

DESPACHO ECONÓMICO DE LAS CENTRALES ELÉCTRICAS

**FUNDAMENTOS DE LA DES-REGULACIÓN EN EL SECTOR
ELÉCTRICO**

**Curso de Actualización Profesional dictado en al UNSA, abril 2006
Arequipa – Perú**

Ing. Wilfredo Sifuentes R.

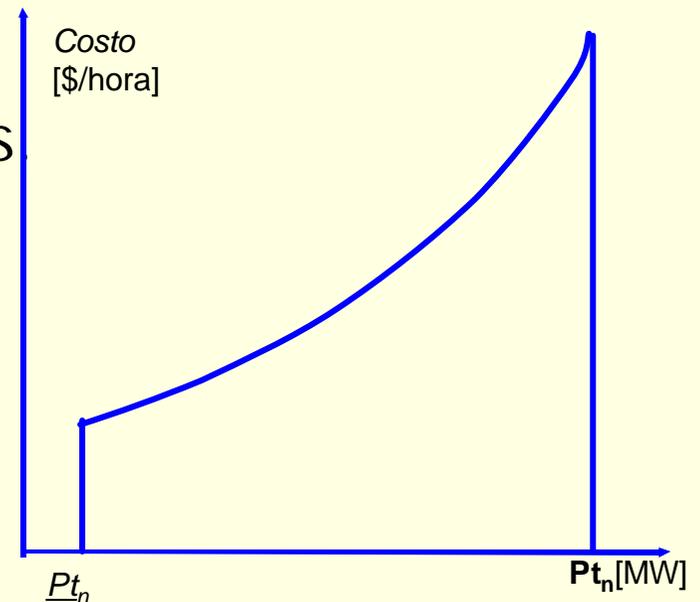
CENTRALES TÉRMICAS

Aprovechan los recursos no renovables, por lo cual poseen un costo de generación mayor.

Estos costos involucran el costo de arranque, el costo de parada y el costo por consumo de combustible.

Sus principales restricciones técnicas

- ◆ Potencia mínimas y máximas.
- ◆ Tiempo mínimo de operación.
- ◆ Tiempo mínimo de re-arranque.



Introducción

Problema clásico del despacho de un sistema eléctrico

Función Objetivo :

1. Costo variable unidades térmicas.
2. Costo de Arranque unidades térmicas.
3. Compra por la interconexión.
4. Costo racionamiento.

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T \left(\sum_{n=1}^N f(p_{n,t}) \right)$$

Restricciones:

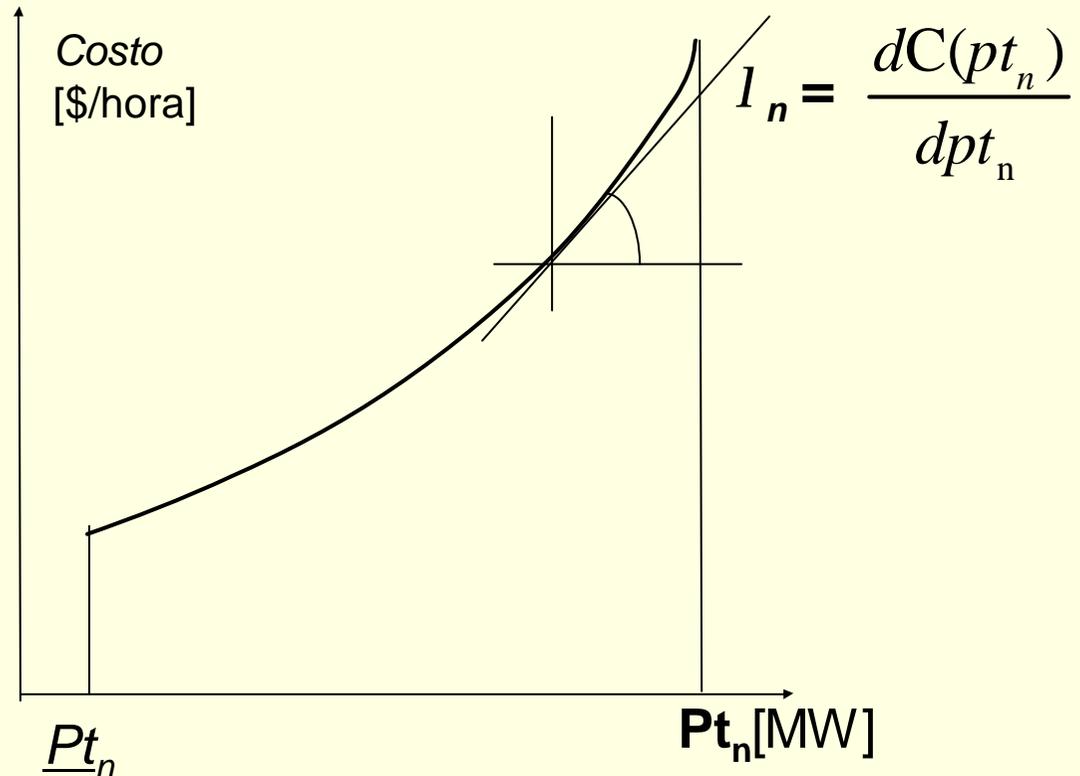
1. Balance nodal (**Flujo de potencia**)
2. Restricciones de los generadores
3. Límites operativos (**ejm. Capacidad de líneas de transmisión**).
4. Restricciones de los sistemas hidráulicos
5. Reserva rotante.
6. Otros.

Introducción

Considerando solo unidades térmicas en barra única se demuestra que:

Todas las unidades despachadas tiene que trabajar al mismo costo incremental

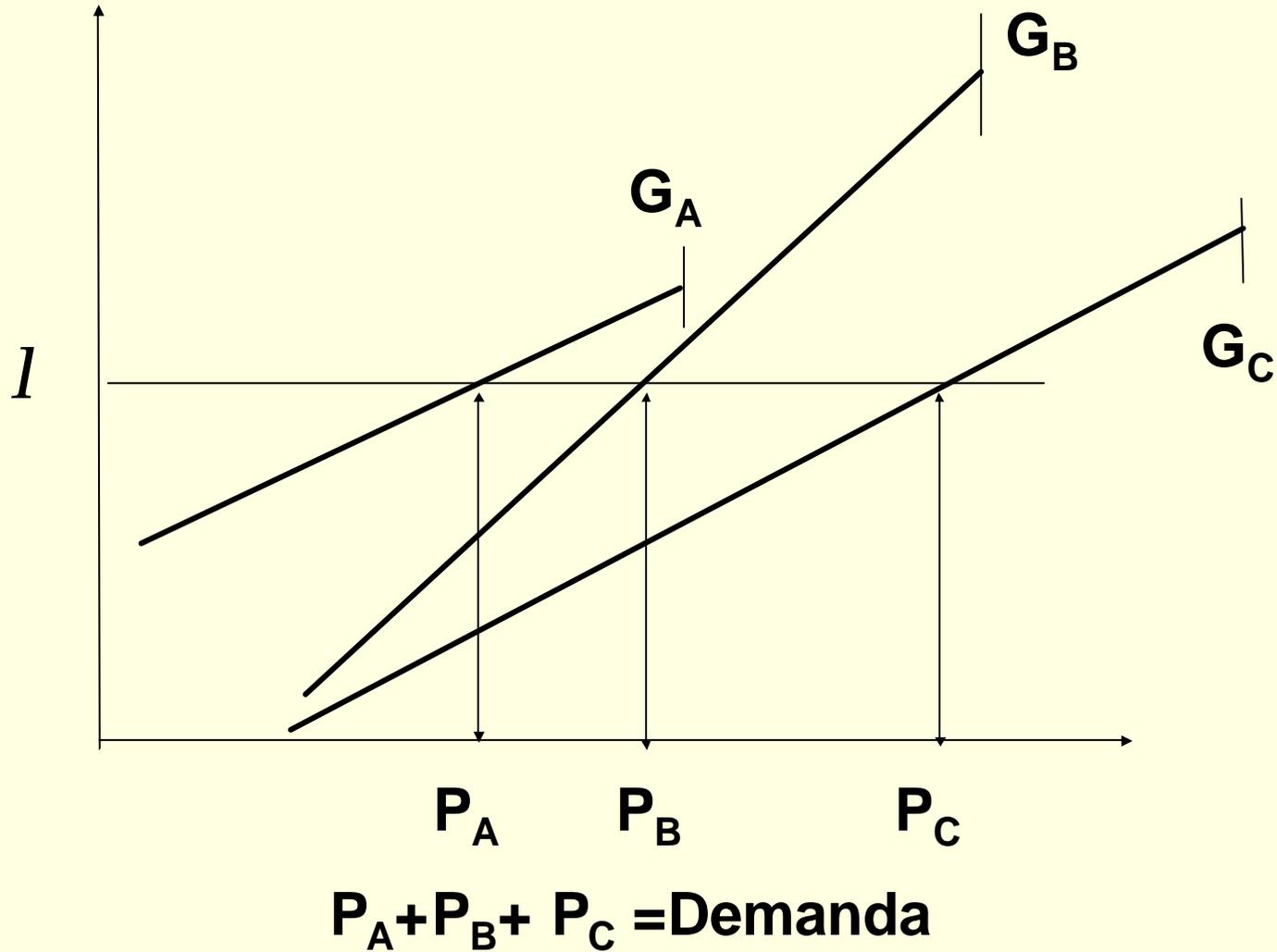
Este costo es conocido como el *costo marginal del sistema* (\$/MWh)



El *costo marginal* representa el incremento en el costo operativo total en el sistema ante un incremento de un MWh de demanda

Introducción

Ejemplo de Operación de unidades térmicas



Introducción

FUNCIÓN LAGRANGIANA

LA **FUNCIÓN LAGRANGIANA** SE CONSTRUYE INCORPORANDO A LA FUNCIÓN OBJETIVO LAS RESTRICCIONES DE COMPLICACIÓN MEDIANTE UN VECTOR DE MULTIPLICADORES

$$\mathbf{L}(\mathbf{I}, x) = f(x) + \mathbf{I}^T h(x)$$

COMUNMENTE SE FORMULA
LA FUNCIÓN DUAL

$$\Phi(\mathbf{I}) = \min_x \mathbf{L}(x, \mathbf{I})$$

... Y SE RESUELVE EL PROBLEMA DUAL $\text{Max}_{\mathbf{I}} \Phi(\mathbf{I})$

El PD trata de maximizar el Lagrangeano con respecto a los multiplicadores de Lagrange mientras que minimiza la función con respecto a las variables x

$$\text{PD} = \max_{\mathbf{I}} \left\{ \min_x \mathbf{L}(x, \mathbf{I}) \right\}$$

Introducción

Mercados eléctricos basados en oferta de precios

El lagrangiano original tiene la siguiente forma

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T \left(\sum_{n=1}^N f(pt_{n,t}) - \lambda_t \left(\sum_{n=1}^N pt_{n,t} - D_t \right) \right)$$

Donde el término de la derecha corresponde al balance de potencia por periodo horario.

Al resolver el P.D. (se va ajustando el valor de lambda para maximizar el problema dual) se tiene el siguiente subproblema de optimización:

$$\text{Min}_{pt} \sum_{n=1}^N \left(\sum_{t=1}^T \left(f(pt_{n,t}) - \tilde{\lambda}_t \cdot pt_{n,t} \right) \right)$$

Las constantes $\tilde{\lambda}_t \cdot D_t$ **salen fuera del proceso de optimización**

Introducción

Mercados eléctricos basados en oferta de precios

El subproblema de optimización anterior también puede ser expresado como:

$$\text{Max}_{pt} \sum_{n=1}^N \left(\sum_{t=1}^T \left(\tilde{I}_t \cdot pt_{n,t} - f(pt_{n,t}) \right) \right)$$

Como solo se consideró una sola restricción "dura", este subproblema se vuelve separable → Un problema de maximización por cada generador existente.

$\tilde{I}_t \cdot pt_{n,t}$ •Corresponde al ingreso por ventas de energía del generador n.

$f(pt_{n,t})$ •Costo operativo para producir esa energía del generador n.

Para un lamda dado, cada generador busca maximizar individualmente sus beneficios (**modelo descentralizado**)

Introducción

Mercados eléctricos basados en oferta de precios

La solución de este problema tiene una interpretación simple y elegante:

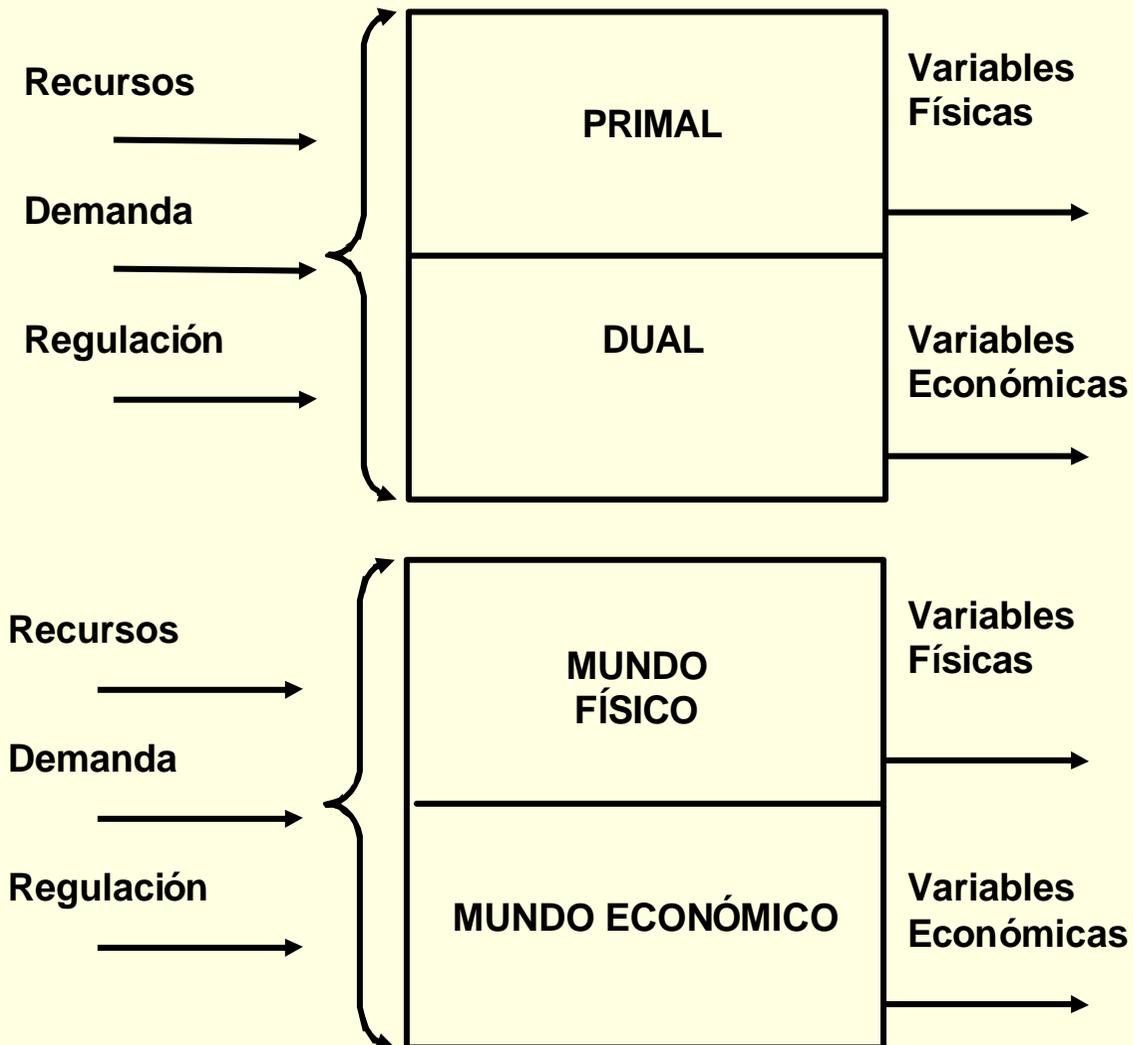
- El Coordinador del Despacho va ajustando el valor del precio de la energía conforme lo necesite para cumplir con el balance de potencia.
- En base a este valor, cada agente del mercado (generadores) ajusta sus niveles de generación para maximizar sus beneficios.

Actualmente se prefiere este enfoque por que el proceso de determinación de precios es transparente (**competencia**) a diferencia de un esquema de despacho centralizado donde el precio sale de un modelo.

→ **Cuidado!!! No siempre se cumplen los requisitos para la competencia "perfecta".**

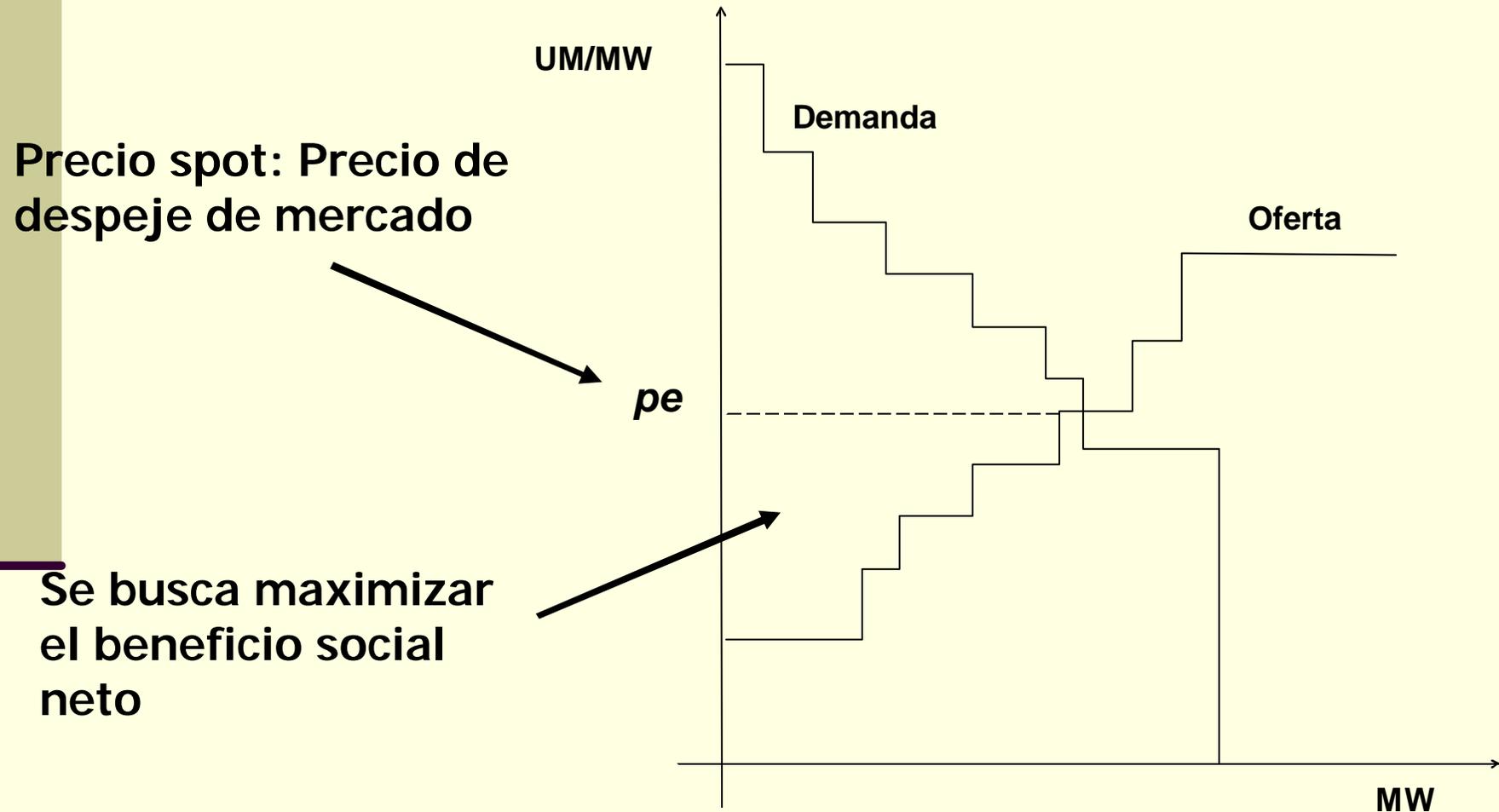
Introducción

Mercados eléctricos basados en oferta de precios



Introducción

Mercados eléctricos basados en oferta de precios



Precio spot: Precio de despeje de mercado

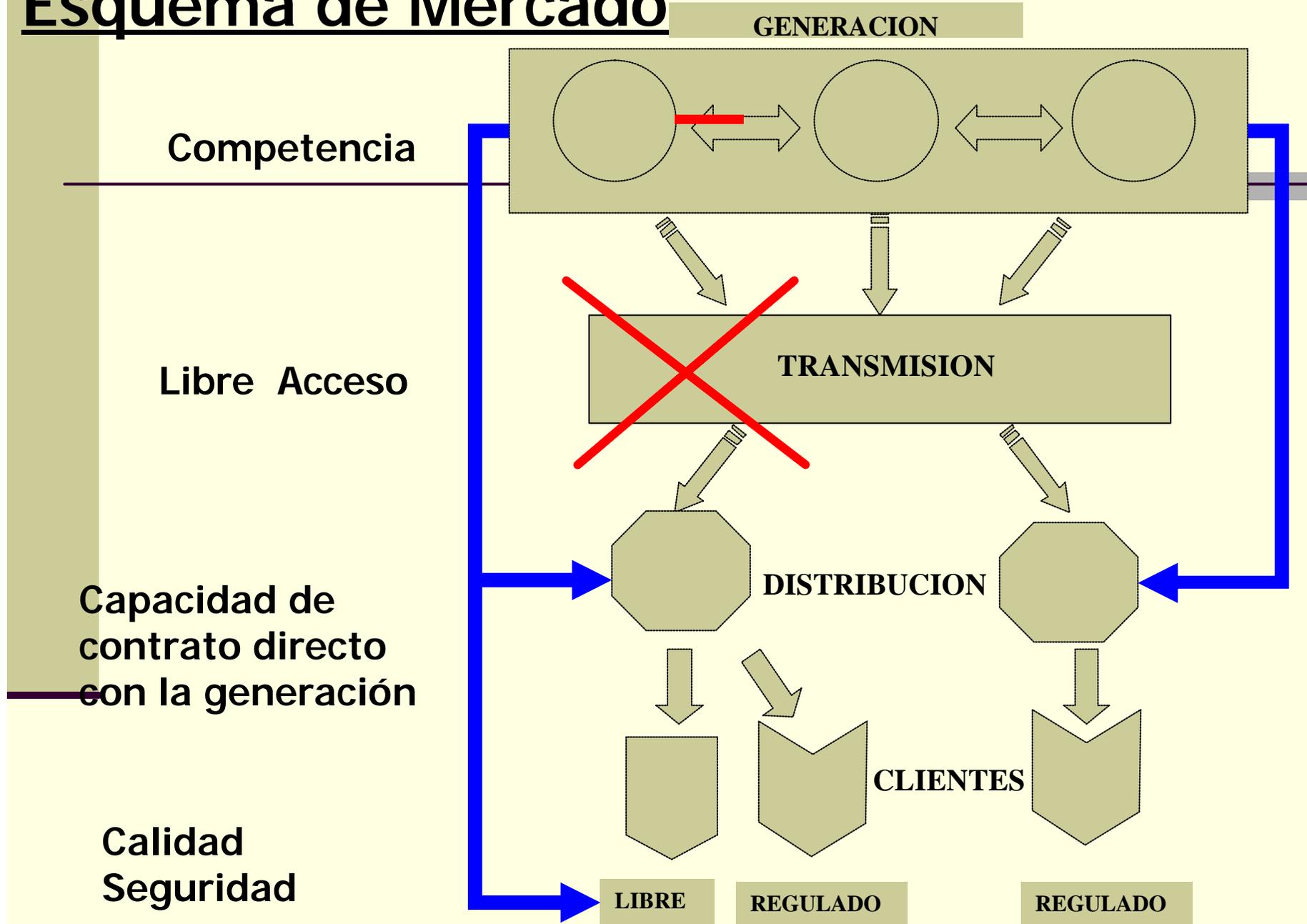
pe

Se busca maximizar el beneficio social neto

MW

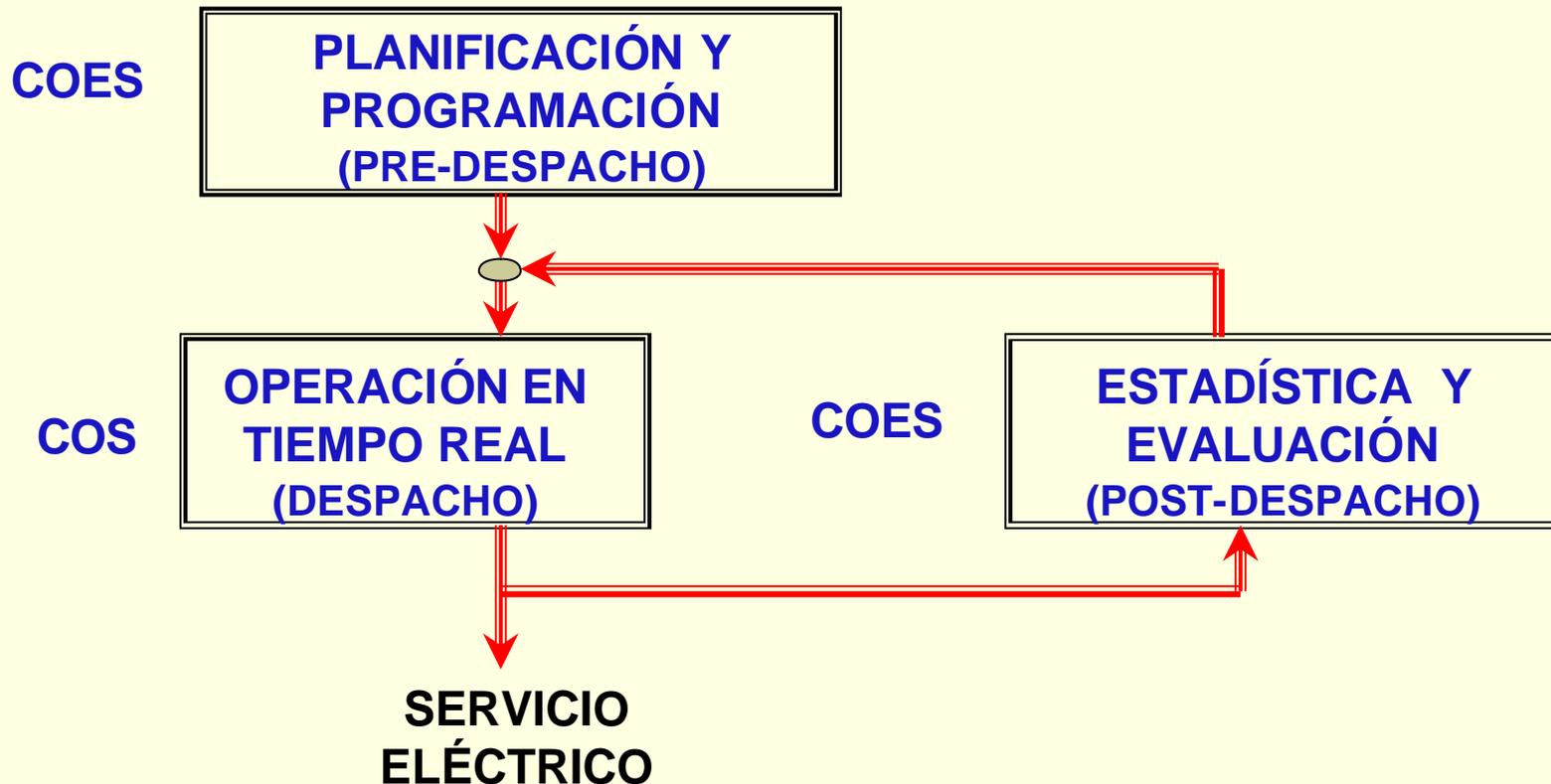
En teoría este precio debería ser igual al costo marginal

Esquema de Mercado



LA OPERACIÓN DEL SISTEMA INTERCONECTADO

ETAPAS DE LA OPERACIÓN



COES : Comité de Operación Económica del Sistema.
COS : Coordinador de la Operación del Sistema.

Ecuador

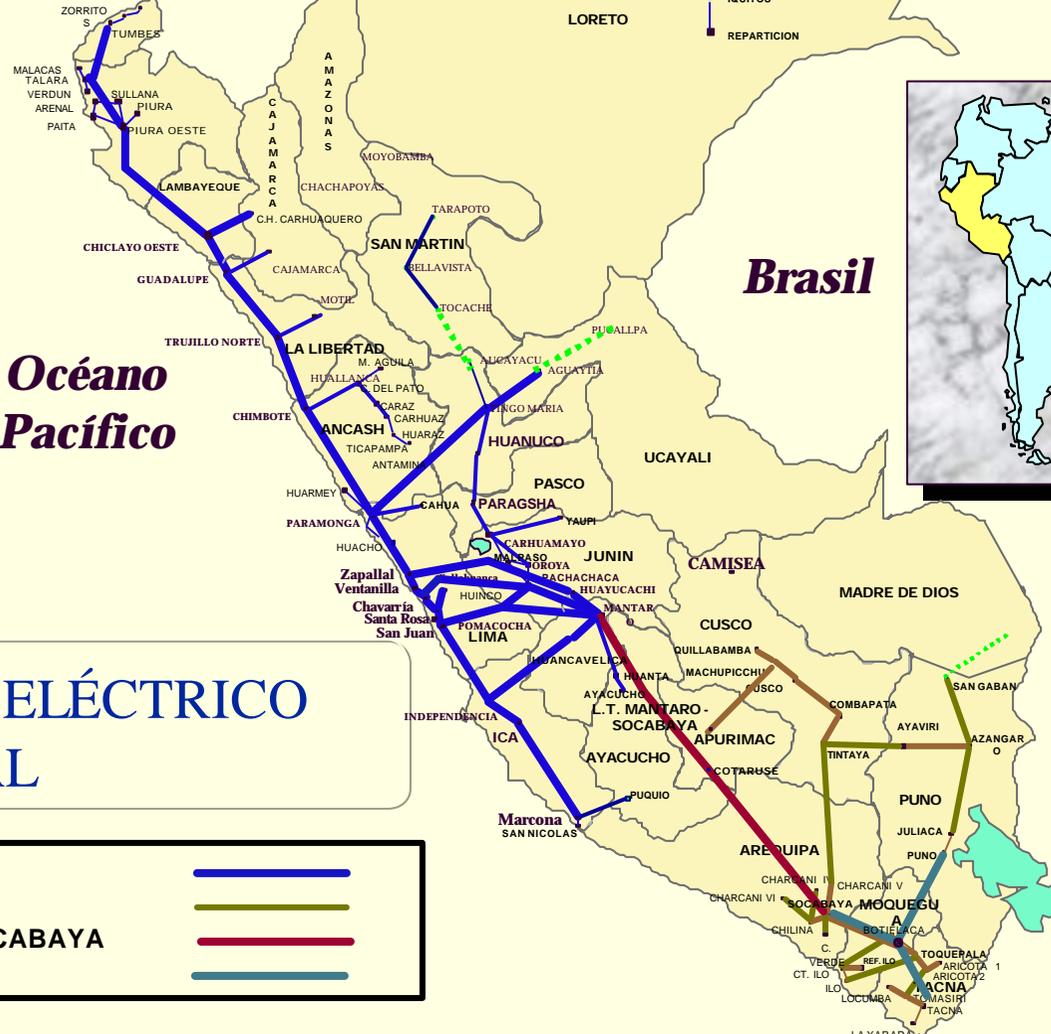
Colombia

Brasil

**Océano
Pacífico**

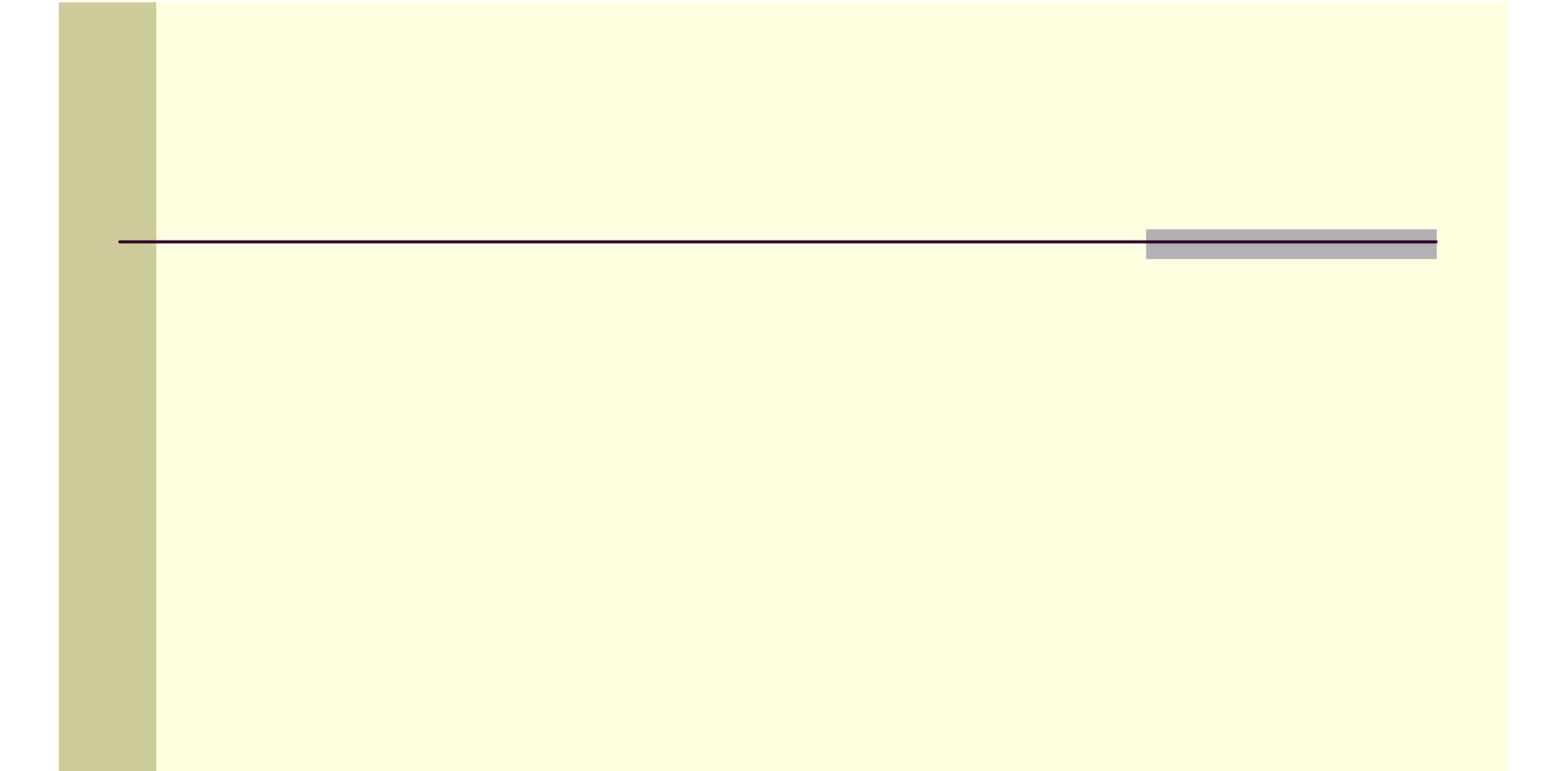
**B
o
l
i
v
i
a**

Chile



**SISTEMA ELÉCTRICO
NACIONAL**

SICN	
SISUR	
LT. MANTARO-SOCABAYA	
LT. REDESUR	



Gracias