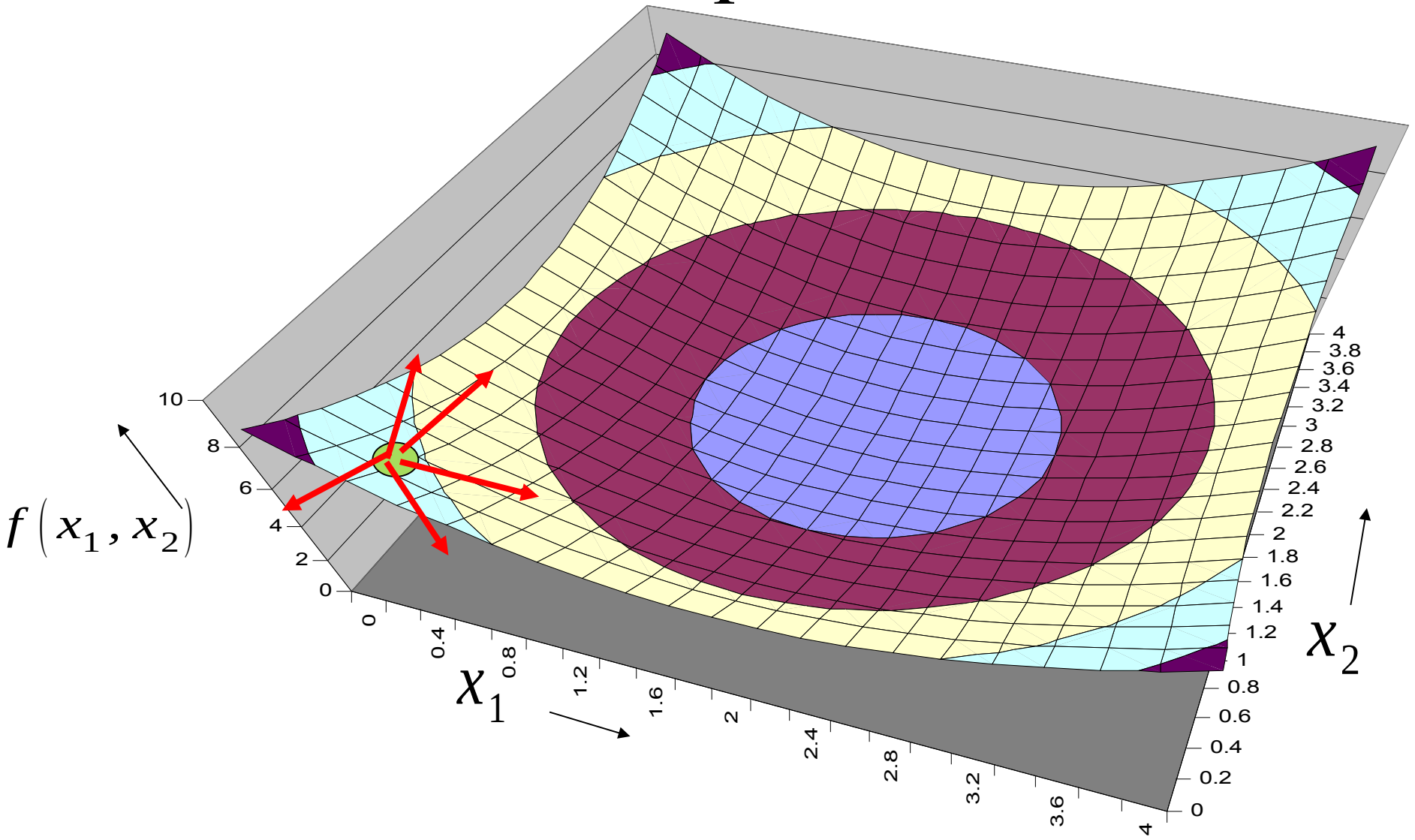
# Planteo del PROBLEMA

$$\min_{x \in D} f(x)$$

$f : D \rightarrow R$ Función de costo

$D \subset R^n$ Dominio

# Búsqueda Local



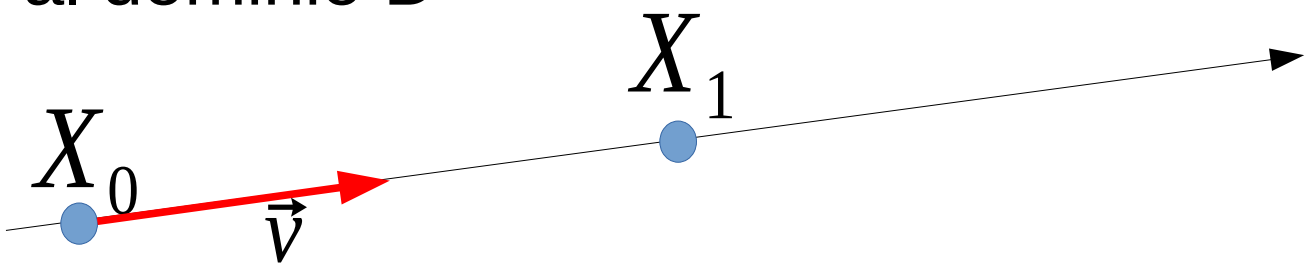
# Búsqueda Local

# Búsqueda Local Lineal

$$X_0 ; f(X_0)$$

Punto inicial interior
al dominio D

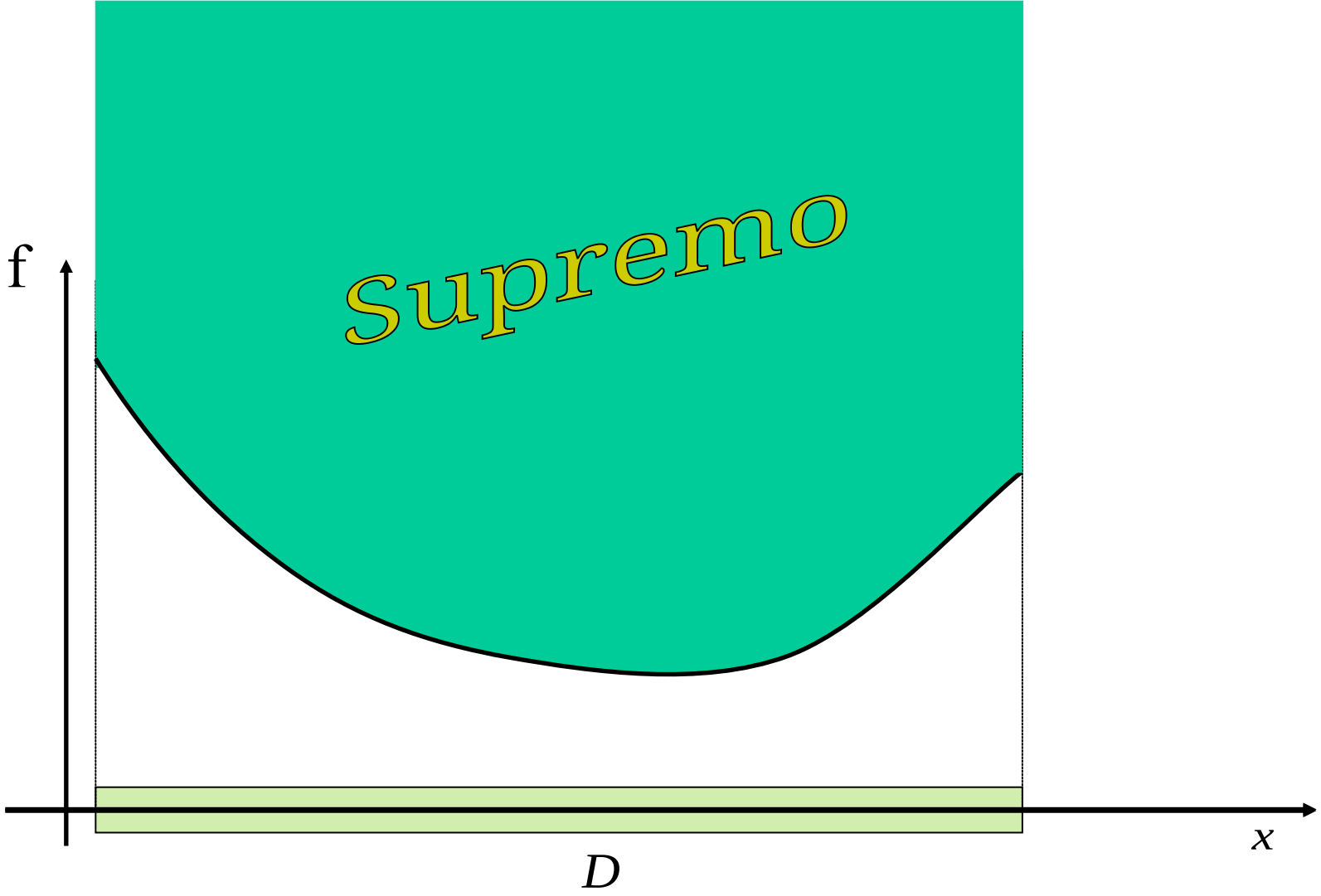
$$X_1 = X_0 + \vec{v} \cdot d$$




$$d \in R \ / \ f(X_1) < f(X_0) \ \ y \ \ X_1 \in D$$

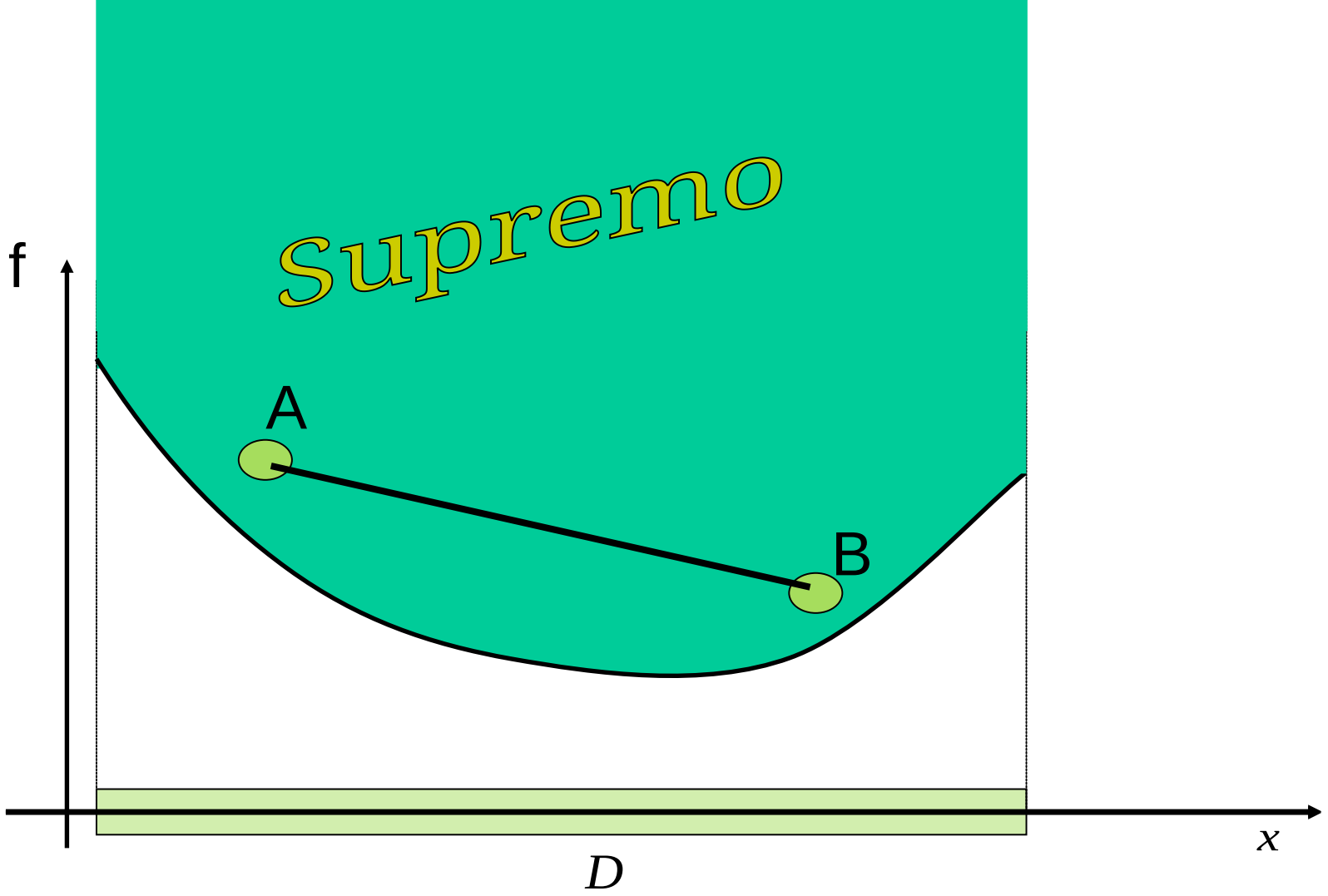
$$\vec{v} = -\frac{\nabla f(X_0)}{\|\nabla f(X_0)\|}$$

Dirección de bajada
en un entorno de $X_0$




$$f_D = \{(z, X) / z \in R; X \in D; z \geq f(X)\}$$

# Problema CONVEXO




El problema es convexo si el SUPREMO de f sobre D es convexo.

Función de costo lineal.

$$f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = a_0 + \sum_{i=1}^{i=N} a_i x_i$$

# Función de costo lineal.
# Derivada direccional.

$$f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = a_0 + \sum_{i=1}^{i=N} a_i x_i$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = a_i$$

# Función de costo lineal. Derivada direccional.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} f(.) = a_i \neq 0$$

# Función de costo lineal

$$f(x) = a^T \cdot x + f_0$$

$$\nabla f(x) = a \neq 0$$

---

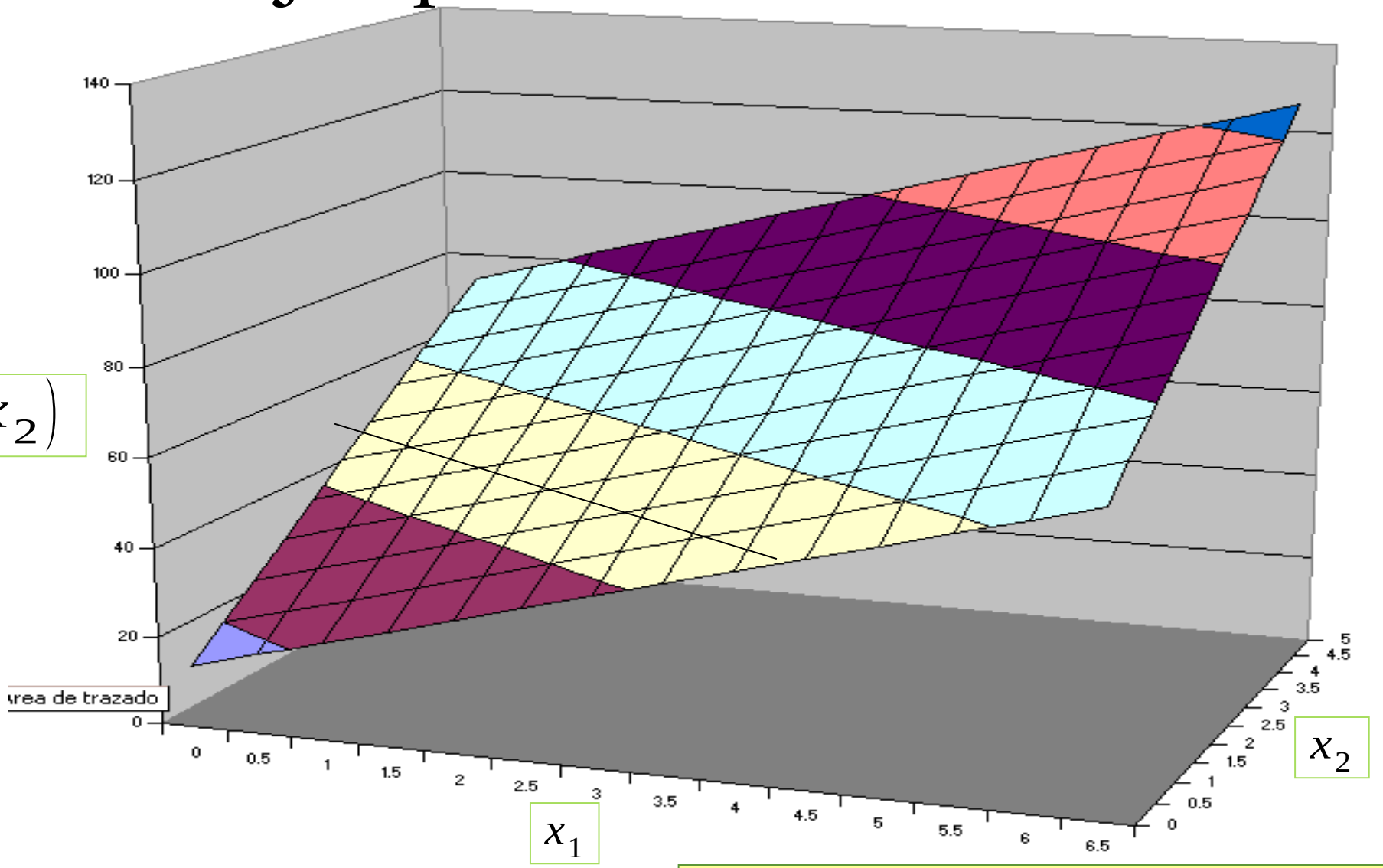
Notación:

$$\nabla f(x) \equiv \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f}{\partial x_2} \\ \dots \\ \dots \\ \frac{\partial f}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad a \equiv \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ \dots \\ a_n \end{bmatrix} \quad x \equiv \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix}$$

$$a^T \cdot x = \sum_{i=1}^{i=n} a_i x_i$$

# Ejemplo Función Lineal

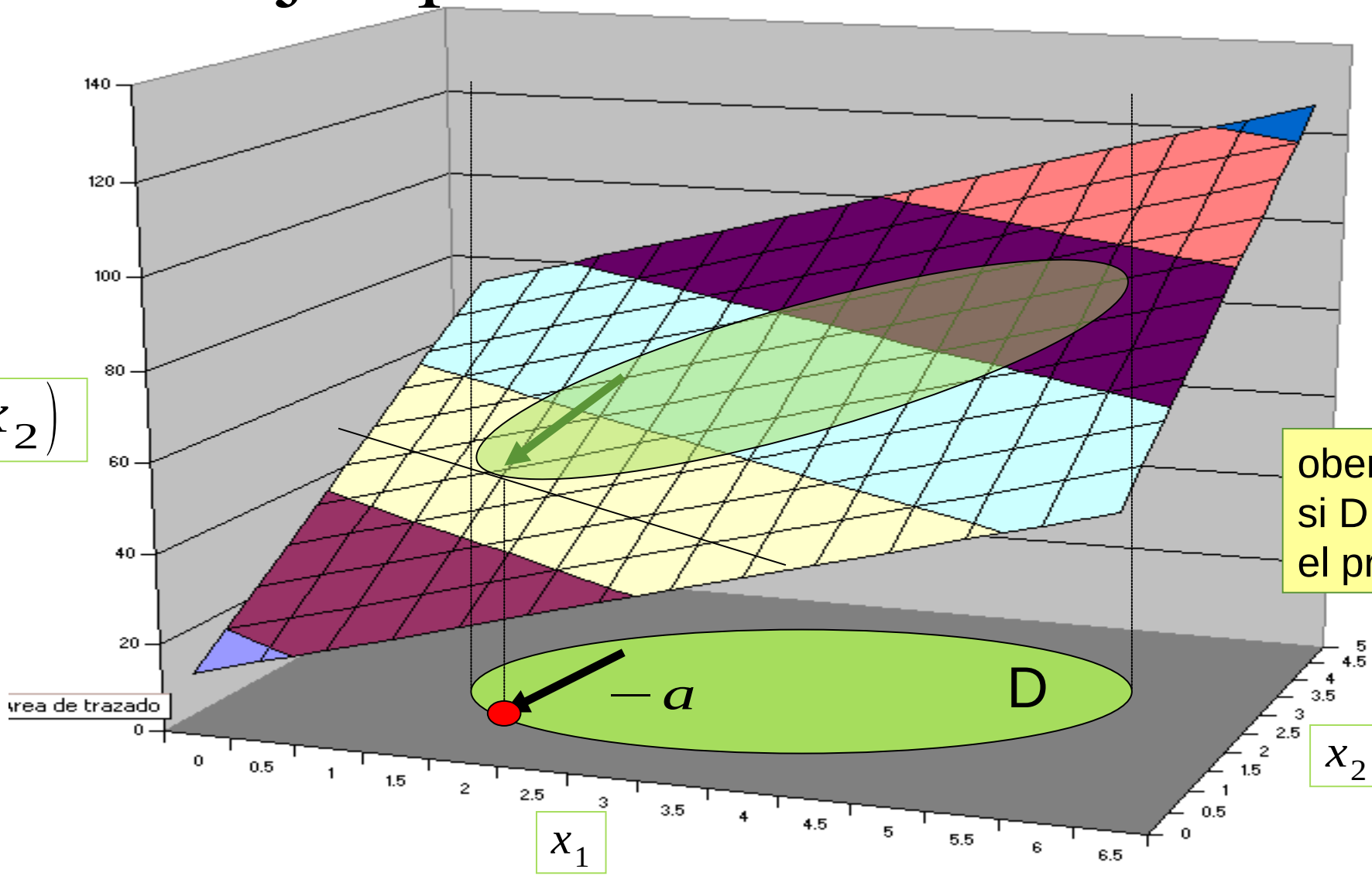
$f(x_1, x_2)$




observar que el Supremo de f en R2 es convexo.

# Ejemplo Función Lineal

$f(x_1, x_2)$

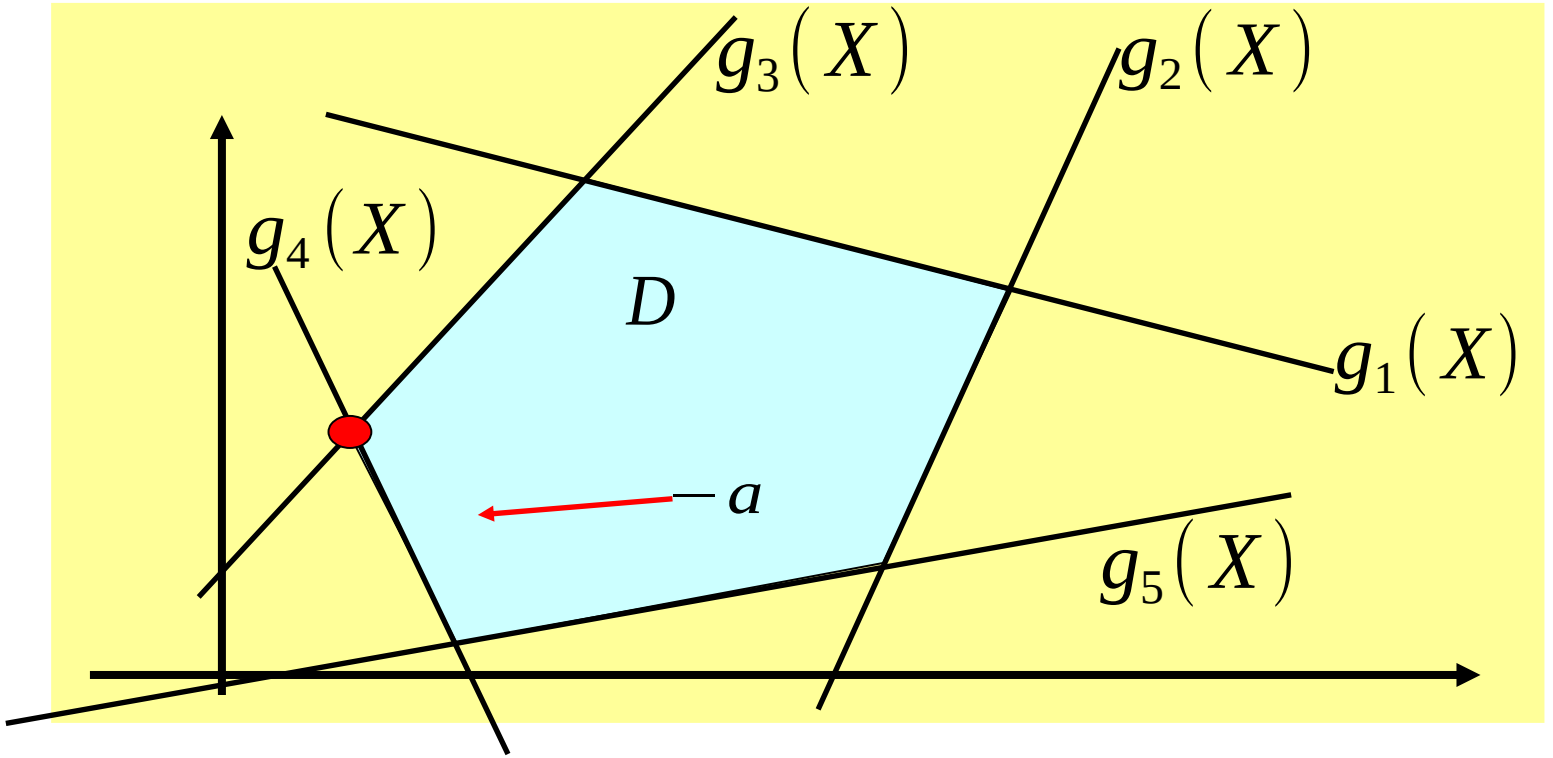



obervar que
si D es convexo
el problema lo es.

# Problema Lineal

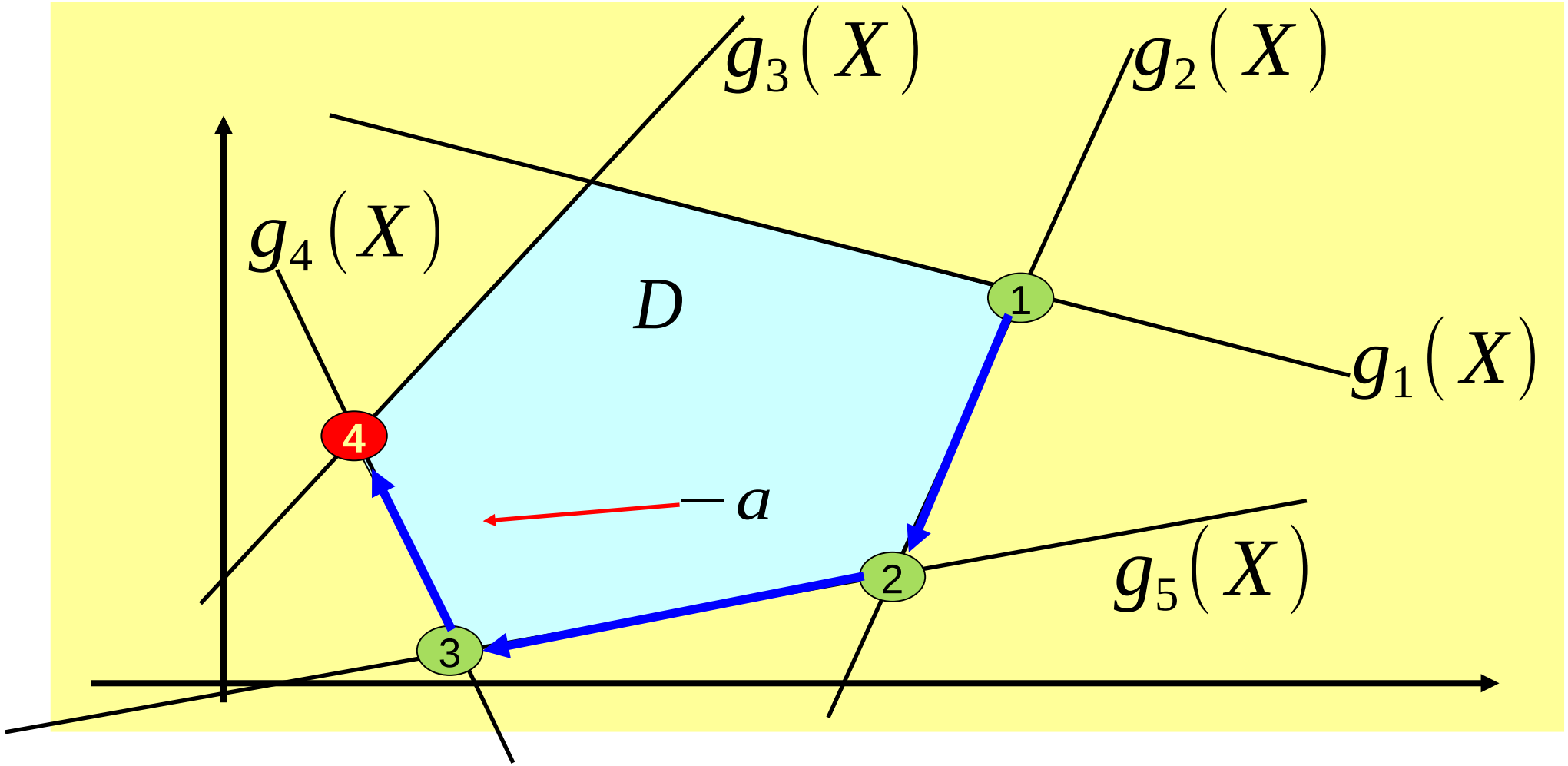
$$f(X) = a^T \cdot X + f_0$$

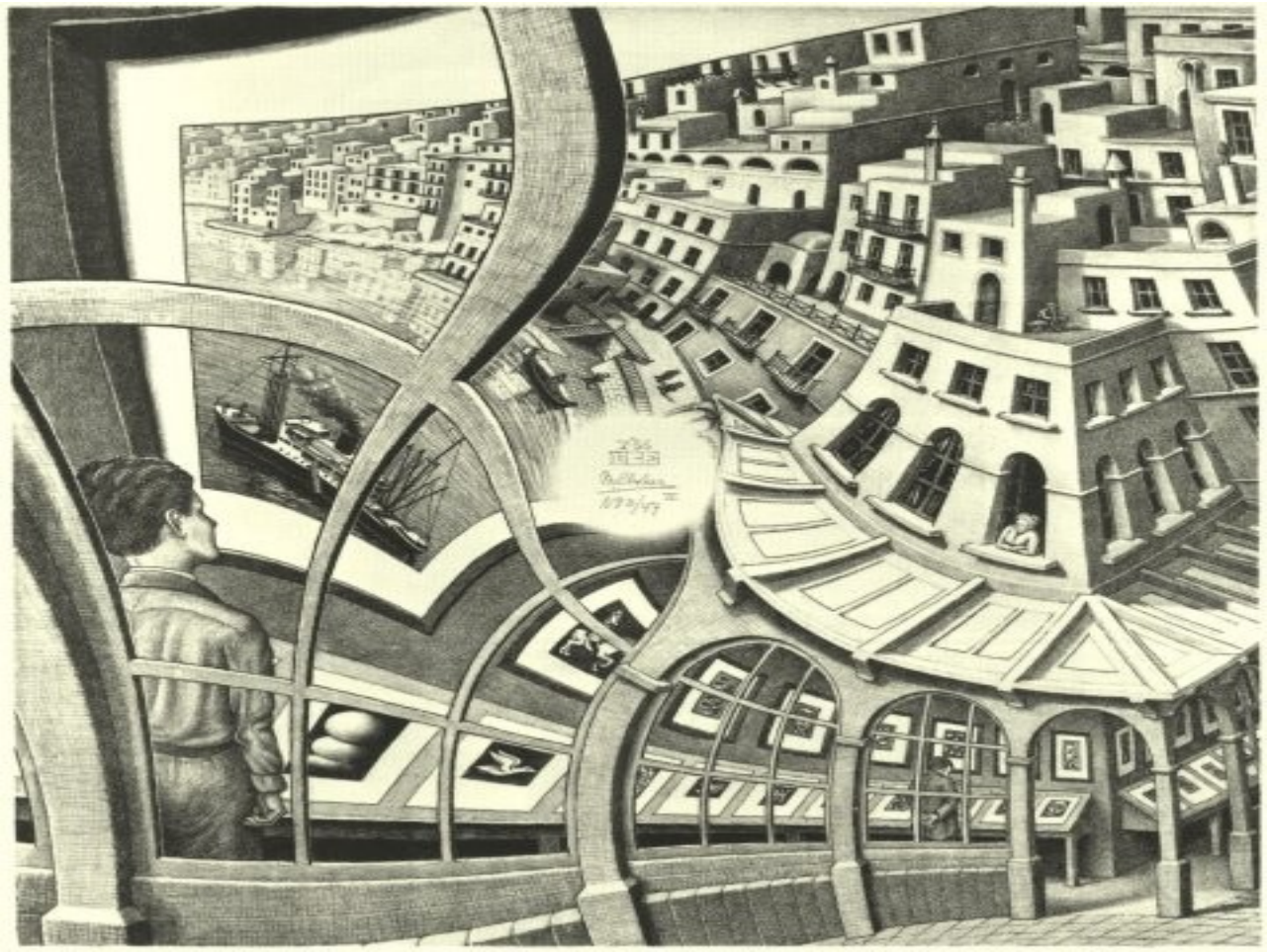
$$D = \bigcap_{i=1}^{i=Nr} \left\{ X / g_i(X) = a_i^T \cdot X + g_{i0} \leq 0 \right\}$$




observar que
el problema lineal
es convexo.

# Método SIMPLEX





Relajación de un problema.

# Relajación de un problema.

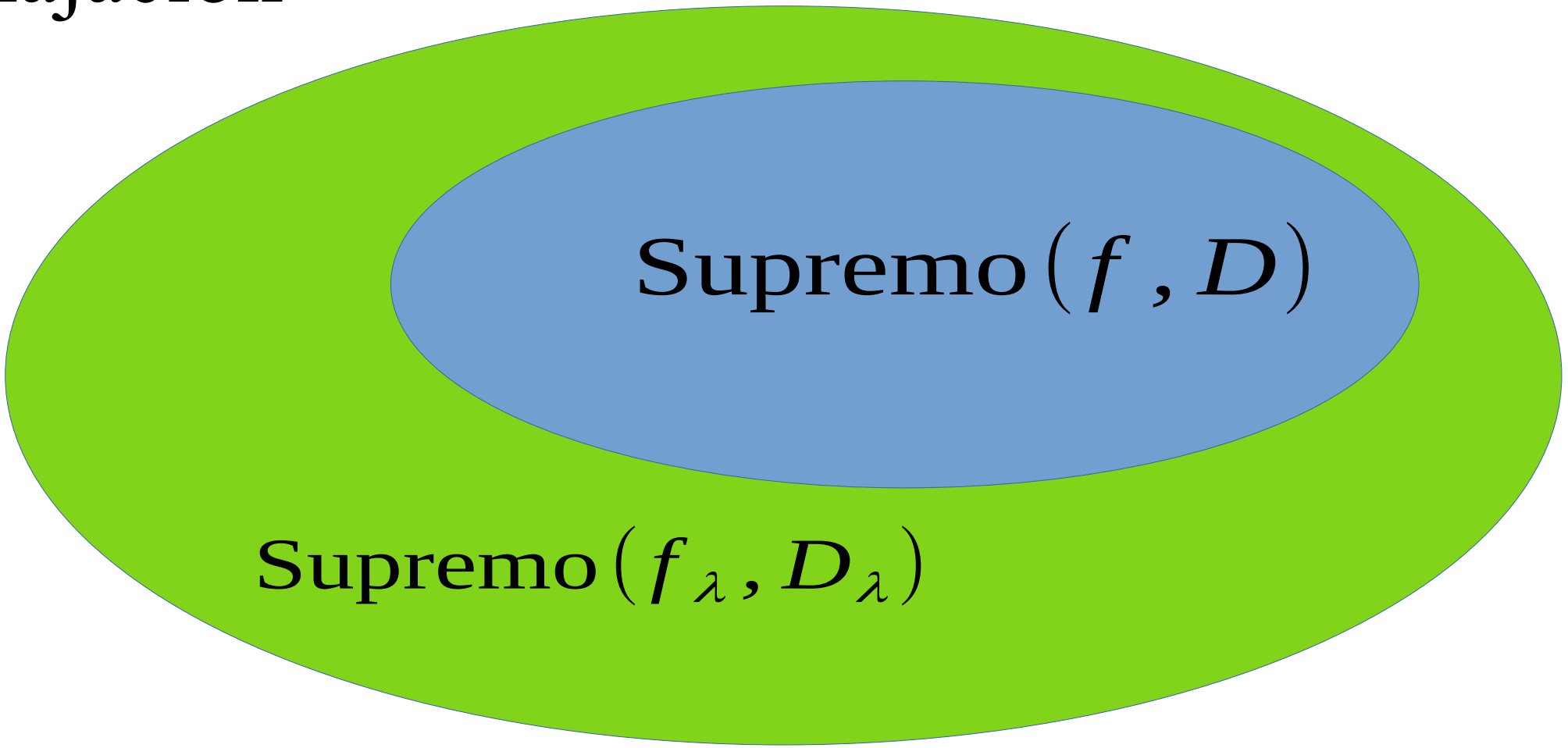
$$P_{\text{Original}}: \min_{X \in D} f(X)$$

$$P_{\lambda}: \min_{X \in D_{\lambda}} f_{\lambda}(X)$$

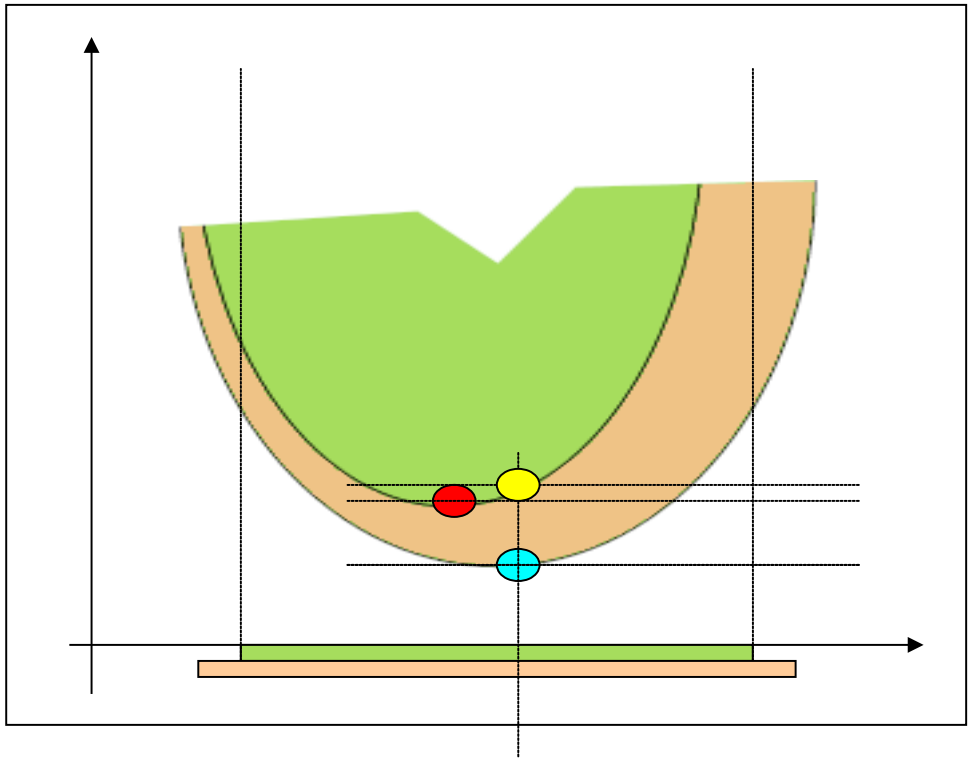
$P_{\lambda}$ es una relajación de $P_{\text{original}}$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} D \subseteq D_{\lambda} \\ \text{y } f_{\lambda}(X) \leq f(X) \; \forall X \in D \end{cases}$$

# Relajación



# Relajación



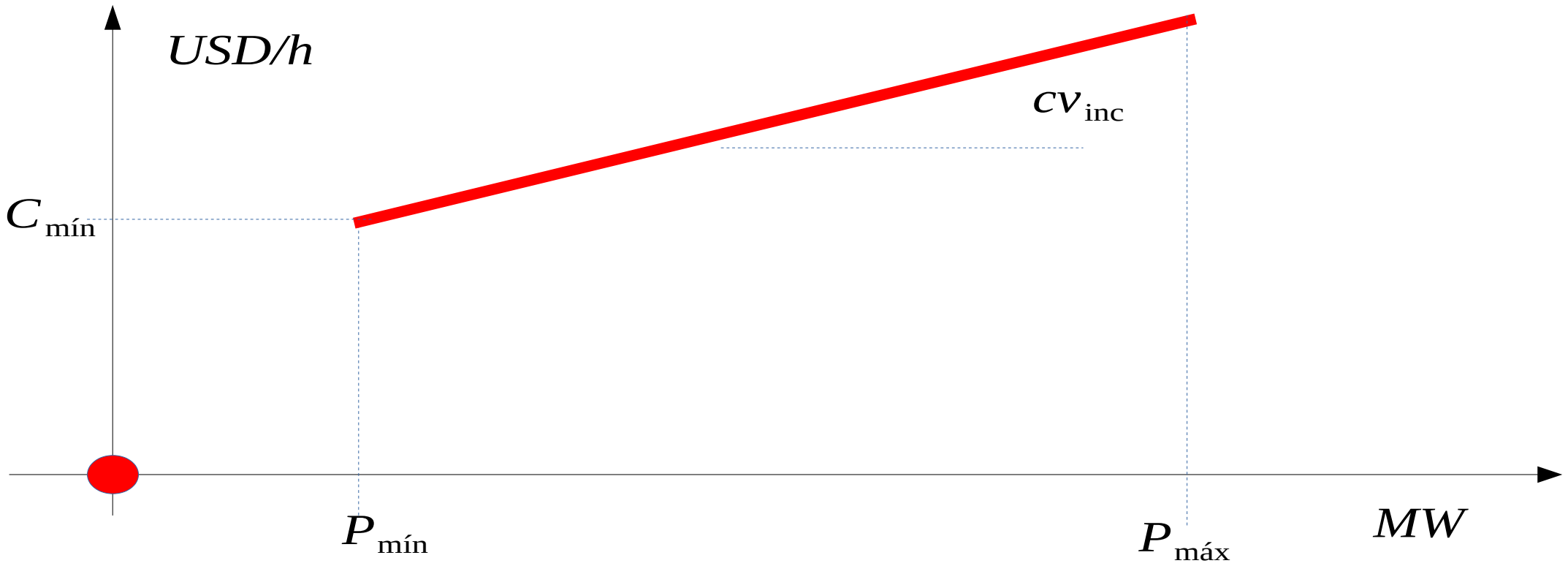
- La solución del problema relajado,  es una cota inferior del la solución del problema original.
- El valor de la función de costo del problema original, en la x solución del problema relajado (si es factible) es una cota superior de la solución del problema original.

# Programación Entera Mixta.
(*Mixed Integer Programming*)

$$\min_{x \in D} f(x)$$

$$D \subset R^{n_1} \times E^{n_2}$$

# Modelo de Central Térmica con Mínimo Técnico



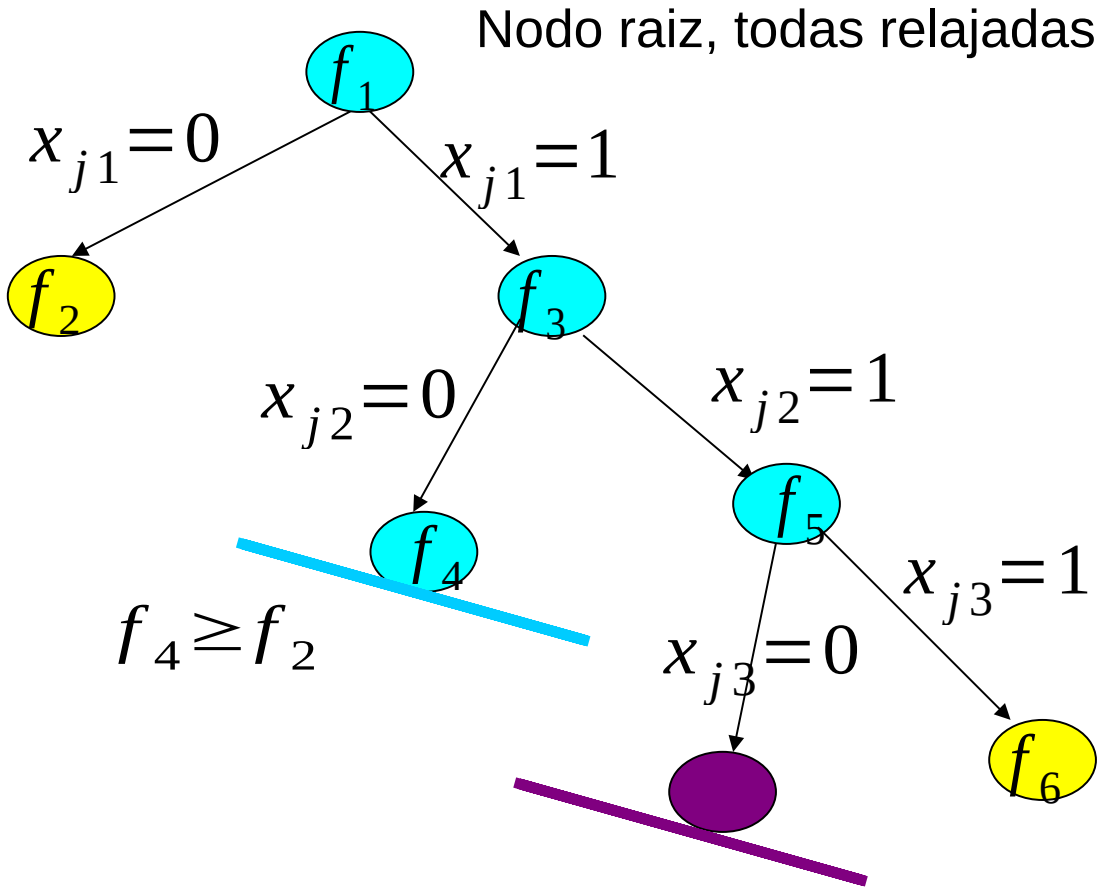
# Árbol de problemas

- Dejamos variar libremente las variables en sus intervalos [0,1] y resolvemos y vamos des-relajando de a una las variables.
- Al des-relajar creamos dos problemas más “ajustados”, pero que en conjunto, siguen siendo relajación del original mientras queden variables libres.

Factible (En el problema Original)

Relajado

Infactible (sin solución)



# El objetivo principal

SimSEE

# *Plataforma de simulación SimSEE*
# *¿Porqué y para qué?*

… razonamos sobre modelos de la realidad

Que el árbol no tape el bosque y viceversa

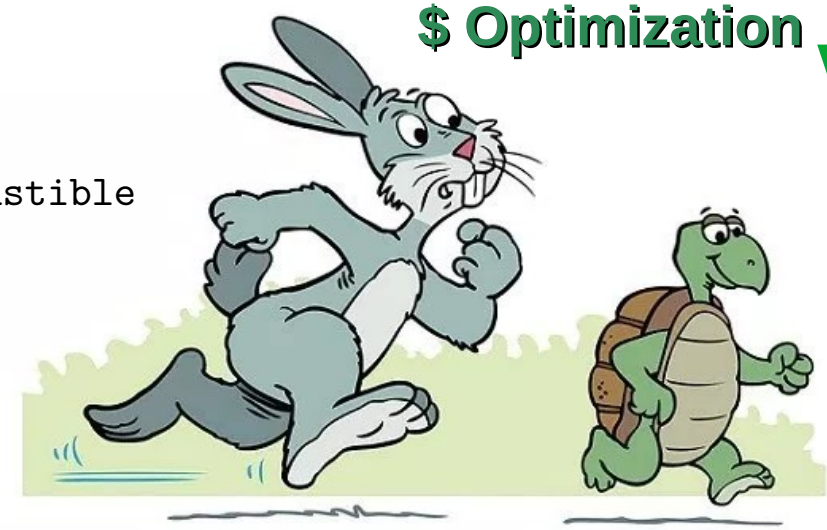
# *Horizontes temporales para simulación y análisis*

- **milisegundos:** Protecciones, estatismo de los generadores. Control distribuido.
- **segundos:** Regulación de frecuencia - Generadores asignados con control específico.
- **minutes:** Reserva Rotante (2.1% de la Demanda). Control vía AGC (u Operadores)
- **10 to 20 minutos:** Reserva Flexible (2.1% de la Demanda). Control por Operadores
- **>= 20 minutos:** Reserva Fría. (3% de la Demanda). Control por Operadores

**Security**

**$ Optimization**

- **horas:** Seguimiento de la Demanda real
- **días:** Programación del uso de los recursos
- **meses:** Optimización de embalses y previsión de compras de combustible
- **años:** Optimización de inversiones



- 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.

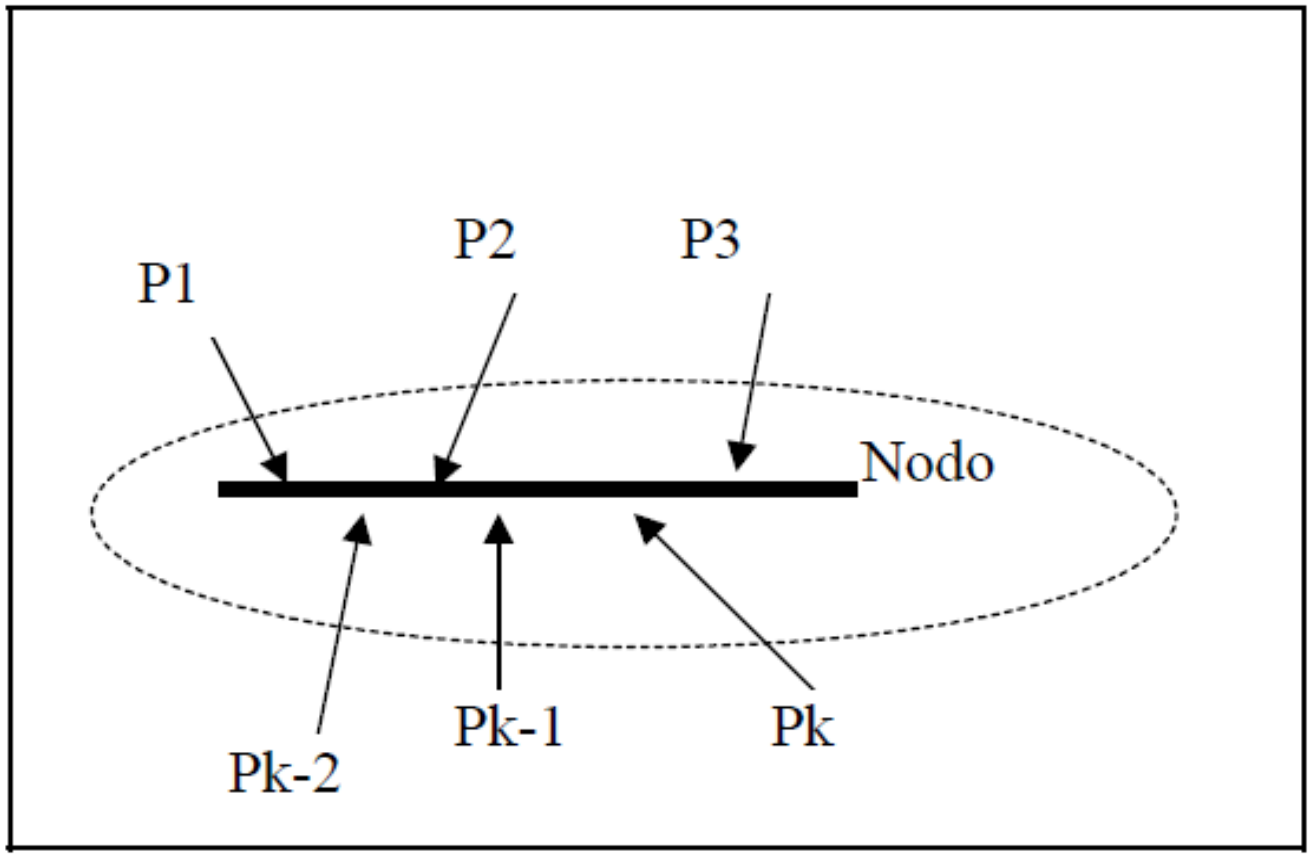
**Decreto Nº 105/013 de 02/04/2013**

Artículo 1 .- Sustitúyese el artículo 177 del Reglamento del Mercado Mayorista de Energía Eléctrica aprobado por el Decreto N° 360/002 de 11
de setiembre de 2002 en la redacción dada por el artículo 1 del Decreto N° 121/007 de 30 de marzo de 2007 por el siguiente:
"El costo de las unidades de falla y el nivel de racionamiento asociado
serán fijados por el Poder Ejecutivo a propuesta del Ministerio de
Industria, Energía y Minería.
Se disponen las siguientes cuatro unidades de falla:

A) para la primera unidad de falla, el porcentaje de la demanda es 2% y el Costo Variable para el Despacho será un 10% superior al costo variable de la Central Térmica de Respaldo La Tablada (CTR);
B) para la segunda unidad de falla, el porcentaje de la demanda es 5% y el Costo Variable para el Despacho es 600 U$S/MWh;
C) para la tercera unidad de falla, el porcentaje de la demanda es 7.5% y el Costo Variable para el Despacho es 2.400 U$S/MWh;
D) Para la cuarta unidad de falla, el porcentaje de la demanda es 85.5% y el Costo Variable para el Despacho es 4.000 U$S/MWh."

# *Despacho y restricciones de Nodo*

$$\sum_k P_k = 0 \quad ;$$



## *Despacho y restricciones de Nodo*

Podemos plantear el problema de despacho como:

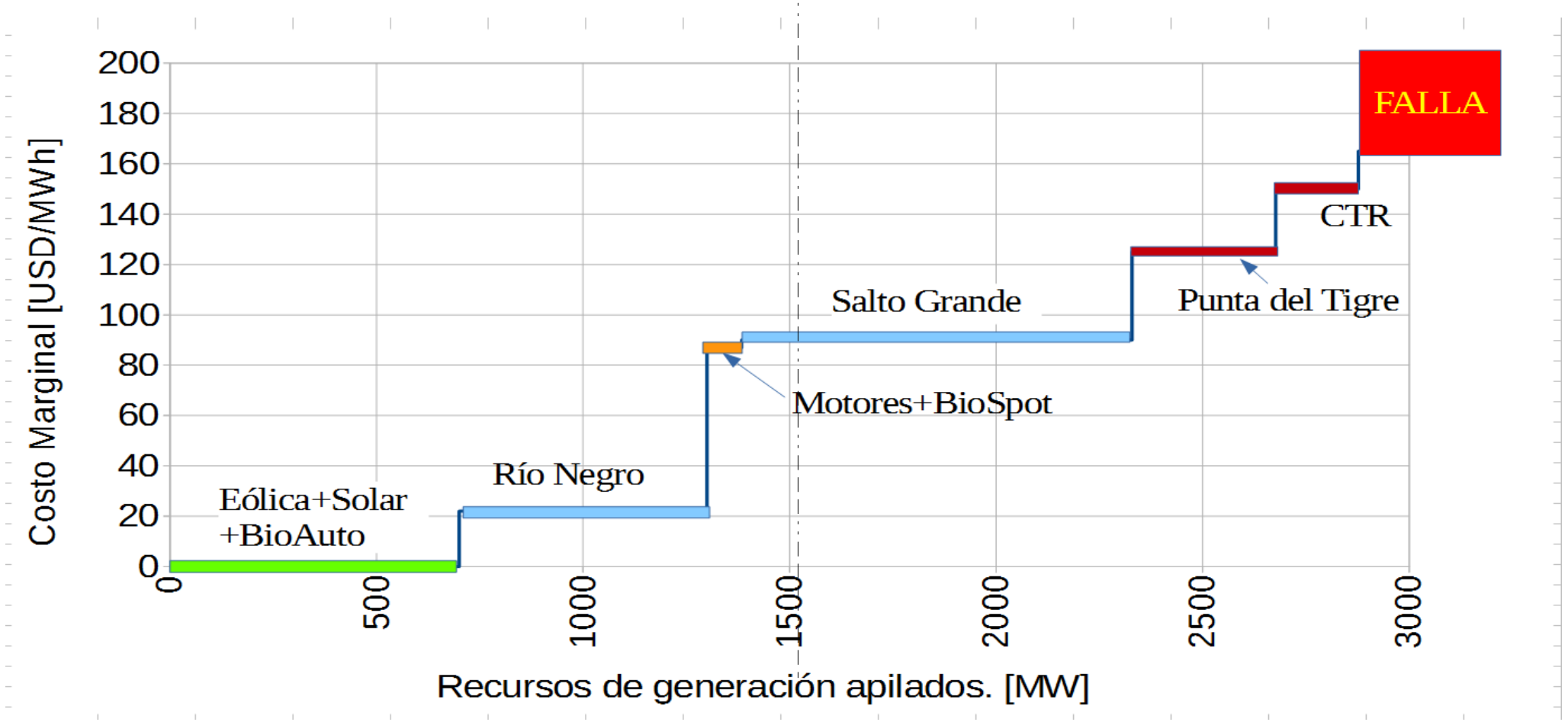
$$mín\left(\sum_k c_k(PG_k)\,dt\right)$$

$$@\sum_k PG_k - \sum_h PD_h = 0$$

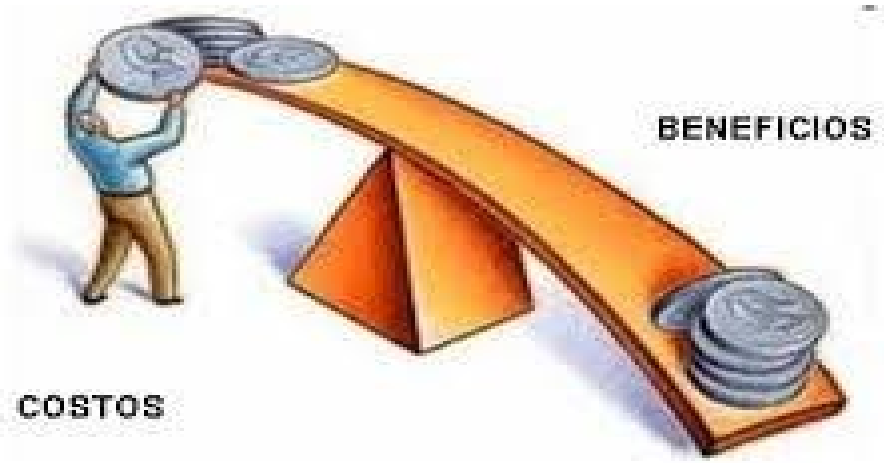
Donde:

- PGk es la potencia inyectada por el generador k
- PDh es la potencia retirada por la demanda h en el nodo en cuestión
- ck(PGk) es el costo de generación del generador k expresado en USD/h cuando entrega una potencia PGk y
- dt es la duración del paso de tiempo en horas.

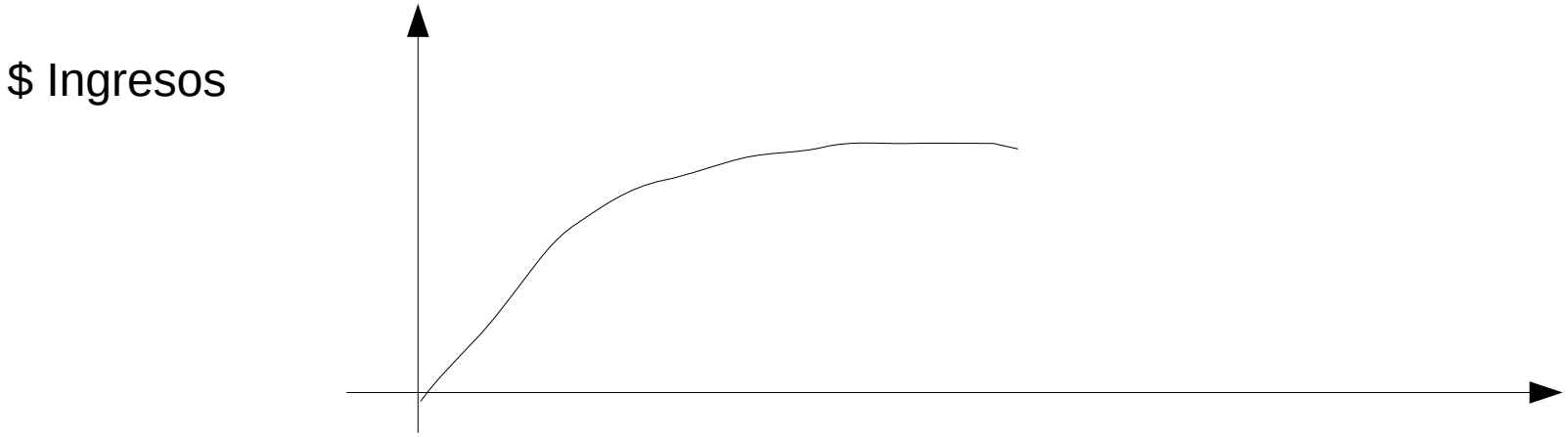
# *Orden de mérito y Costo Marginal.*
# *Sólo Costos Variables.*



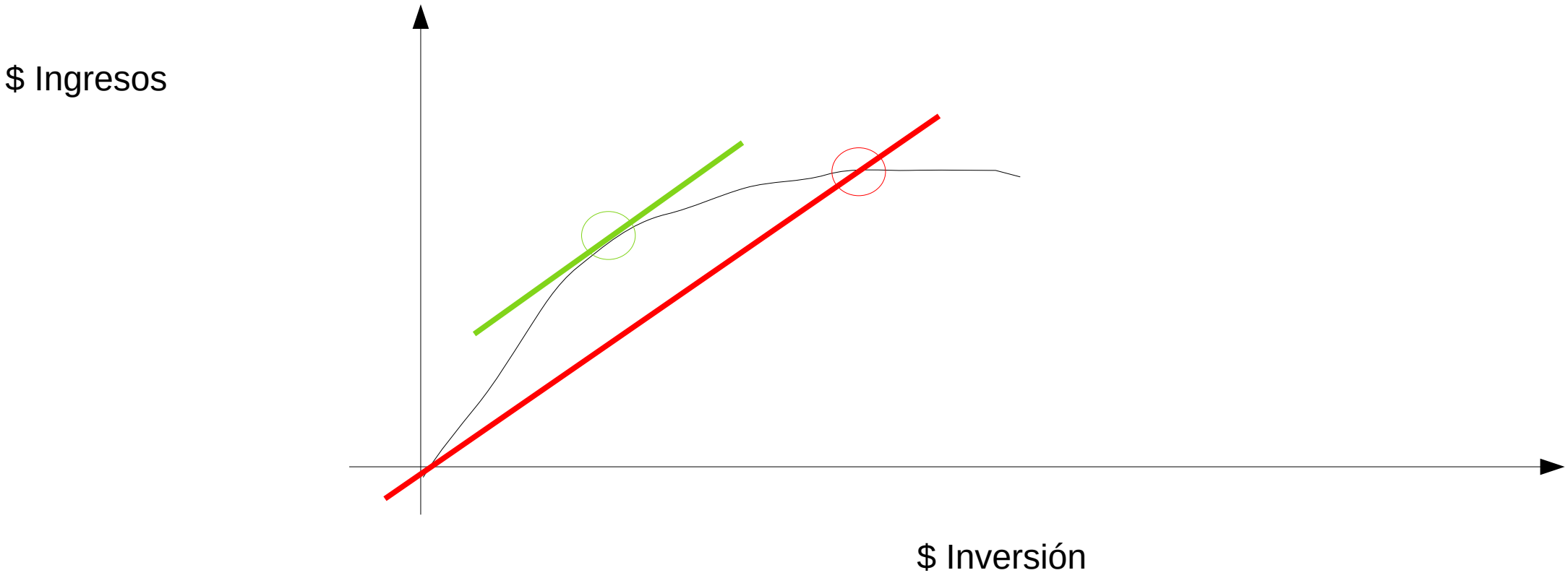
## *Beneficio MARGINAL como herramienta de razonamiento.*




- Costos FIJOS.
- Costos VARIABLES.
- Beneficio MEDIO.
- Beneficio MARGINAL.
- Rendimientos decrecientes.



# *¿Hasta dónde invertir?*



# Los Recursos

Costos Variable = CV [USD/MWh]

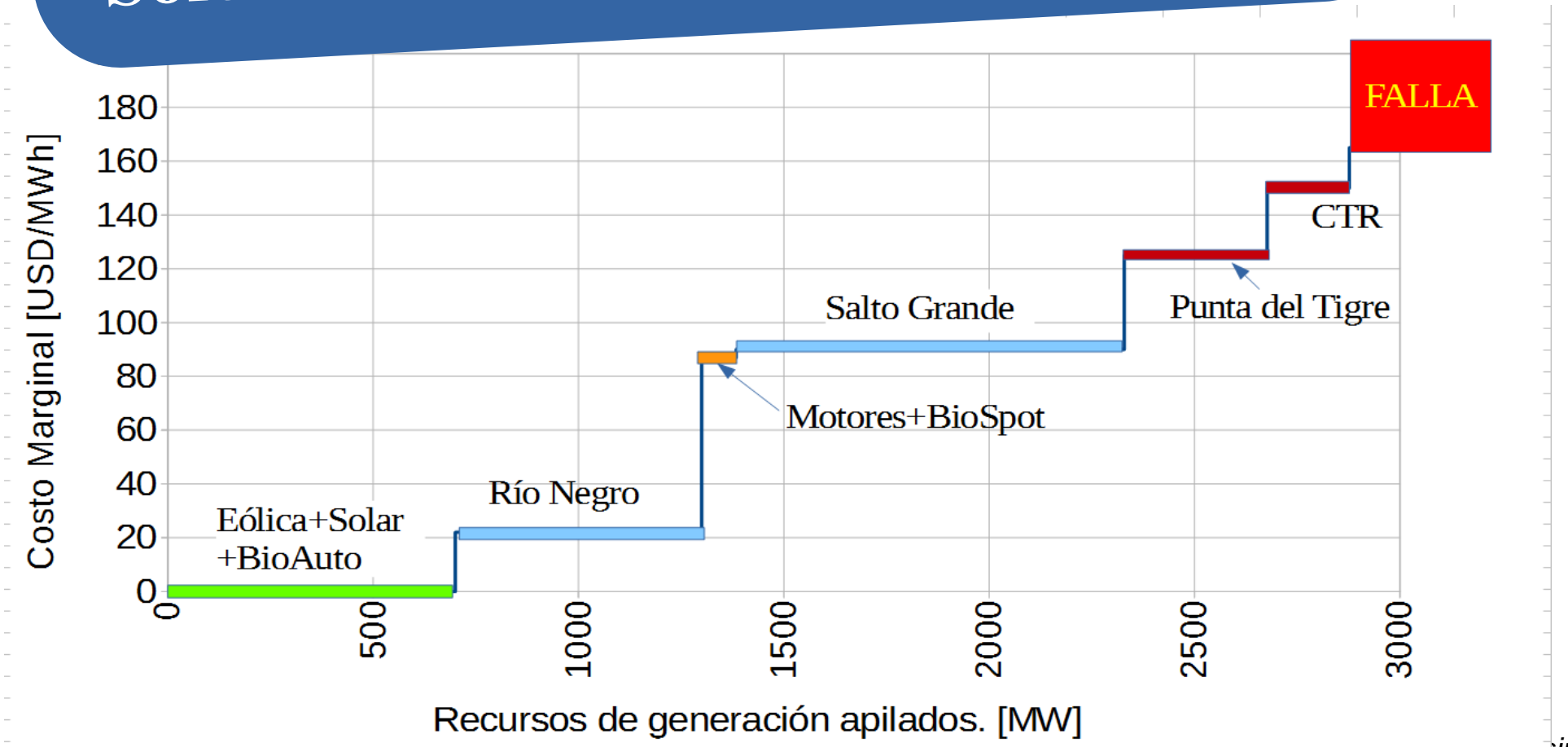
Costos Fijos = PP [USD/MWh]

| | 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 )

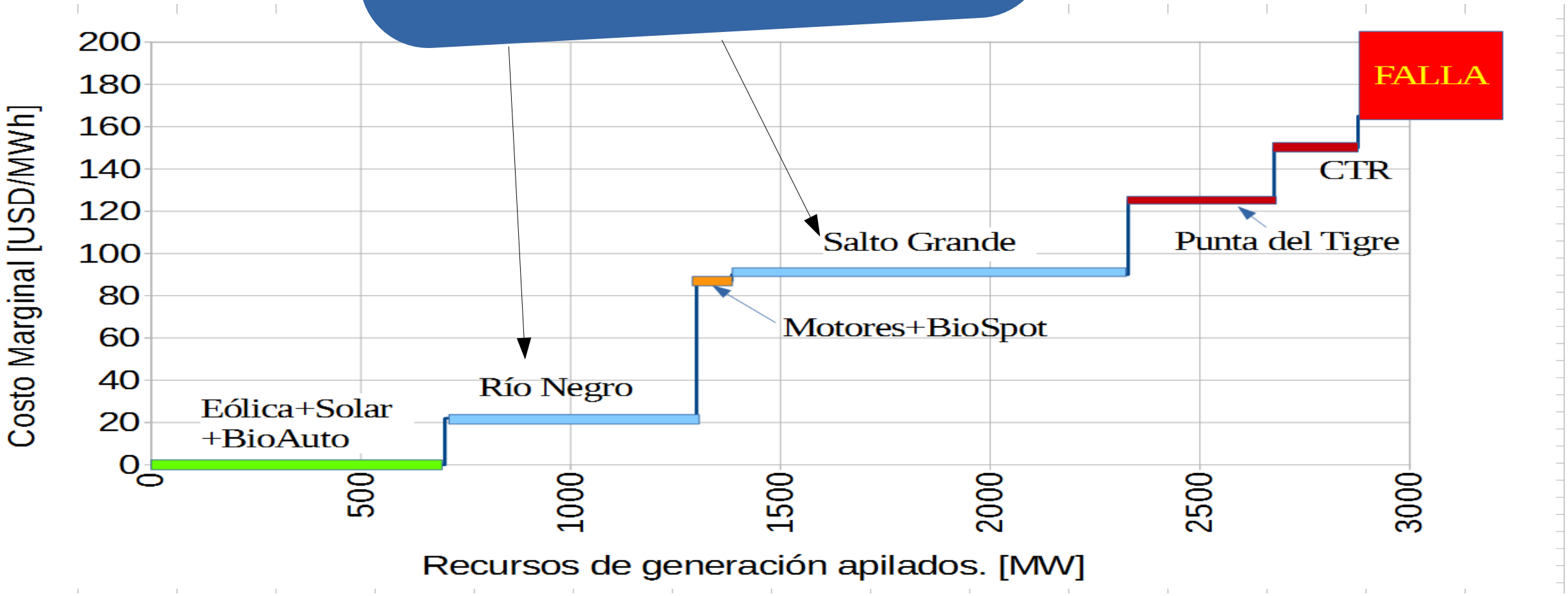
Hidroeléctricas

# 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.

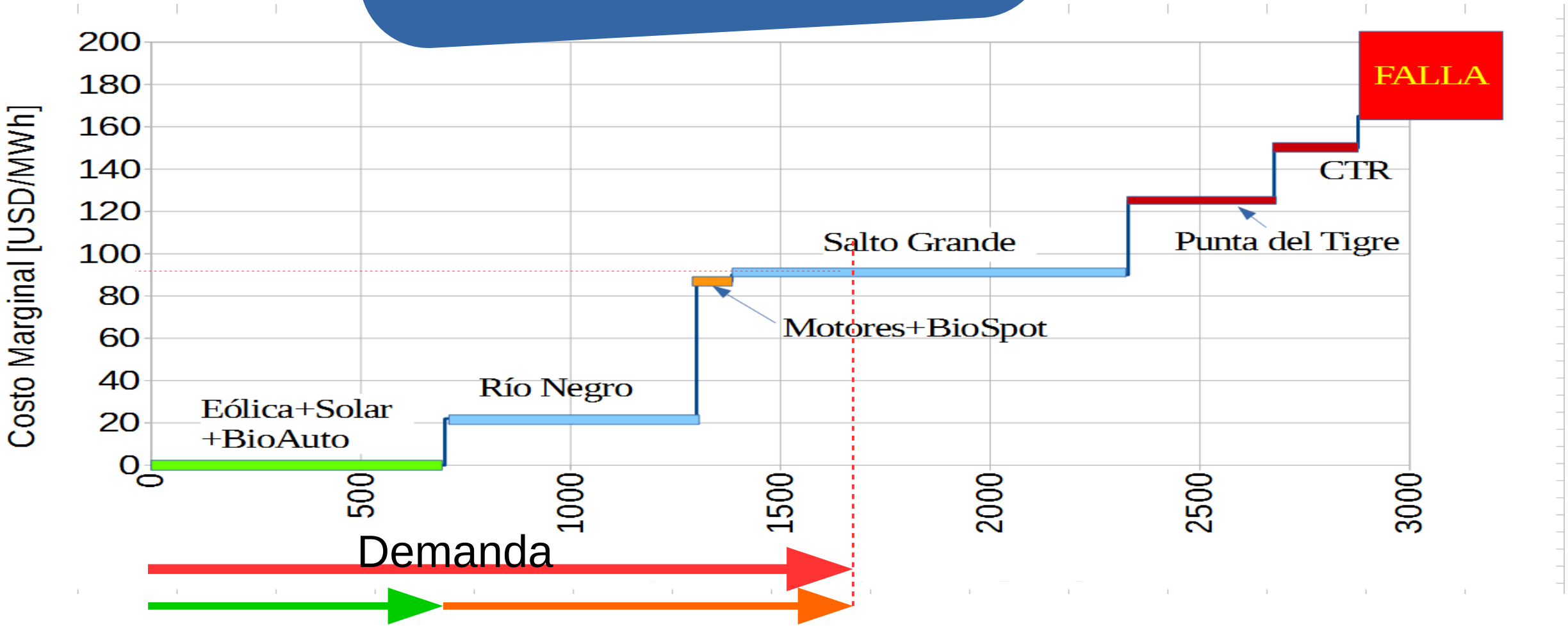
INCERTIDUMBRE DEL FUTURO.

MODELOS ESTOCASTICOS

PRONOSTICOS

SimSEE

# Costo Marginal

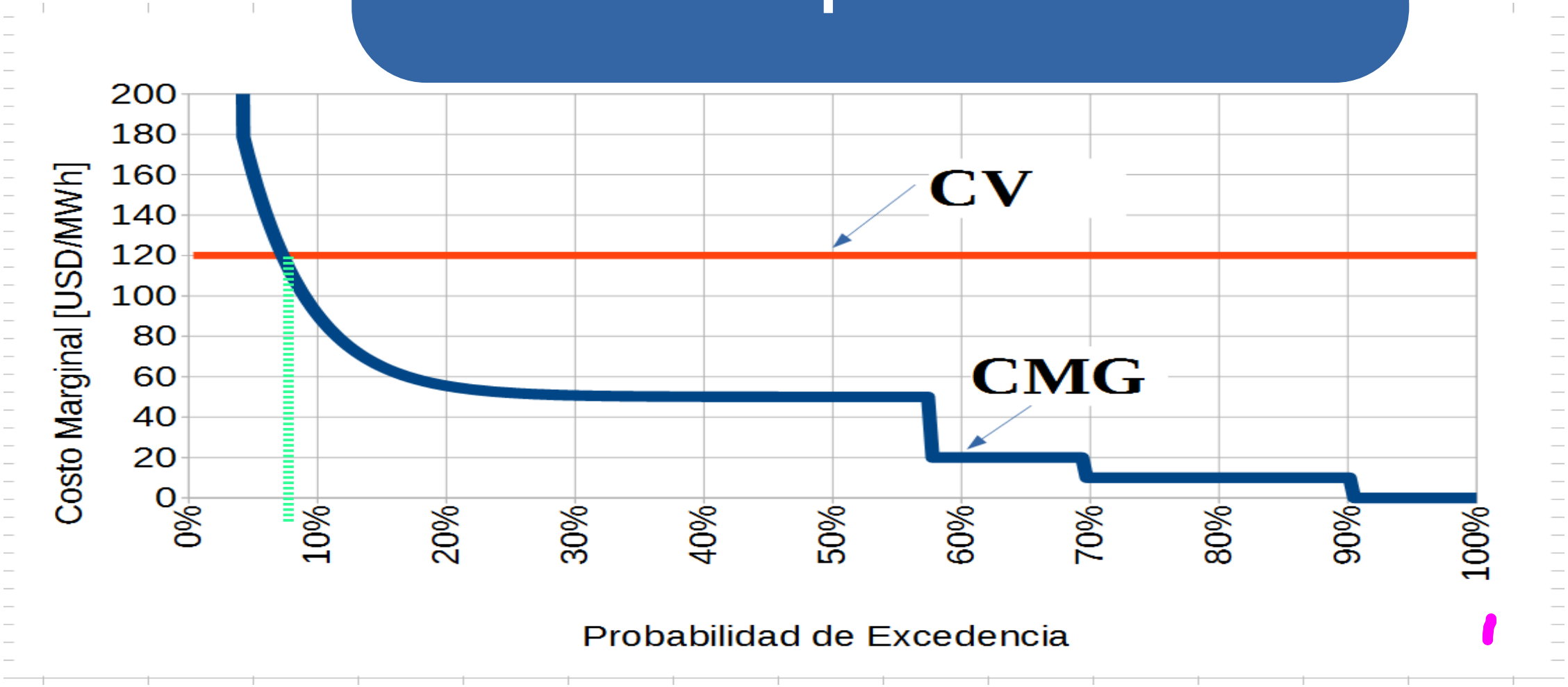



No Gestionable

Demanda Neta

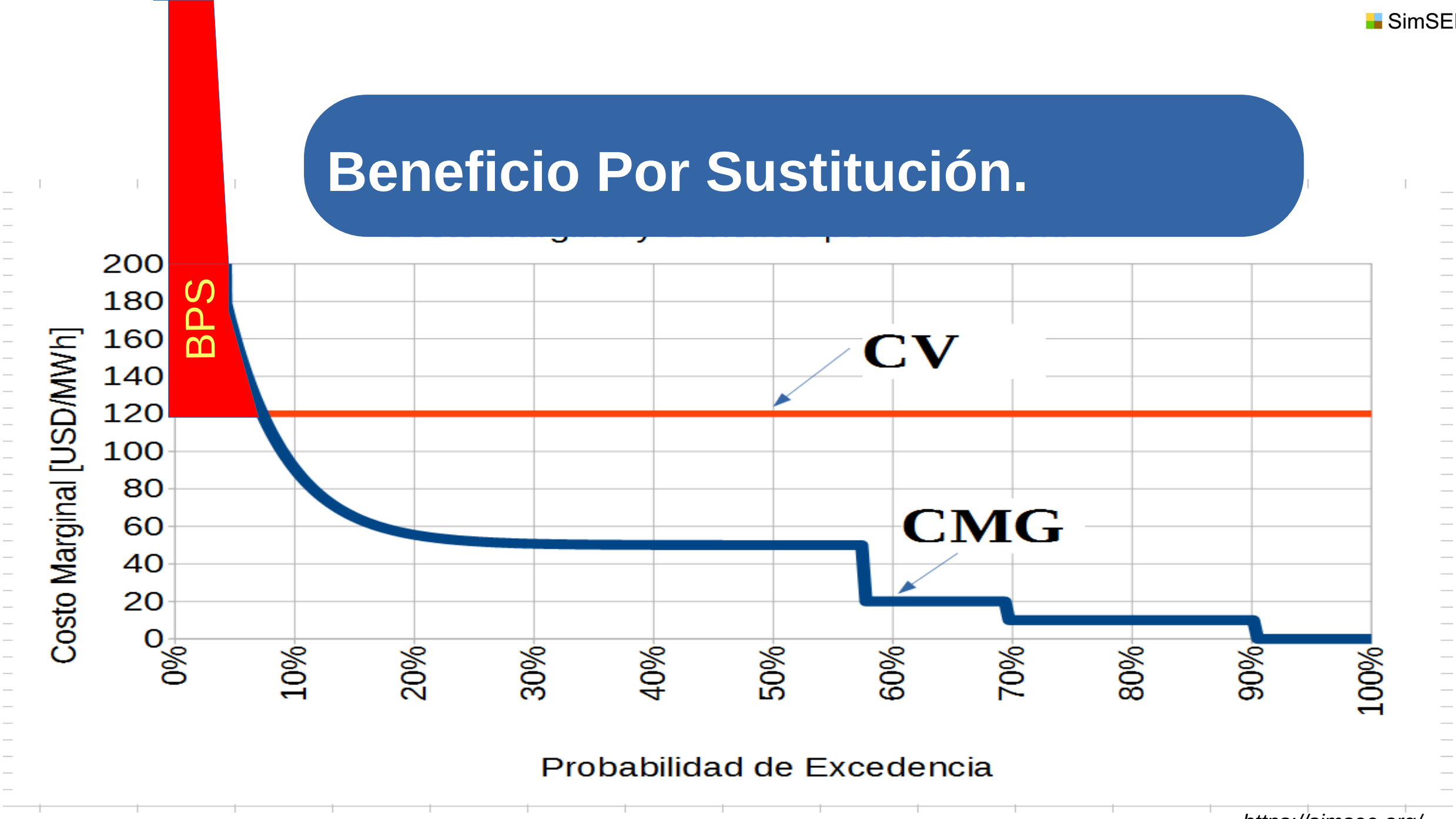
https://simsee.org/

# Costo Marginal, CV y Factor de Despacho.



SimSEE

# Beneficio Por Sustitución.



# Gradiente de Inversión.

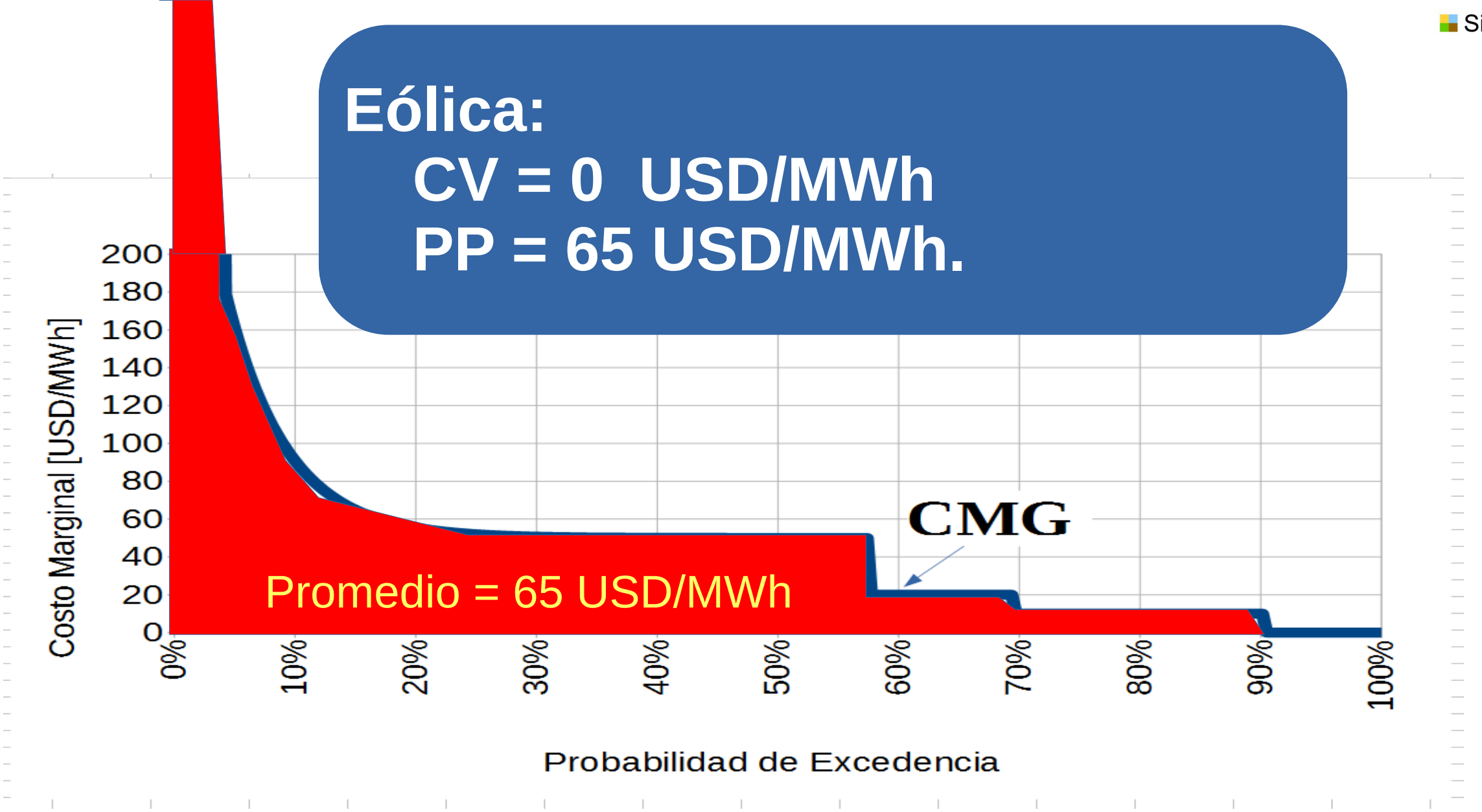
$$GI = ( BPS * fd - PP ) / PP$$

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

**Eólica:**

**CV = 0 USD/MWh**

**PP = 65 USD/MWh.**



# Operación óptima de un Sistema Dinámico.

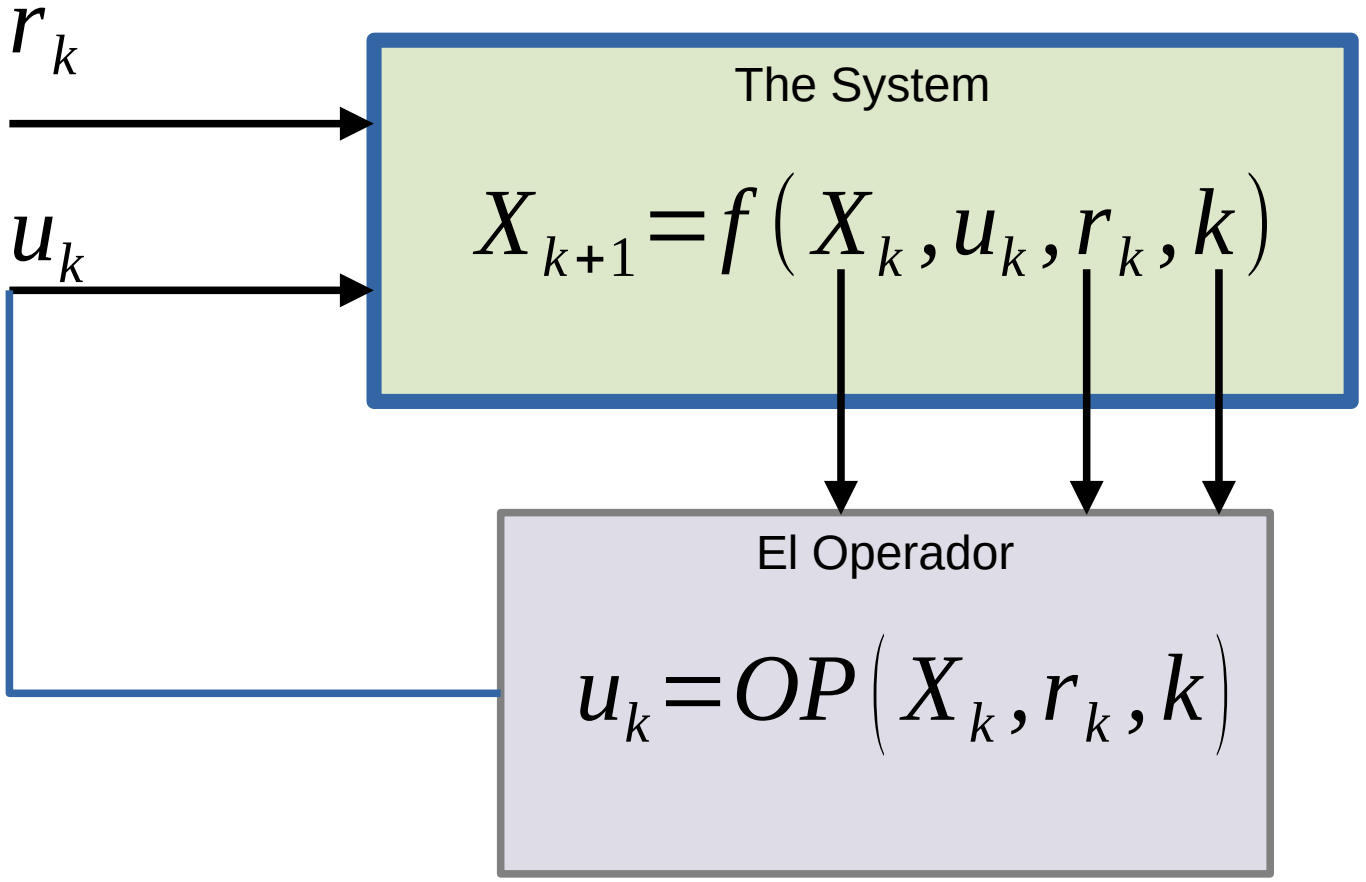
***Libro Blanco: "Operación óptima de los recursos de generación de energía eléctrica"***

# Estado de un Sistema Dinámico

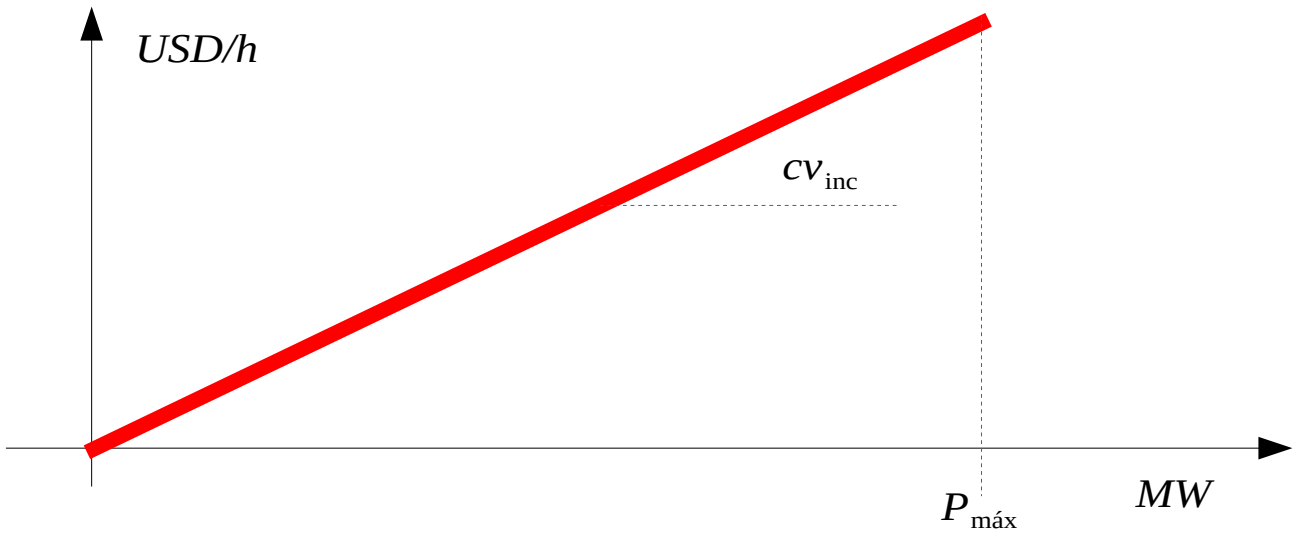
- X = Vector de información que capta todo lo relevante del pasado para calcular el futuro si se conocen las entradas de aquí en mas.

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

# The Operator and the Operation Policy

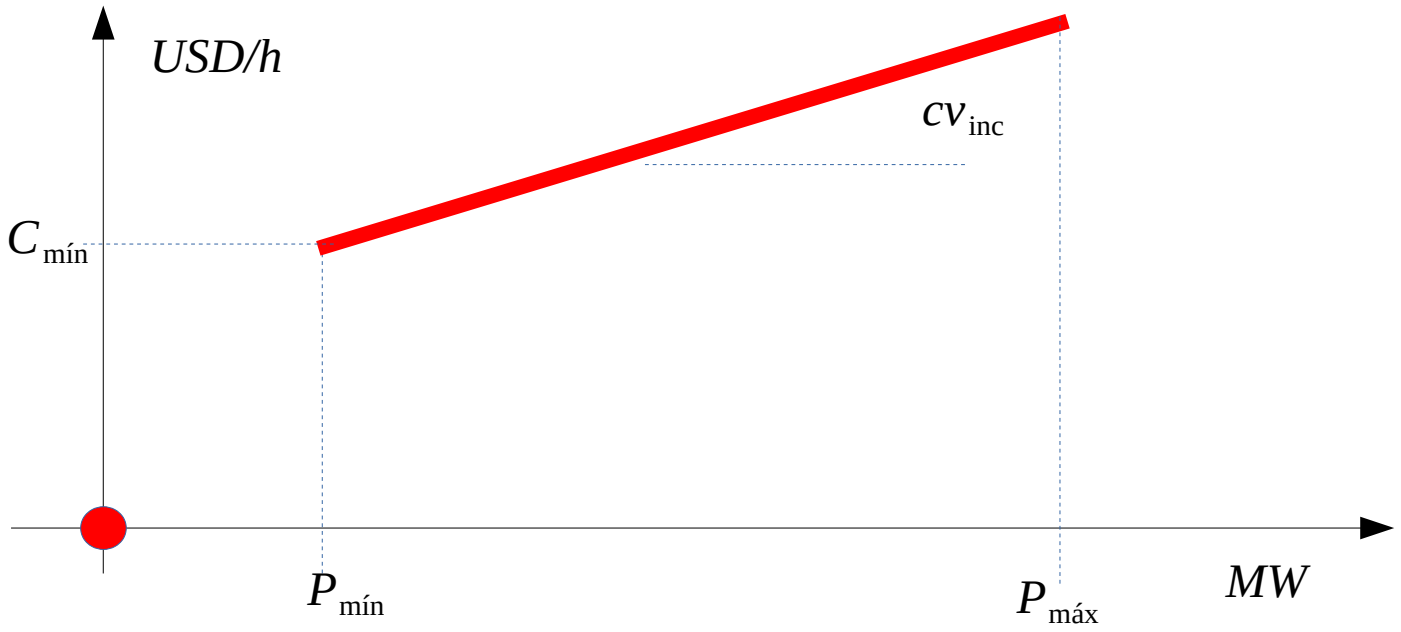


# Modelo de Generador Térmico Básico.




$$C = \sum_{j=1}^{NPostes} P_j \, cv_{inc} \, \Delta t_j$$

# Modelo de Generador con Mínimo Técnico.




$$C = \sum_{j=1}^{NPostes} A_j \left( C_{\text{mín}} + \left( P_j - P_{\text{mín}} \right) cv_{inc} \right) \Delta t_j$$

$$A_j = P_j > P_{\text{mín}}$$

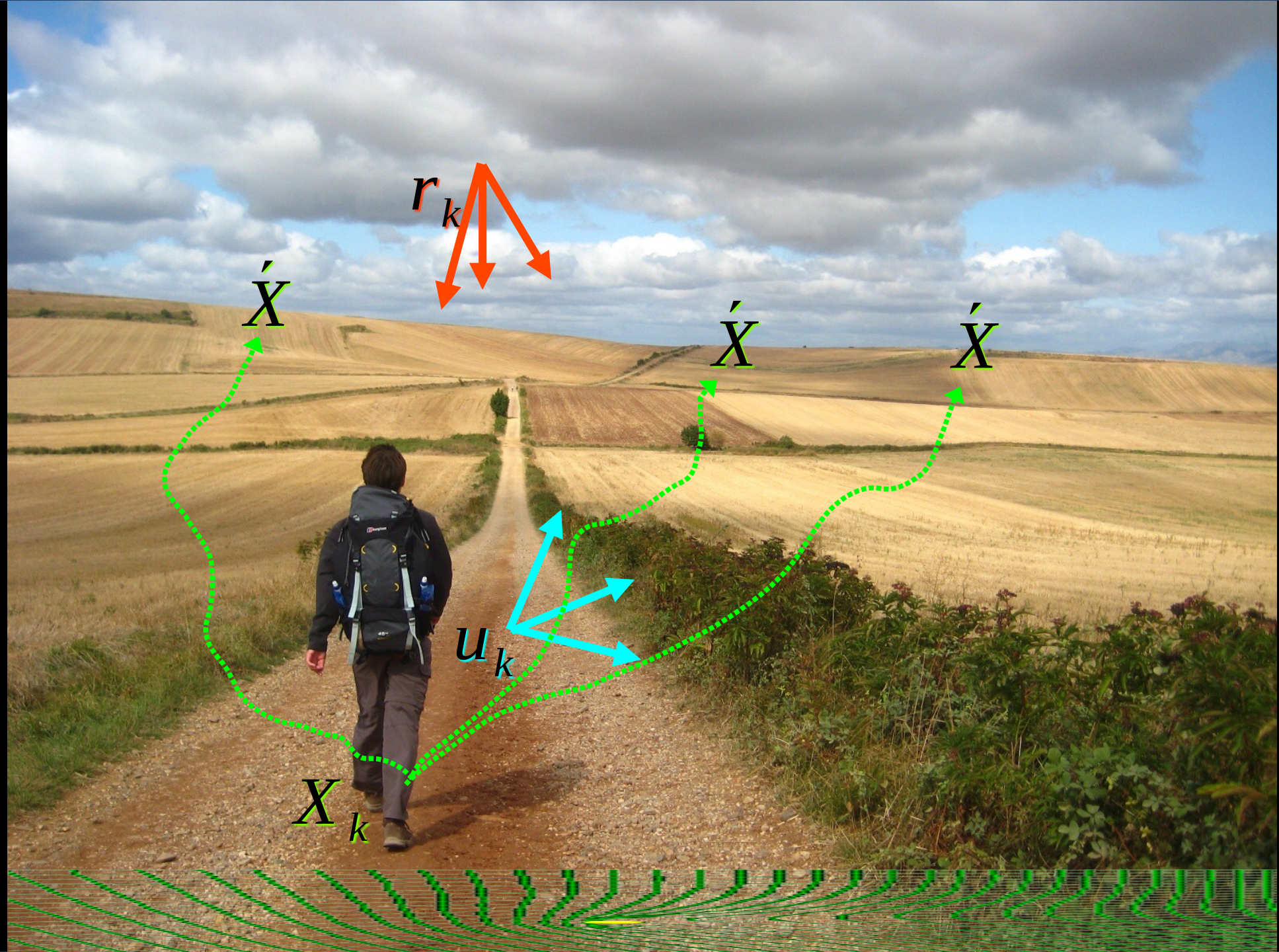
**The optimal dispatch of generation resources is a Stochastic Dynamic Programming problem.**

The use of stored resources (water) today reduces the operating costs of the present but increases those of the future, and vice versa.

An optimal policy is one that reduces the expected value of the future operating cost of the system.

**Min <Future Cost>**

At the optimum, the variations of Present vs. Future are in equilibrium.


$r_k$
$\acute{x}$
$\acute{x}$
$\acute{x}$
$u_k$
$x_k$

Richard Ernest Bellman (1920–1984)

*Dynamic Programming* 1957

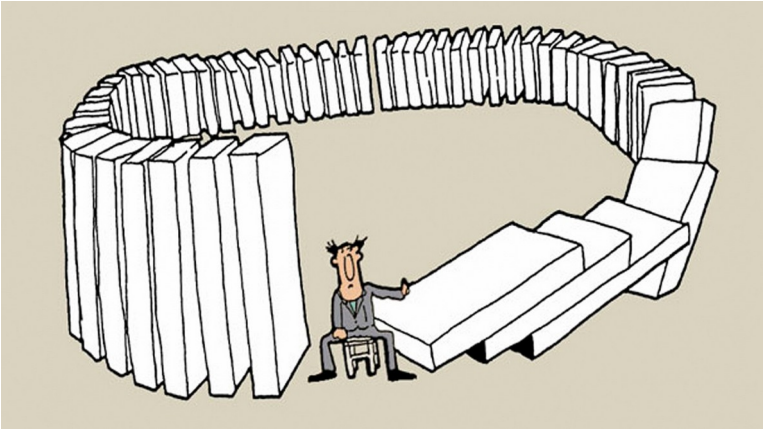
# Bellman recursion

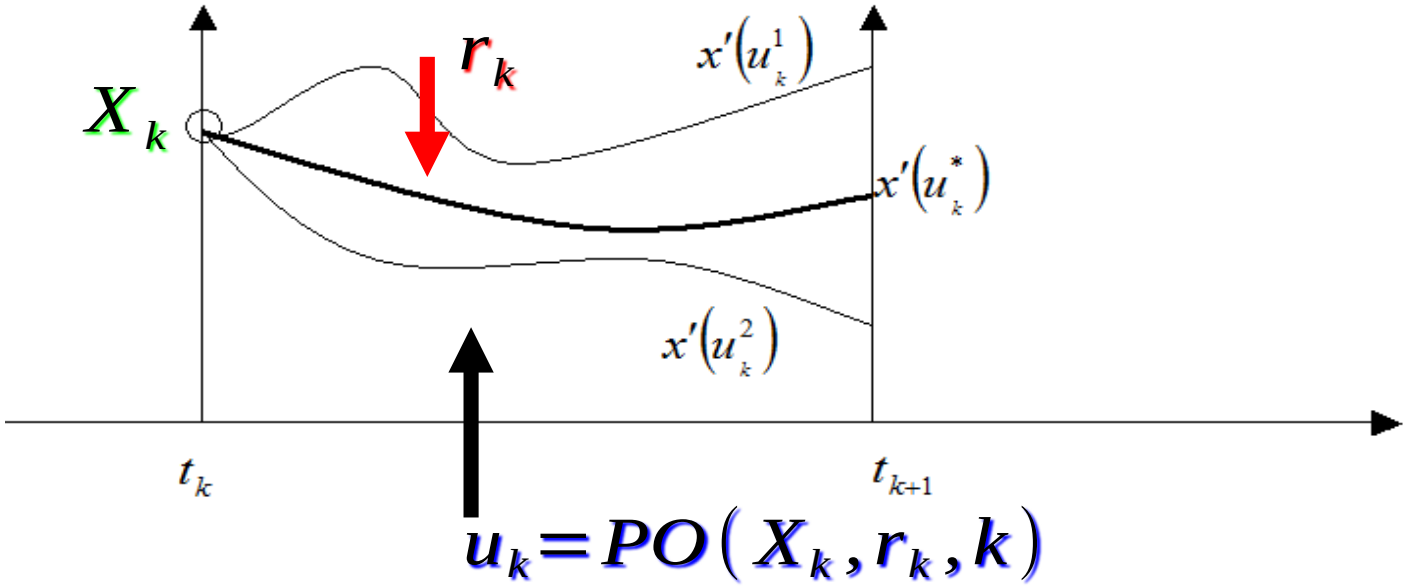
$$CF(X,k)=\left\langle \min_{u_k}\left\{ sc(X,u_k,r_k,k)+q\,FC(X_{k+1},k+1)\right\}\right\rangle_{\{r_k,r_k+1,\ldots\}}$$

Bellman's Curse of Dimensionality

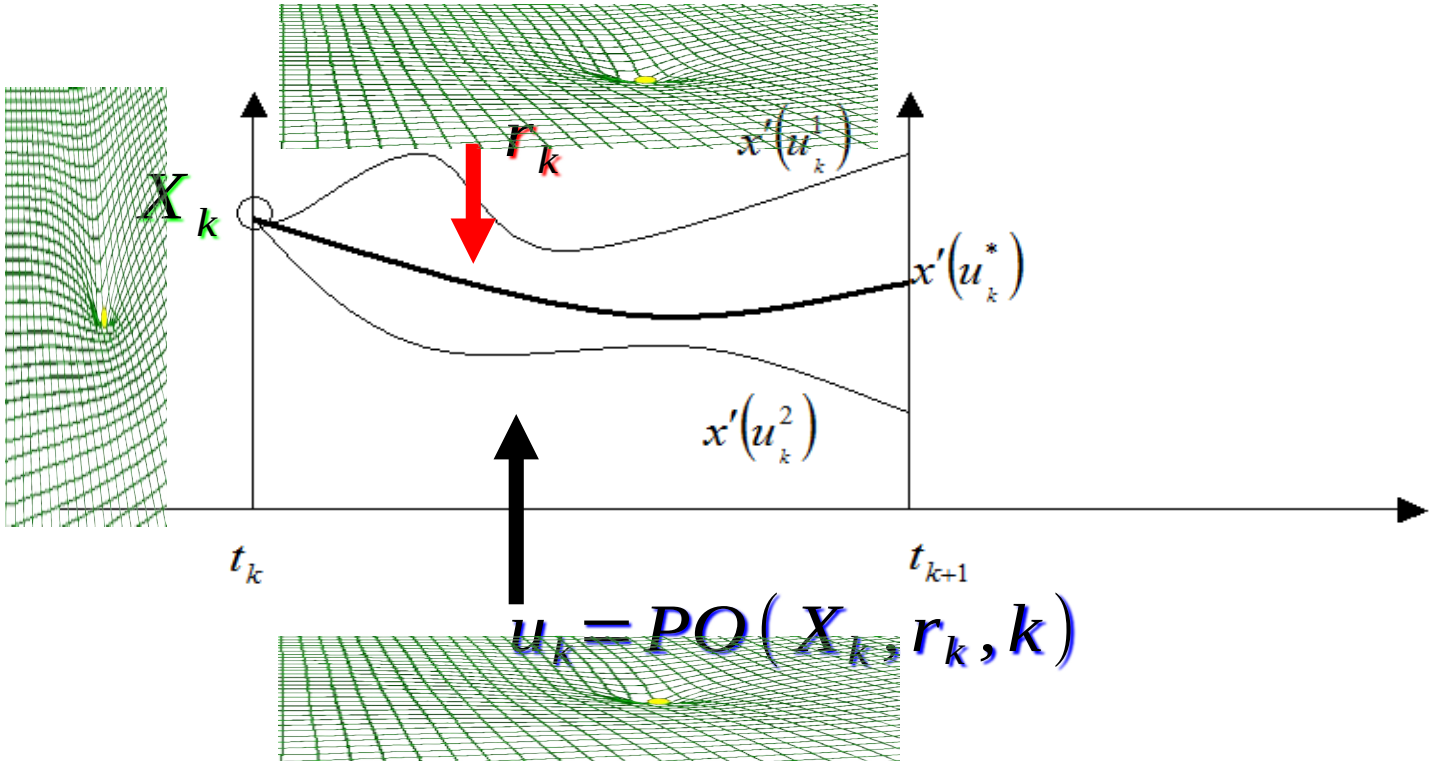
# PO_Optima = Minimizar el valor esperado del Costo Futuro

$$CF(x,k) = \langle \min_{u_k} \{ CE(x,u_k,r_k,k) + q \cdot CF(x',k+1) \} \rangle_{r_k}$$

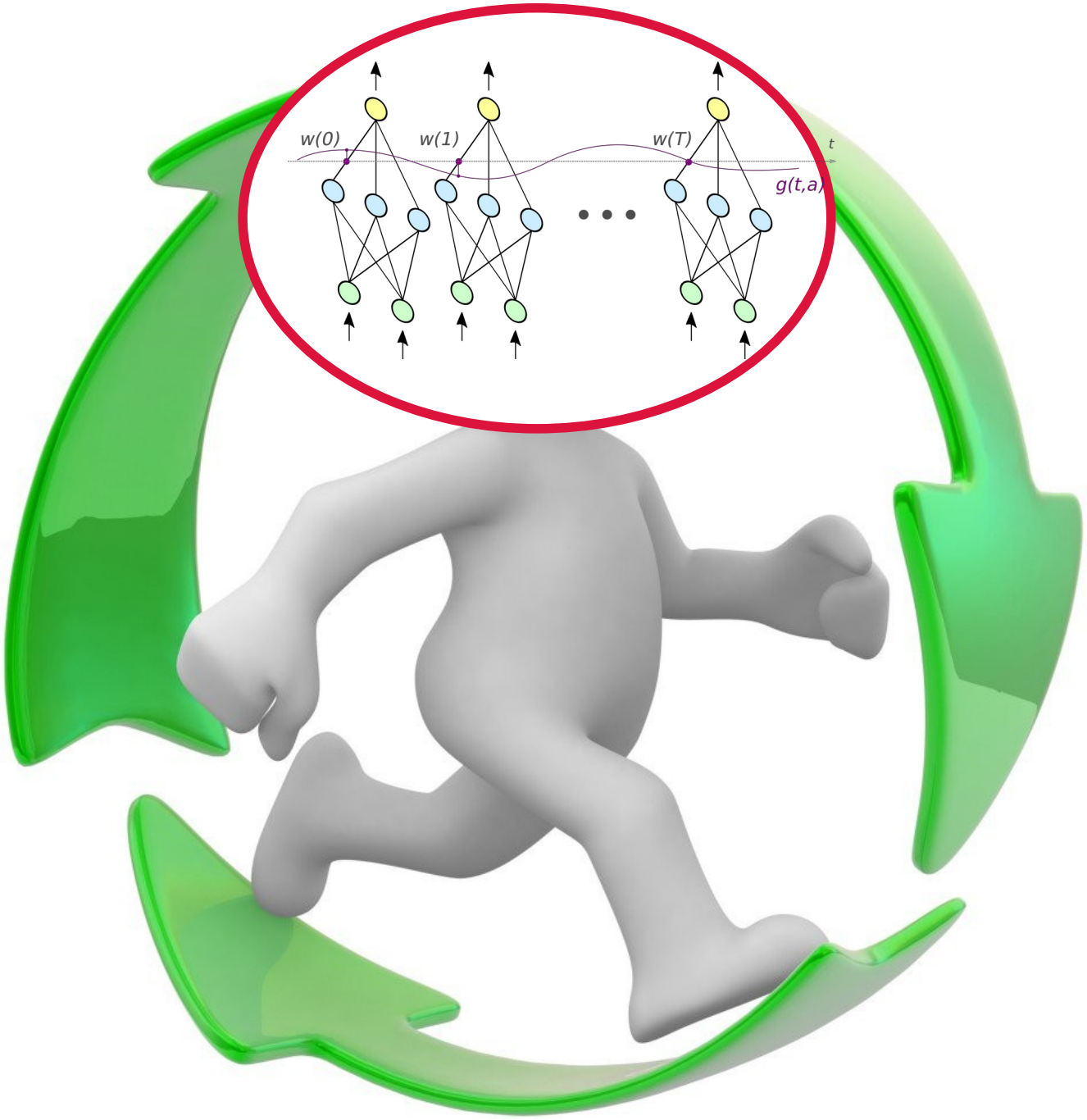




# Bellman's curse of dimensionality.

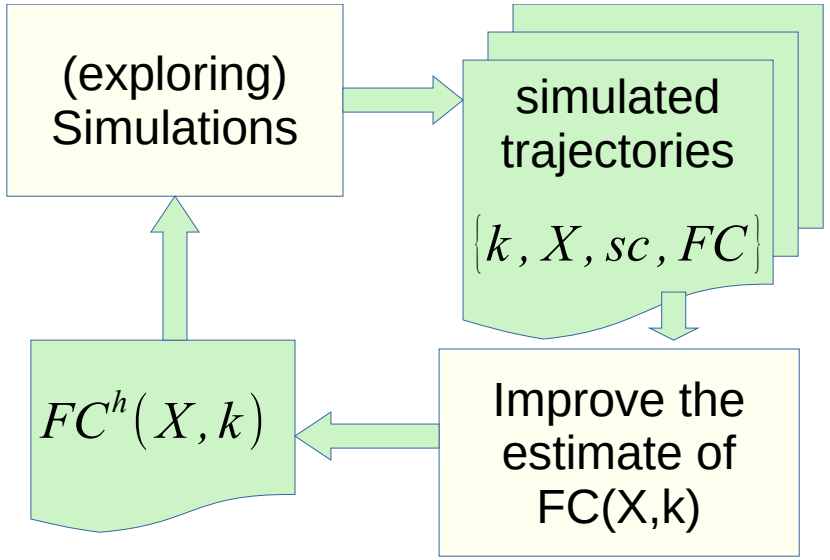



$$Dim(u) \times N_{X_1} \times N_{X_2} \ldots \times N_{X_{Dim(X)}} \times N_{r_1} \times N_{r_2} \ldots \times N_{r_{Dim(r)}} \times N_k$$




# 2nd generation of robots with artificial intelligence

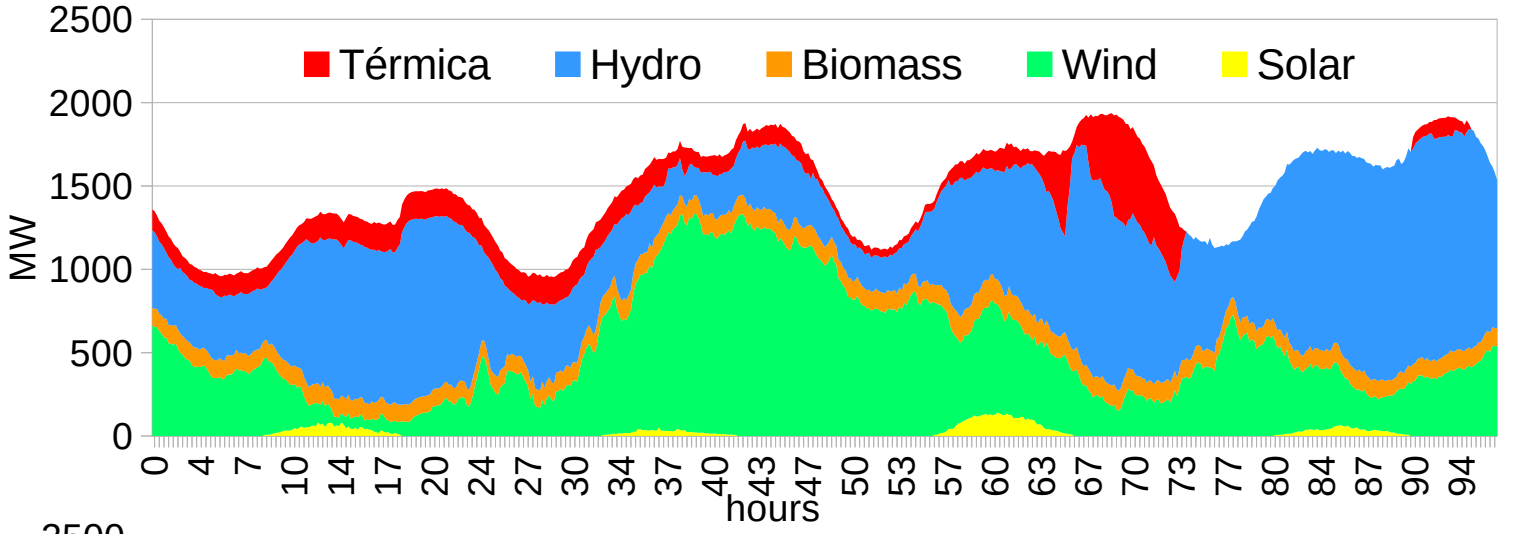
## VatesIA_MP y VatesIA_CP

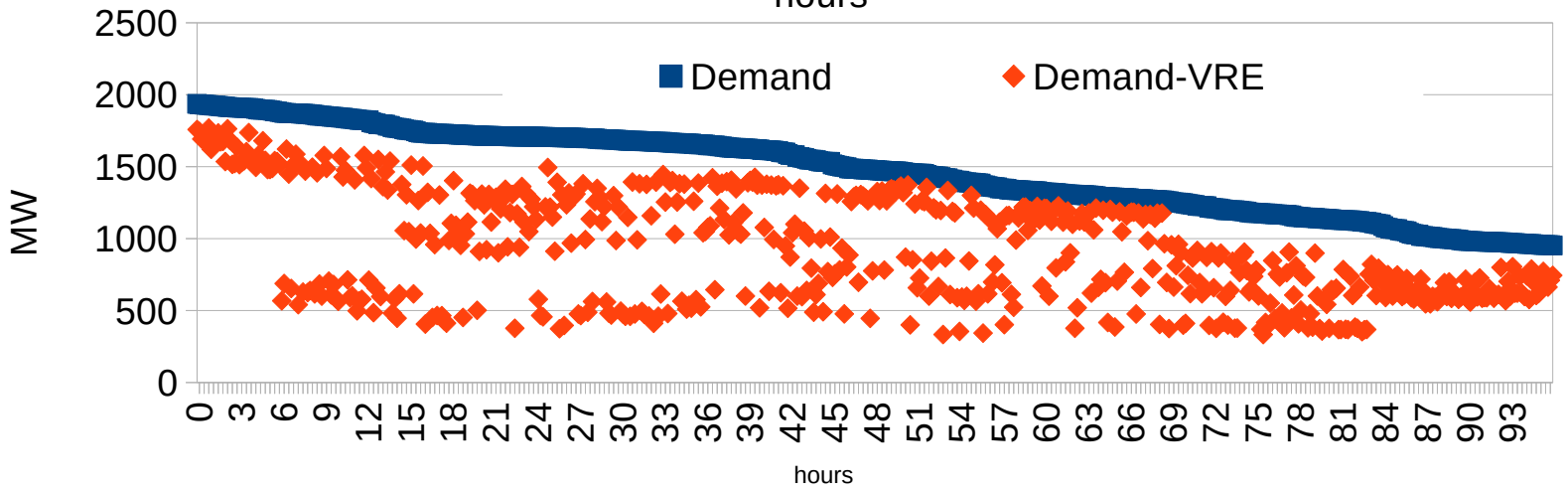


# Time-Bands (Patamares) defined by the Monotonous Load Curve ...

Makes sense?

Only an example, 4 days of july-2018-Uruguay

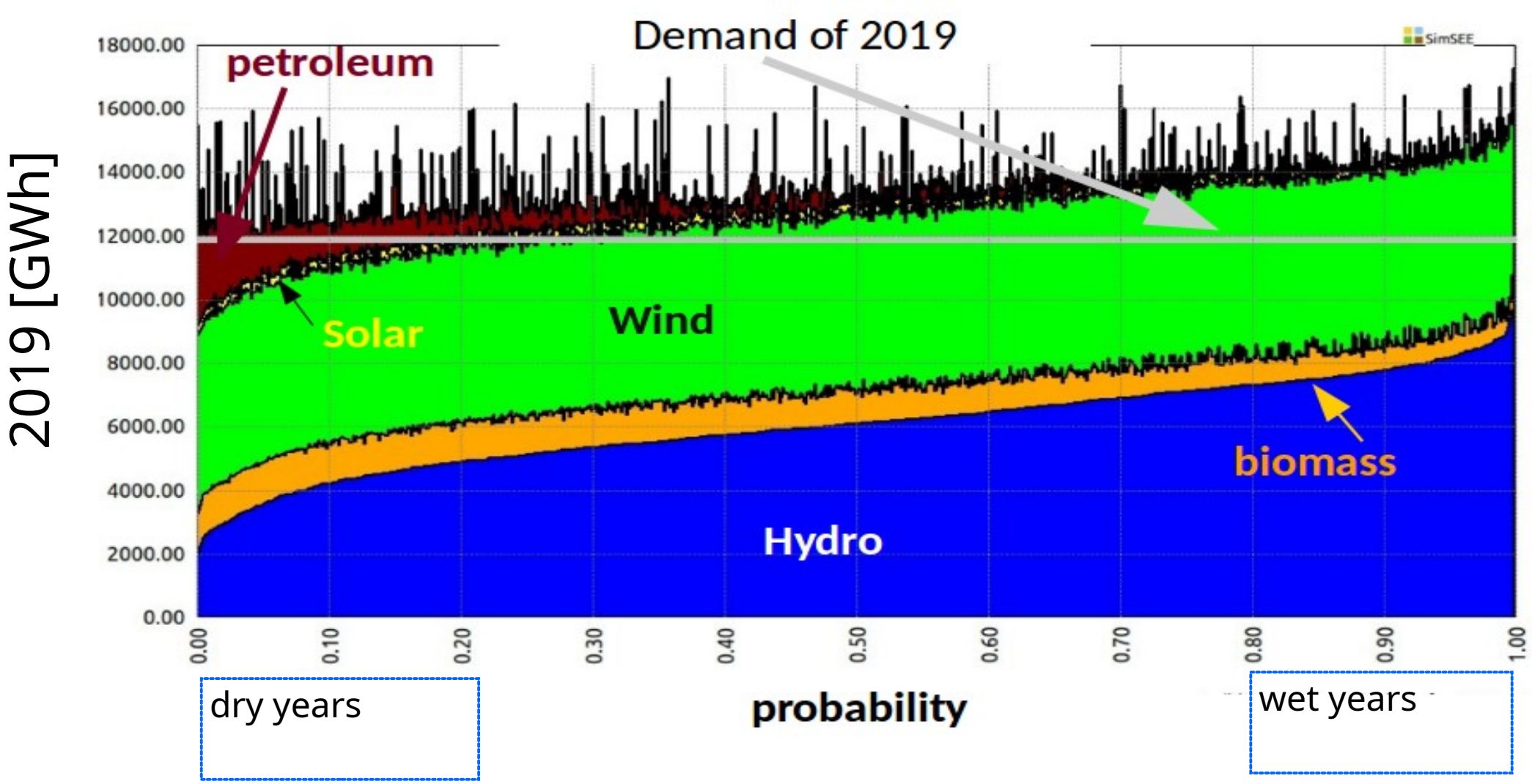



Source: ADME - SCADA ten-minute time series

Representación de la incertidumbre.

# Hydroelectric annual variability in Uruguay




*Source:* The risk images are from the IIE studies carried out in 2018 respectively.

# Operador Sin Pronósticos.

# Operador Con Pronósticos.

# Representation of uncertainty.

## Sources of randomness
## Stochastic processes

- Demand and temperature
- Flows of water contributions
- Wind speed
- Solar radiation
- Price of interconnected markets
- Fuel prices
- Availability of fuels
- Availability of generating plants
- Availability of transport lines

El Niño, Hydro, Wind, Solar, Demand, Temperature.
(correlated processes)

Equipment availability
(independent booleans)

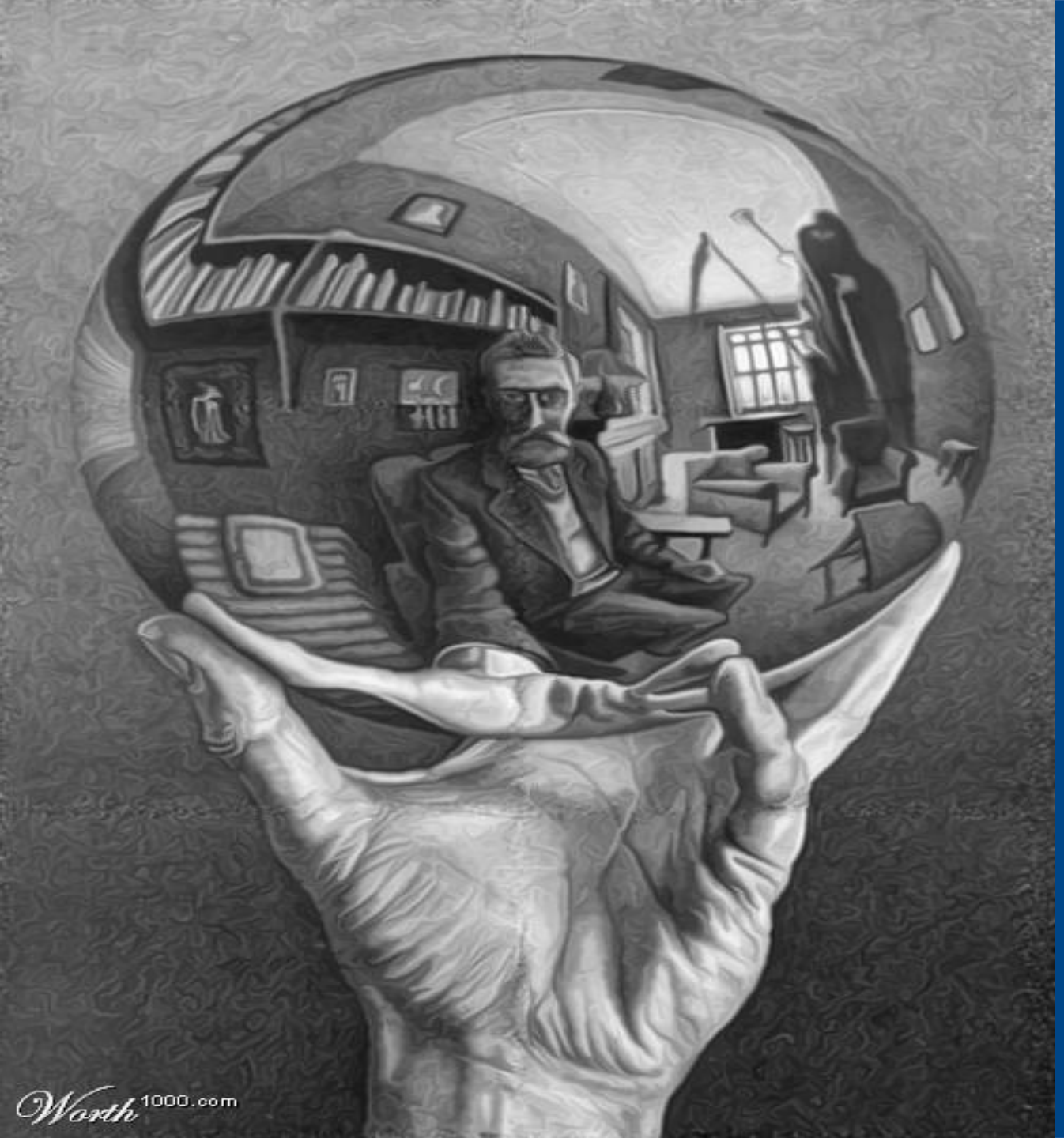
We are managing faster dynamics, therefore, the correlation between the different resources has greater importance.

We need models of variability that correctly represent the correlation between resources and the correlation with the past.

That is, we have to represent the inertia behind the stochastic variables.

# Disponiblidad de Generadores, líneas de transmisión, etc.

- Si no representamos el estado de Disponible/Indisponible, con pasos de tiempo de simulación pequeños, el efecto de la Inercia del proceso de Rotura/Reparación es subestimado.
- Cada unidad representada agrega una variable de estado booleana.




# Modelos CEGH.

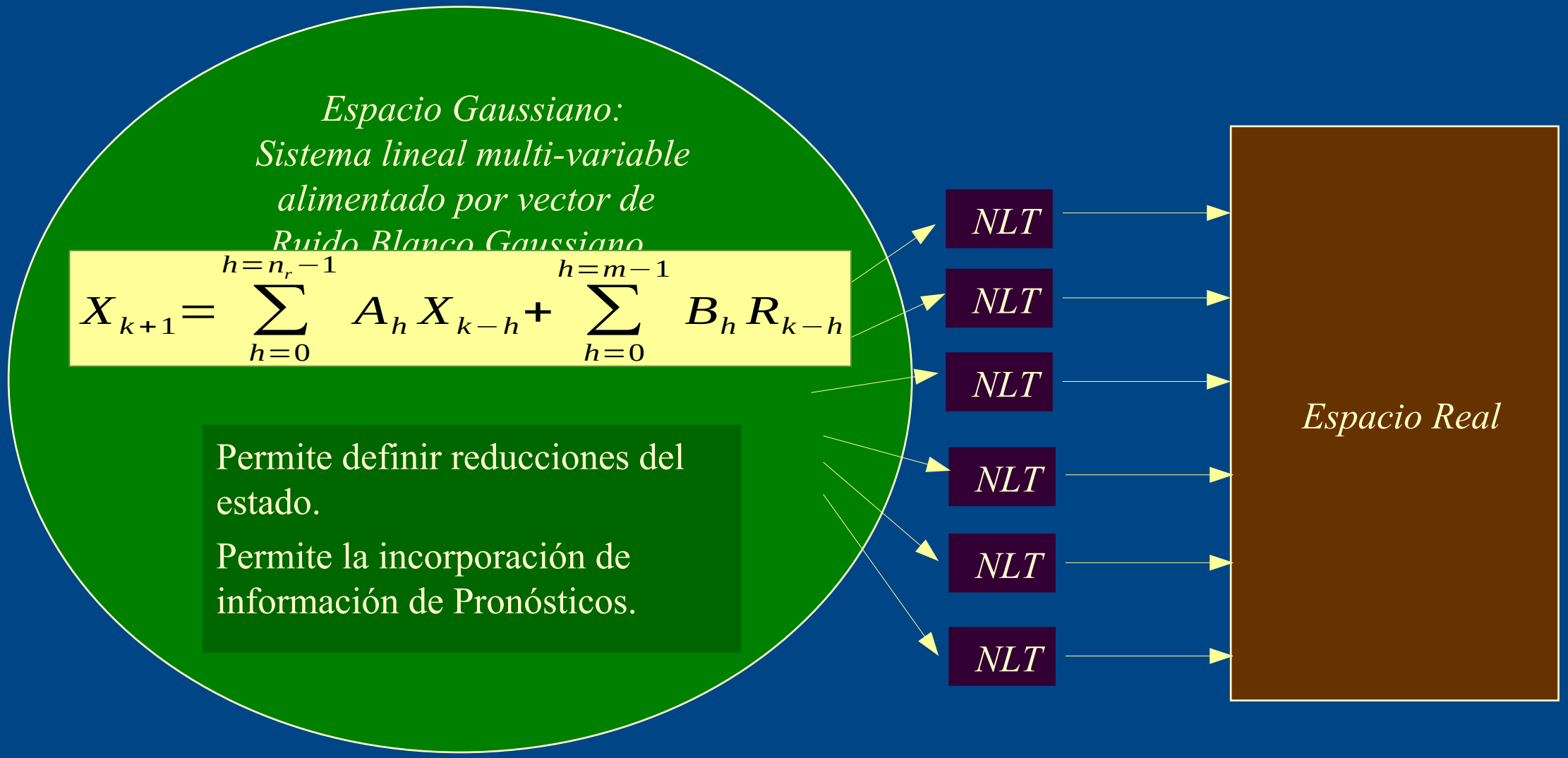
- Conservan histogramas de amplitudes.
- Conservan correlaciones.

*Mundo Real*

*TNL (lentes)*

*Mundo Gaussiano*

# Modelos CEGH.



# Operador Con Pronósticos.

# Modelo CEGH

## Correlaciones en Espacio Gaussiano con Histograma.

Datos Reales

$TNL$

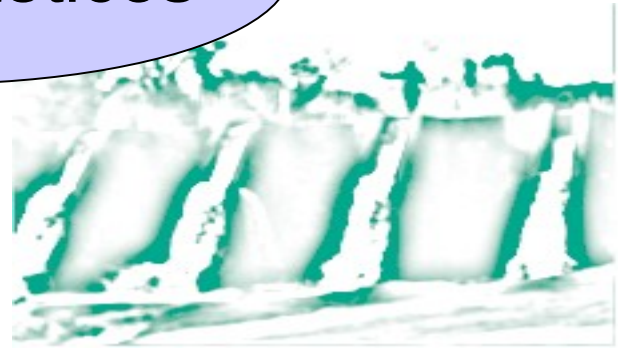
Mundo G

Identificación

Mundo GS

$TNL^{-1}$

Datos Sintéticos

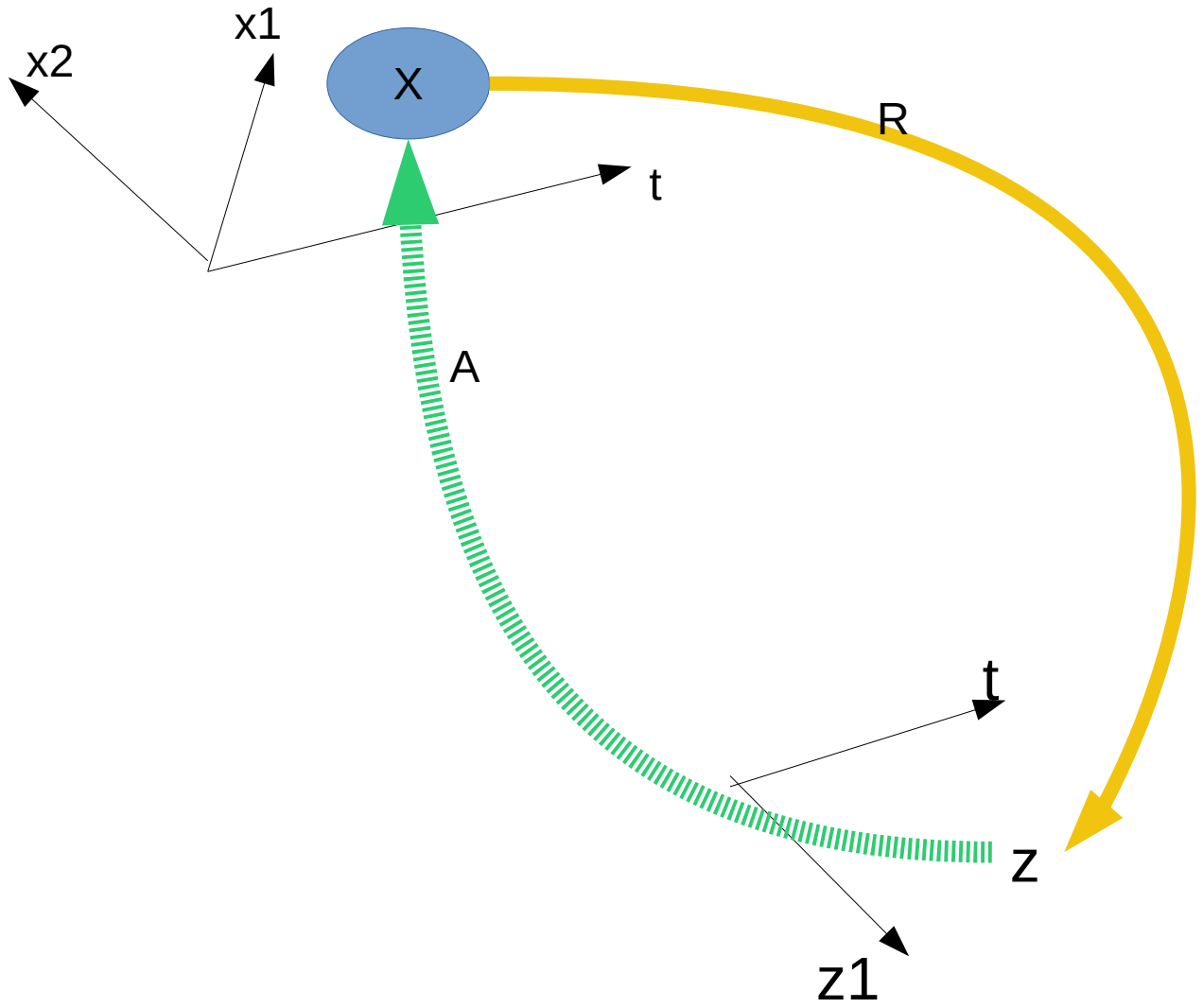


# Maldición de Belman.

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

$$Dim(u) \times Dim(x) \times Dim(r) \times Dim(k)$$

# Reducción del Espacio de Estado en modelos CEGH



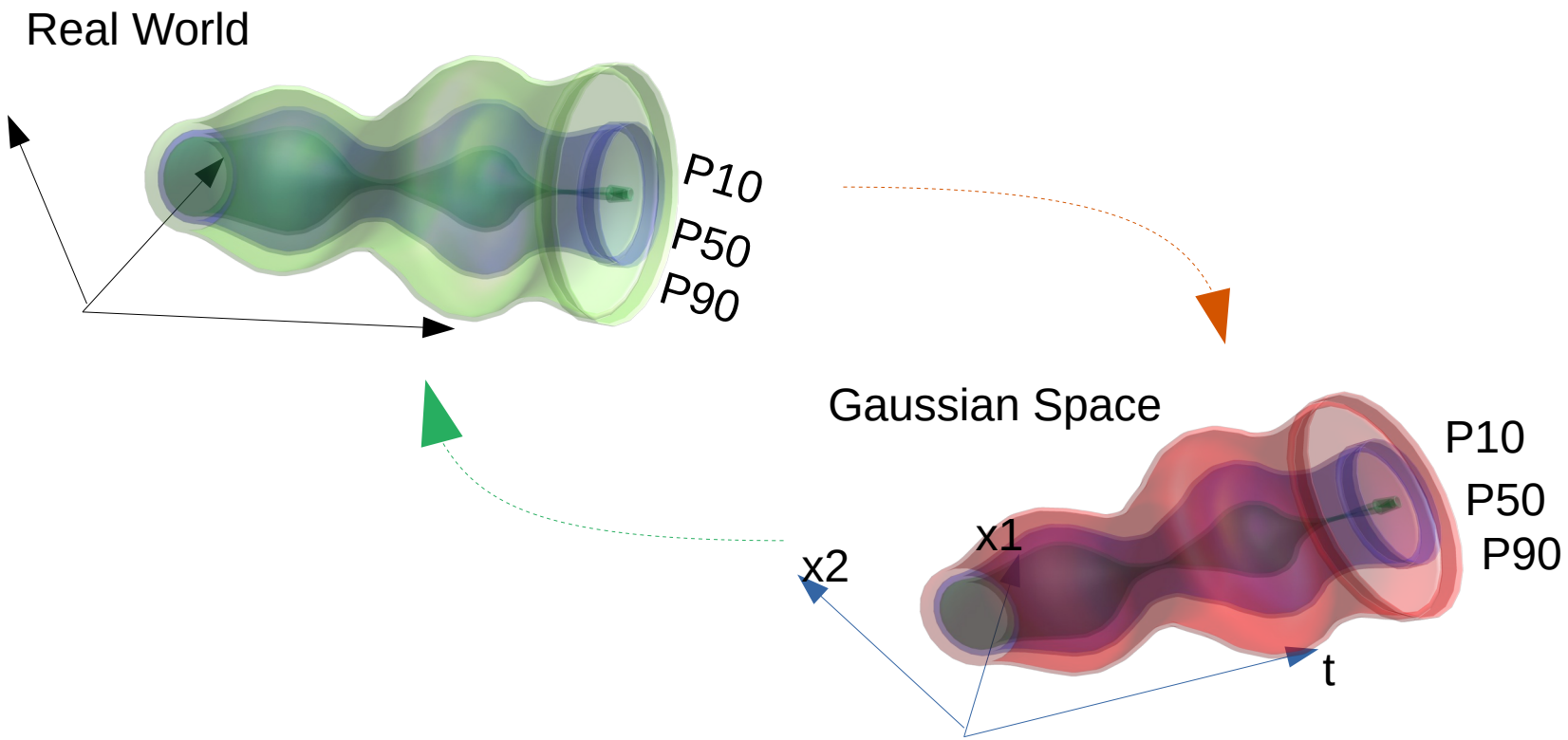

$$z = R(X)$$

$$u = PO_z(z, r, t)$$

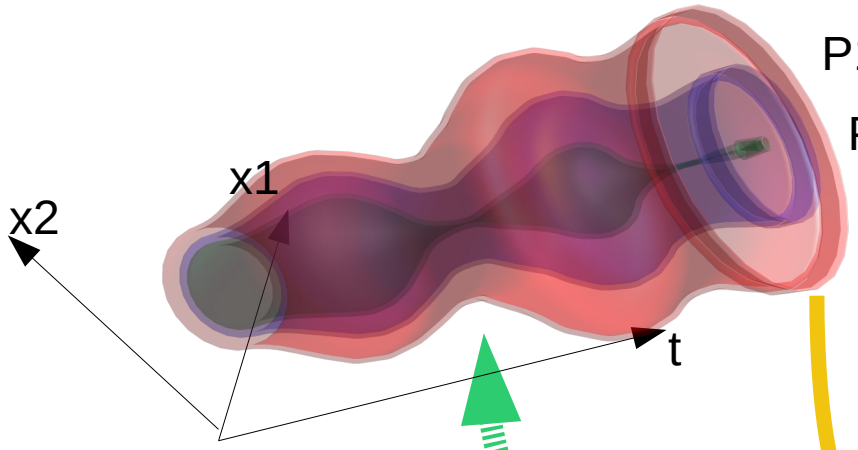
$$X = A(z, w)$$

W es el ruido que permite poblar el volumen de X que mapea en el z dado.

# Treatment of forecasts in CEGH modeling.
# Gaussianization



# Treatment of forecasts in Gaussian space with reduction in CEGH modeling.



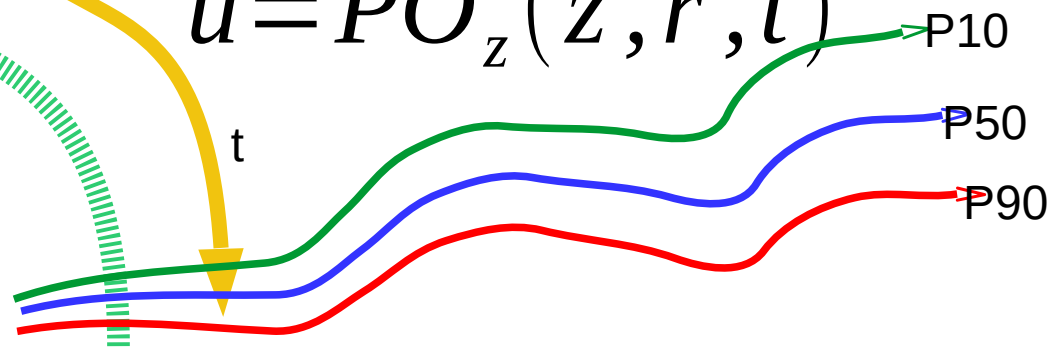

R

$$z = M_R X$$

A

$$X = M_A(t)\, z + B_A(t)\, w$$

$$u = PO_z(z, r, t)$$



z1

# Ease integration of FORECASTS in CEGH modeling.

$$X_{k+1} = \sum_{h=0}^{h=n_r-1} A_h X_{k-h} + S_k + F_k \sum_{h=0}^{h=m-1} B_h R_{k-h}$$

biases:

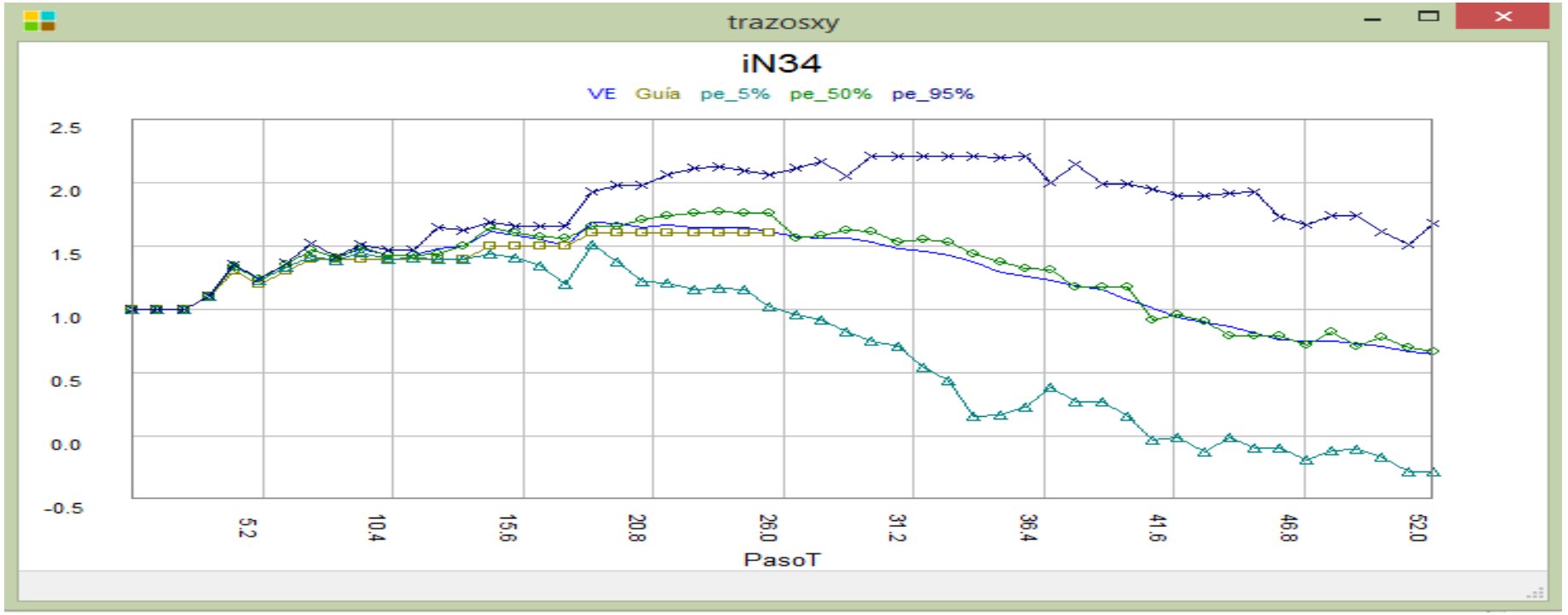
$$S_k = \begin{bmatrix} s_{1,k} \\ \dots \\ s_{n,k} \end{bmatrix}$$

attenuators:

$$F_k = \begin{bmatrix} f_{1,k} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & f_{2,k} & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & f_{n,k} \end{bmatrix}$$

The biases (S) change the 50% probability guide and the attenuation factors (F) regulate the noise injection, allowing to go from a Deterministic Forecast (F = 0 = null noise) to the disappearance of the forecast (S = 0; F = 1 =historical noise).

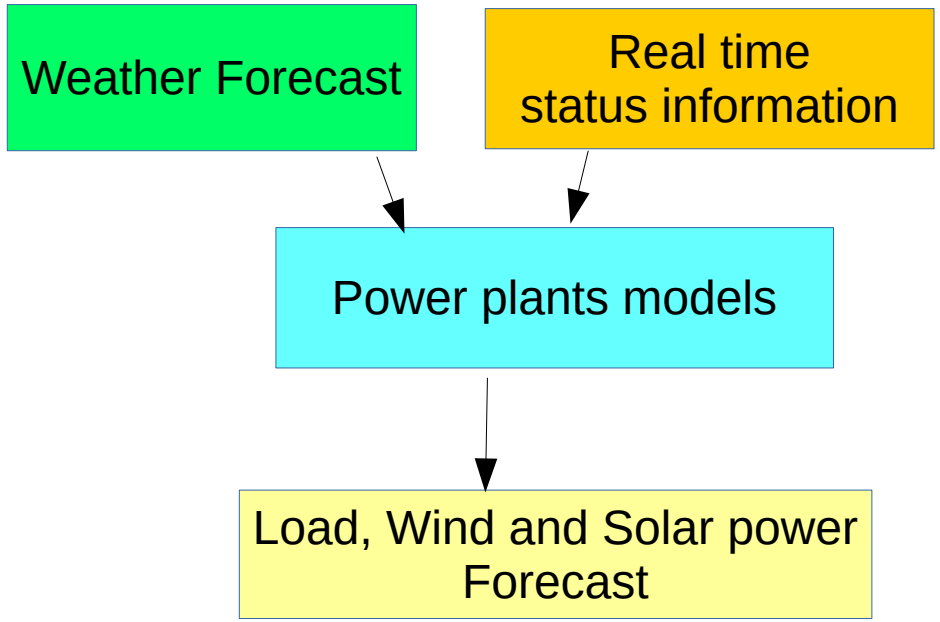
# Incorporación de iN34 a la Programación Estacional



# PRONOS-1
# 2016-2017

Fundación Julio Ricaldoni
INGENIERIA EN EL URUGUAY

CAF BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA LATINA




https://pronos.adme.com.uy
https://pronos.adme.com.uy/svg/

# VATES

Continuous forecast of the next 168 hours of optimal operation.

https://vates.adme.com.uy

# SimSEE

## Diseño e Implementación

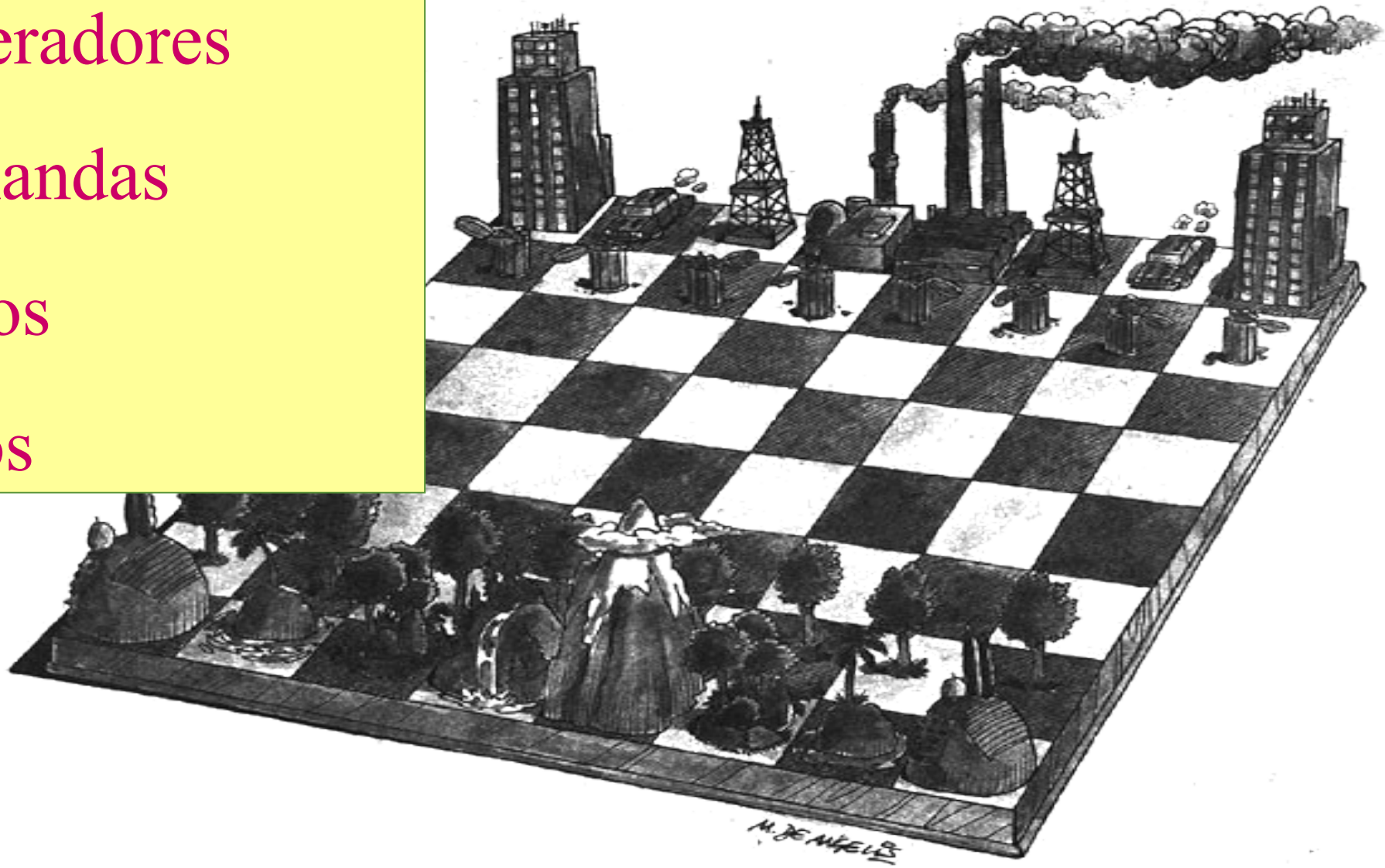
SimSEE

# 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??)

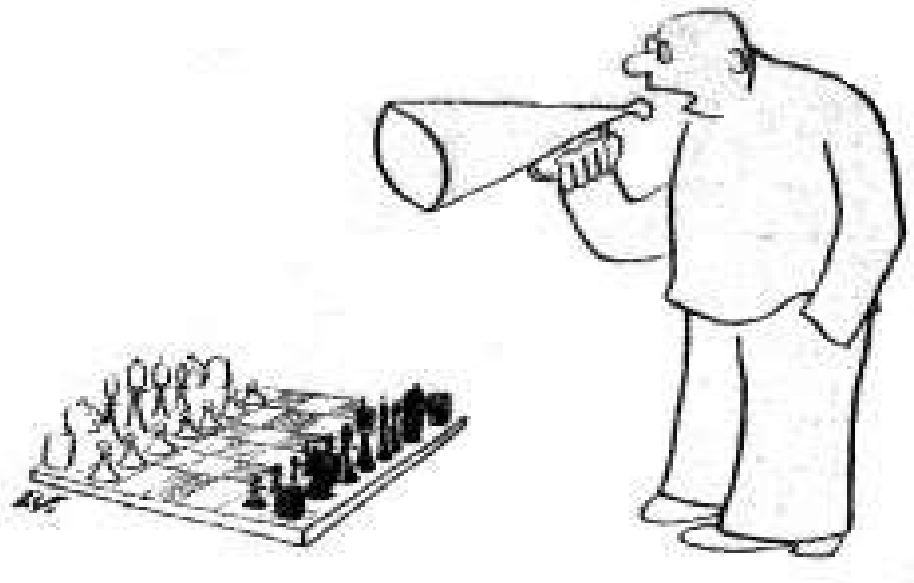
Repetir para cada paso:

<evSorteosDelPaso >

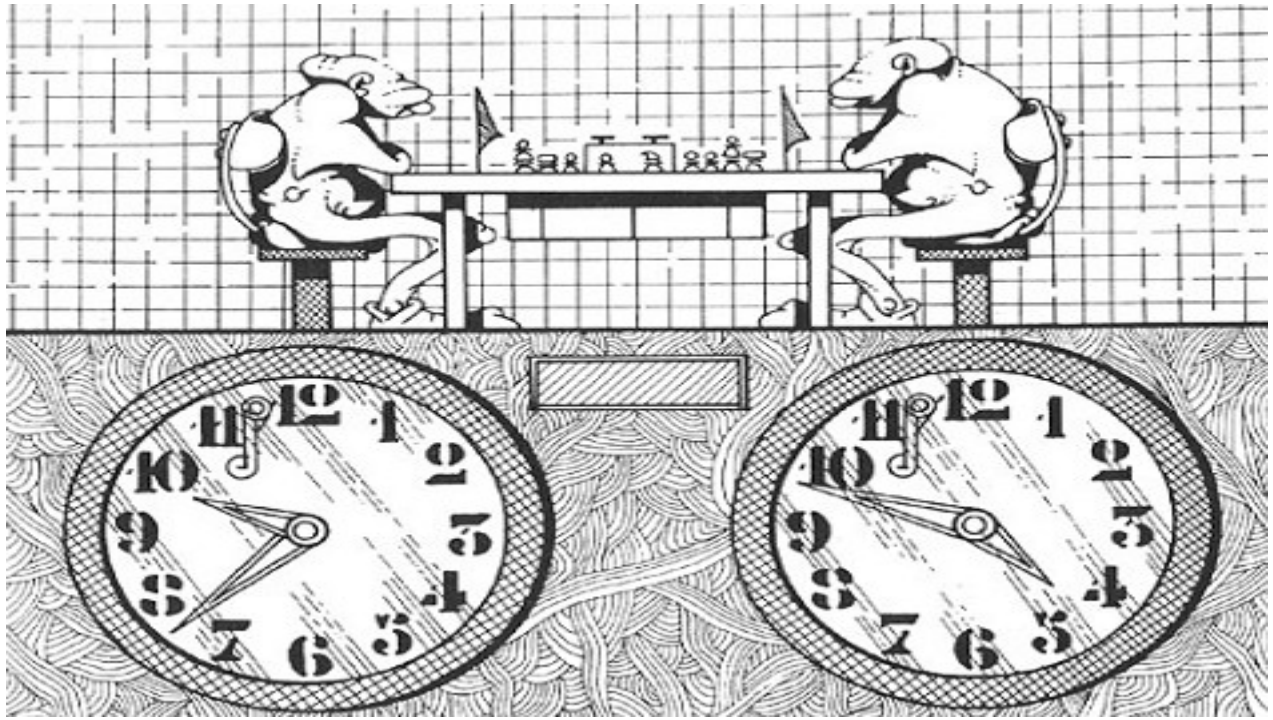
< evCargarProblema >

Resolver el despacho

< evLeerResultados >

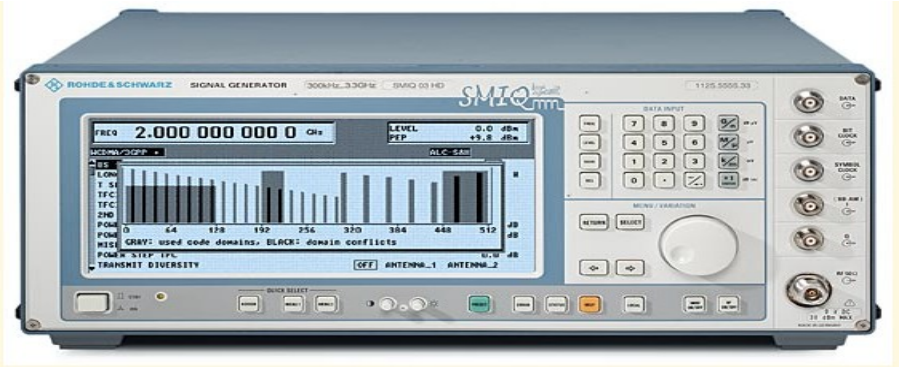


# Parámetros dinámicos.



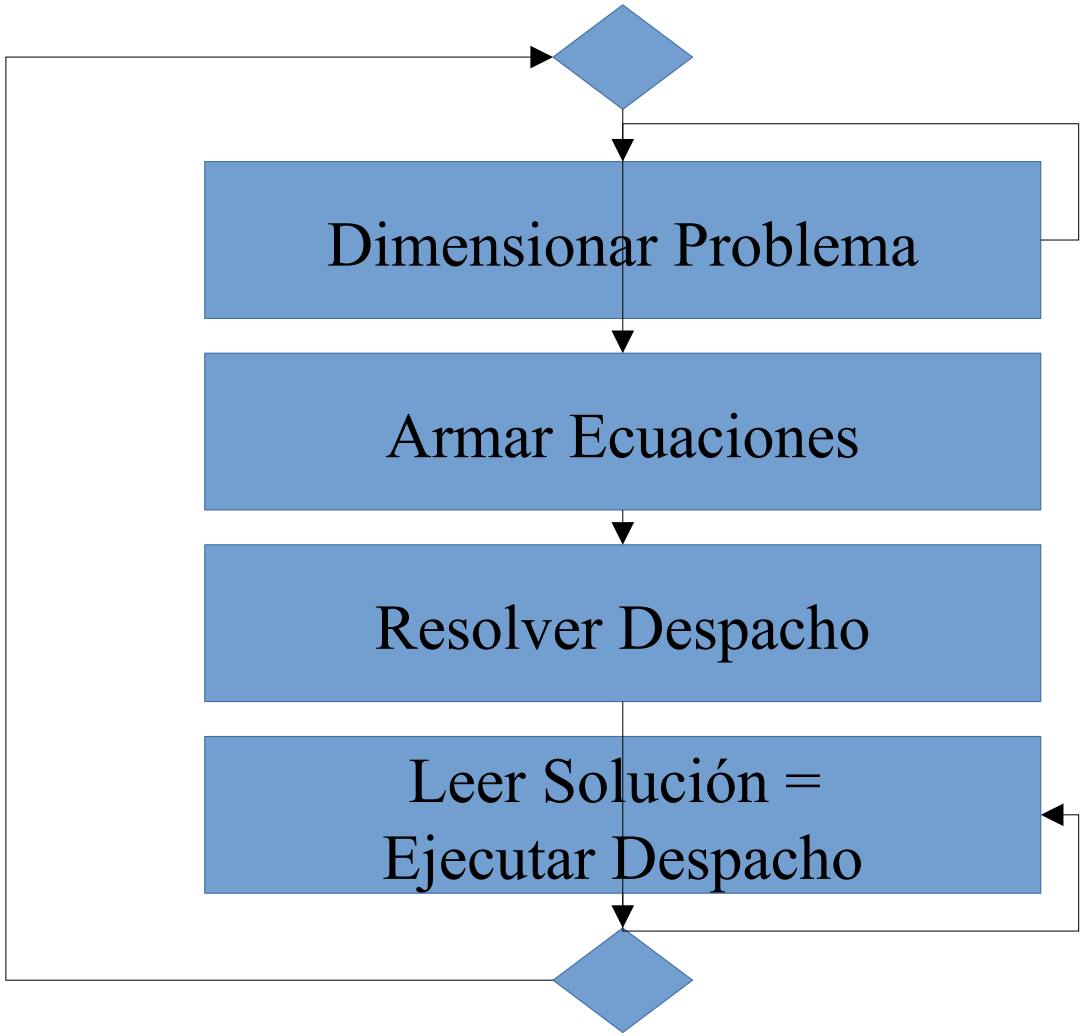
# Fuentes de valores

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



# Implementación de SimSEE

En cada paso de tiempo hay que:



# Resolución de un paso

$$\max_{x}\left( - \sum_{j=1}^{j=nv} c_j \cdot u_j \right)$$

$$sujeto\ a:$$

$$RD_i): \sum_{j=1}^{j=nv} a_{ij} \cdot u_j + b_i \geq 0 ; i = 1..NRD$$

$$RI_l): \sum_{j=1}^{j=nv} a_{lj} \cdot u_j + b_l = 0 ; l = 1..NRI$$

# Tabla del problema.

| | | 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 | | |

m= NRD+NRI

Tipo de restricción (Desigualdad o Igualdad ).
Restricciones de caja.

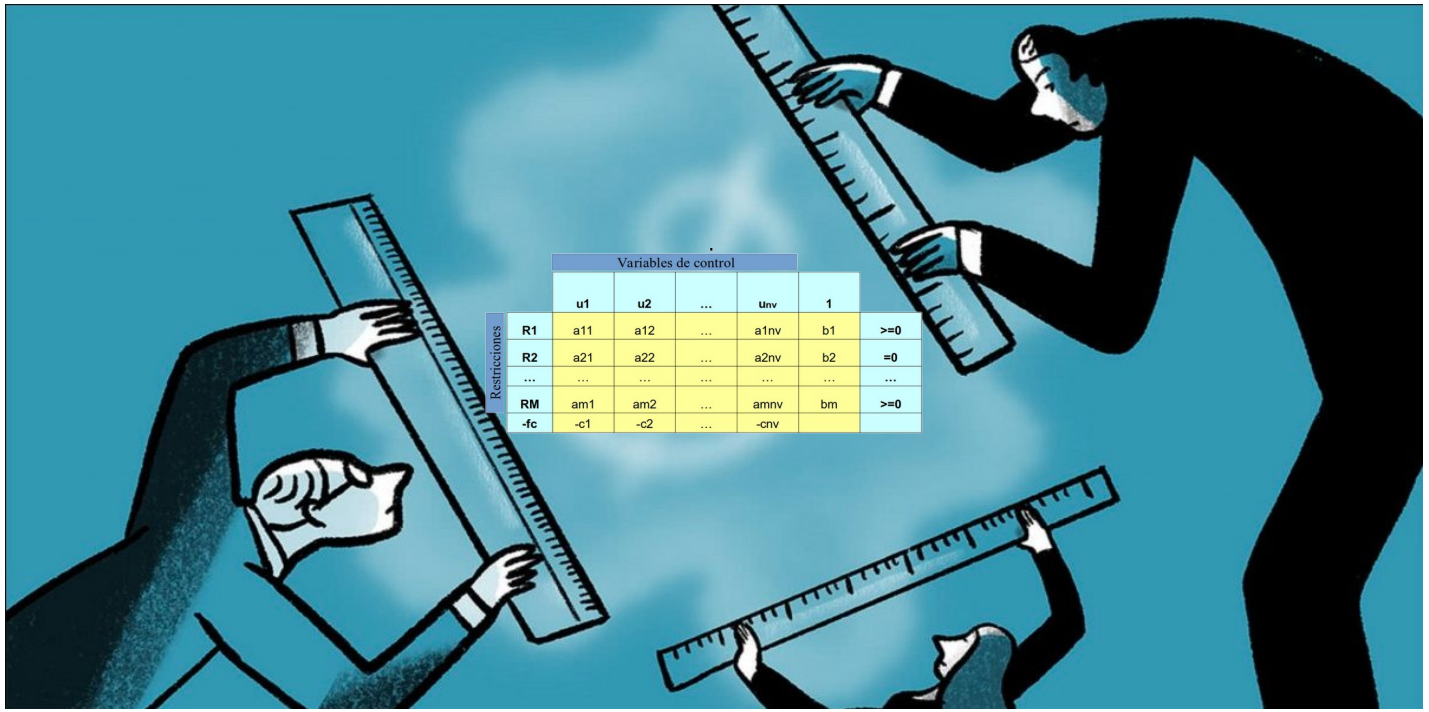
# Implementación COLABORATIVA de los Actores para cargar un TSimplex.

# Dimensionado

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

# Dimensionado del MIPSimplex

- Ponemos el índice de variables y de restricciones en UNO y llamamos a cada actor pasándole dichos índices para que cada actor guarde el valor de los mismos en el momento y que los incremente en la cantidad de variables y restricciones.
- De esa forma, además de tener la dimensión del problema, logramos que cada Actor sepa el lugar de inicio de sus variables y sus restricciones en la tabla del problema.



# El código

```
ivar:= 1;  // índice de variables de control
ires:= 1;  // índice de restricciones adicionales
ivae:= 1; // índice de variables enteras

for k:= 0 to high(actores) do
      actores[k].opt_nvers( ivar, ivae, ires );
```

# Recorrida de carga del MIPSimplex

Variables de control

| Restricciones | u1 | u2 | … | unv | 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| R1 | a11 | a12 | … | a1nv | b1 | >=0 |
| R2 | a21 | a22 | … | a2nv | b2 | =0 |
| … | … | … | … | … | … | … |
| RM | am1 | am2 | … | amnv | bm | >=0 |
| -fc | -c1 | -c2 | … | -cnv | | |

# Acceso a la matriz del Simplex

- s.pon_e( kFil, jCol, val )
- s.acum_e( kFil, jCol, val )

| | | 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;
```

# Modelo de máquina con mínimo técnico.

SimSEE

# 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)

$$c = co \cdot A + \sum_j cv \cdot B_j$$

Aporte a la función de costo

# Modelo de máquina con mínimo técnico. ON/OFF por poste

- Variebles de control

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

$$B_j = (P - P_{mín})$$

$$0 \leq B_j \leq P_{máx} - P_{mín}$$

- 2*NPOSTES

- Cargado de la matriz

$$P_j = B_j + P_{mín} \cdot A_j$$

- Aportes a las restricciónes del nodo

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

- Restricciónes adicionales (NPOSTES)

$$c = \sum_j co \cdot A_j + \sum_j cv \cdot B_j$$

- Aporte a la función de costo

# https://simsee.org/downloads.html

Si desea compilar usted mismo los binarios, debe:

1) instalar el entorno de desarrollo Lazarus Pascal ( https://www.lazarus-ide.org/ ).

2) bajar los fuentes del repositorio:

svn checkout svn://svn.code.sf.net/p/simsee/src/trunk {$HOME}/SimSEE/SimSEE_src/src/trunk

3) ejecutar el script makeall.bat o makeall.sh (según esté en Windows o Linux) que se encuentra en la carpeta

{$HOME}/SimSEE/SimSEE_src/src/trunk