

Projecte de tesis:

Modelització i optimització de l'oferta a curt termini d'una companyia de generació al MIBEL

Doctoranda: Cristina Corchero

Director: F. Javier Heredia

Departament d'Estadística i Investigació Operativa

Universitat Politècnica de Catalunya

18 de gener de 2006

1- Introducció

- 1- Mercat Elèctric Espanyol
- 2- Llibre Blanc i Mercat Iberic Energia Electrica

2- Estat de l'art

- 1- Conceptes generals
- 2- Planificació generació a curt termini en entorns competitius
- 3- Modelització mitjançant Programació Estocàstica
- 4- Treballs destacats

3- Objectius de la tesi

- 1- Objectiu principal
- 2- Objectius específics

4- Treball realitzat

- 1- Problema del període òptim d'oferta setmanal
- 2- Problema d'oferta òptima per al mercat diari
- 3- Detall modelització
- 4- Cas en estudi
- 5- Discussió

5- Pla de treball

Liberalització Mercat Elèctric Espanyol

Marc Legal Estable



Llei 54/1997 del
Sector Elèctric

Mercat Elèctric Espanyol

Programa Diari Funcionament
Preu Venda Energia

} resultat procés de cassació mercat

Tipus d'Activitats i Agents del Mercat Elèctric Espanyol

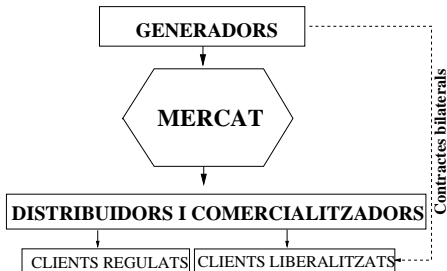
Tipus activitats:

► Regulades:

- Transport
- Distribució

► Liberalitzades:

- **Generació**
- Venda



Reestructuració Mercat Elèctric Espanyol

Llibre Blanc:

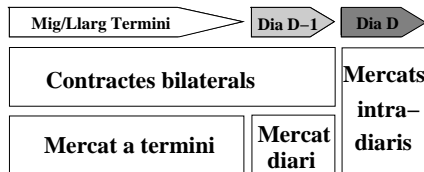
- ▶ Reformes estratègiques per permetre la competència real
- ▶ Eliminar la desincentivació dels contractes bilaterals
- ▶ Generació d'electricitat dins un model energètic sostenible (protocol de Kioto, energies renovables, ...)

Reestructuració Mercat Elèctric Espanyol

Llibre Blanc:

- ▶ Reformes estratègiques per permetre la competència real
- ▶ Eliminar la desincentivació dels contractes bilaterals
- ▶ Generació d'electricitat dins un model energètic sostenible (protocol de Kioto, energies renovables, ...)

MIBEL:



Conceptes generals

- ▶ Tipus CGE:
 - ▶ Price-taker (PT): sense capacitat d'influir al preu
 - ▶ Price-maker (PM): amb capacitat per alterar el preu

Conceptes generals

- ▶ Tipus CGE:
 - ▶ Price-taker (PT): sense capacitat d'influir al preu
 - ▶ Price-maker (PM): amb capacitat per alterar el preu
- ▶ Tipus de mercat:
 - ▶ Mercat diari (MD)
 - ▶ Mercats intradiaris (MI)
 - ▶ Mercats a termini (MT)
 - ▶ Contractes bilaterals (CB)

Conceptes generals

- ▶ Tipus CGE:
 - ▶ Price-taker (PT): sense capacitat d'influir al preu
 - ▶ Price-maker (PM): amb capacitat per alterar el preu
- ▶ Tipus de mercat:
 - ▶ Mercat diari (MD)
 - ▶ Mercats intradiaris (MI)
 - ▶ Mercats a termini (MT)
 - ▶ Contractes bilaterals (CB)
- ▶ Tipus d'optimització:
 - ▶ Economic Dispatch (ED): planificació de la generació
 - ▶ Unit Commitment (UC): període òptim d'oferta
 - ▶ Generalized Unit Commitment (GUC): (UC) i (ED)
 - ▶ Optimal Offer (OO): generació de l'oferta òptima

Conceptes generals

- ▶ Tractament estocasticitat:
 - ▶ Tècniques sèries temporals (ST)
 - ▶ Tècniques de *clustering*, algorisme k-means (KM)
 - ▶ Altres tècniques com xarxes neuronals o bootstrap (AT)

Conceptes generals

- ▶ Tractament estocasticitat:
 - ▶ Tècniques sèries temporals (ST)
 - ▶ Tècniques de *clustering*, algorisme k-means (KM)
 - ▶ Altres tècniques com xarxes neuronals o bootstrap (AT)
- ▶ Mètodes de resolució:
 - ▶ Programació Dinàmica (PD)
 - ▶ Branch & Bound (BB)
 - ▶ Descomposició de Benders (DB)
 - ▶ Relaxació Lagrangiana (RL)

Planificació generació a curt termini en entorns competitiu:

Autor (Any)	Característiques							
	PT	PM	MI	CB	ED	UC	GUC	OO
Takriti et al. (2000)	X						X	
Conejo i Prieto (2001)	X	X			X	X		
Conejo et al. (2002)	X						X	X
de la Torre et al. (2002)		X			X			X
Baïllo et al. (2004)		X			X	X		X
Cerisola et al. (2004)		X			X	X		X
Corchero (2004)	X					X		
Gountis i Bakirtzis (2004)	X				X			
Nabona i Pagès (2004)		X			X	X		X
Shrestha et al. (2004)	X			X	X	X		
Ni et al. (2004)	X				X	X		
Nowak i Schultz (2005)	X						X	X
Plazas et al. (2005)	X		X		X			X
Triki et al. (2005)	X		X				X	

Modelització mitjançant Programació Estocàstica:

Autor (Any)	Característiques						
	ST	KM	AT	DB	RL	PD	BB
Takriti et al. (2000)			X	X	X		
Conejo i Prieto (2001)	X						
Conejo et al. (2002)	X						
Baïllo et al. (2004)		X		X			
Cerisola et al. (2004)				X	X		
Corchero (2004)			X				
Shrestha et al. (2004)	X				X	X	
Ni et al. (2004)			X		X	X	
Nowak i Schultz (2005)			X		X		X
Plazas et al. (2005)	X						
Triki et al. (2005)			X				

Estat de l'art

Treballs destacats:

- ▶ Baillo et al. (2004): mètode de generació de l'oferta òptima
- ▶ Corchero (2004): model del Problema de Període Òptim
- ▶ Shrestha et al. (2004): plantejament mitjançant dos subproblemes
- ▶ Nowak i Schultz (2005): model de programació estocàstica i generació de l'oferta

Estat de l'art

Altres treballs:

- ▶ Amell i Bernáldez (2004): model ARIMA preus Mercat Elèctric Espanyol
- ▶ Dupačová et al. (2000): tècniques de generació d'escenaris per problemes de Programació Estocàstica
- ▶ Høyland i Wallace (2001): model d'optimització per a la generació d'un arbre d'escenaris
- ▶ Gröwe-Kruska et al. (2003): algorisme de reducció d'escenaris

Objectiu principal

Formulació i resolució d'un **model de programació estocàstica** per al problema d'**oferta òptima de generació** d'una CGE dins del **MIBEL** en un horitzó temporal d'**una setmana**, d'acord amb les especificacions del **Llibre Blanc**.

Objectius específics

- ▶ Objectius de la modelització:
 - ▶ Oferta al mercat diari i al mercat a termini intrasetmanal
 - ▶ Contractes bilaterals físics i financers
 - ▶ Taxes per emissió de CO₂
 - ▶ Objectius de l'optimització a llarg termini

Objectius específics

- ▶ Objectius de la modelització:
 - ▶ Oferta al mercat diari i al mercat a termini intrasetmanal
 - ▶ Contractes bilaterals físics i financers
 - ▶ Taxes per emissió de CO₂
 - ▶ Objectius de l'optimització a llarg termini
- ▶ Objectius de l'optimització:
 - ▶ Procediments eficients de generació i eliminació d'escenaris
 - ▶ Resolució de problemes de programació no lineal mixt de gran escala: estudi de l'estructura i desenvolupament procediments d'optimització

Objectius específics

- ▶ Objectius de la modelització:
 - ▶ Oferta al mercat diari i al mercat a termini intrasetmanal
 - ▶ Contractes bilaterals físics i financers
 - ▶ Taxes per emissió de CO₂
 - ▶ Objectius de l'optimització a llarg termini
- ▶ Objectius de l'optimització:
 - ▶ Procediments eficients de generació i eliminació d'escenaris
 - ▶ Resolució de problemes de programació no lineal mixt de gran escala: estudi de l'estructura i desenvolupament procediments d'optimització
- ▶ Implementació computacional i validació

Treball realitzat

Primer objectiu

Modelització de l'oferta òptima de generació d'una CGE amb:

- ▶ Oferta al mercat diari
- ▶ Contractes bilaterals físics
- ▶ Taxes per emissió de CO₂

Treball realitzat

Primer objectiu

Modelització de l'oferta òptima de generació d'una CGE amb:

- ▶ Oferta al mercat diari
- ▶ Contractes bilaterals físics
- ▶ Taxes per emissió de CO_2

Formulació mitjançant dos subproblemes:

- ▶ Problema del període òptim d'oferta setmanal
- ▶ Problema d'oferta òptima per al mercat diari

Problema del període òptim d'oferta setmanal

Minimitzar

cost d'assignació + E_λ (benefici de producció)
+ cost emissions CO₂

Subjecte a

temps mínim engegada i aturada

fites de producció

contractes bilaterals físics

emissions CO₂

T unitats tèrmiques, I intervals d'una hora, S escenaris

Funció objectiu

Problema del període òptim d'oferta setmanal

Obtenció del conjunt d'interval òptim on la unitat ha d'ofertar al mercat en un horitzó setmanal.

$$\min_{a,e,u,p} \left[\sum_{t \in T} \left(\sum_{i \in I} (c_{on}^t e_i^t + c_{off}^t a_i^t + c_b^t u_i^t + \sum_{s \in S} P^s ((c_i^t - \tilde{\lambda}_i^s) p_i^{ts} + c_q^t (p_i^{ts})^2)) + \sum_{s \in S} c_K \alpha_K^t \hat{p}^{ts} \right) \right]$$

Problema d'oferta òptima per al mercat diari

Minimitzar

$$\begin{aligned} & E(\text{beneficis dia } D) + \\ & \text{cost d'assignació dia } (D+1) + E_\lambda(\text{beneficis dia } (D+1)) \\ & + \text{cost emissions } \text{CO}_2. \end{aligned}$$

Subjecte a

temps mínim engegada i aturada

fites de producció

contractes bilaterals físics

emissions CO_2

T unitats tèrmiques, I intervals d'una hora, S escenaris

Funció objectiu

Problema d'oferta òptima per al mercat diari

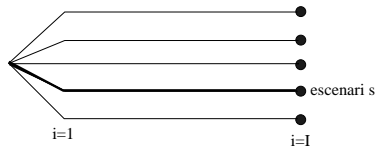
Generació de l'oferta (preu, energia) a partir dels resultats obtinguts per cada escenari del problema estocàstic.

$$\begin{aligned} \min_{a,e,u,p} & \left[\sum_{t \in T} \left(\sum_{i \in I_1} \sum_{s \in S_{I_1}} P^s ((c_i^t - \tilde{\lambda}_i^s) p_i^{ts} + c_q^t (p_i^{ts})^2) + \right. \right. \\ & \sum_{i \in I_2} (c_{on}^t e_i^t + c_{off}^t a_i^t + c_b^t u_i^t + \sum_{s \in S_{I_2}} P^s ((c_i^t - \lambda_i^s) p_i^{ts} + c_q^t (p_i^{ts})^2)) \\ & \left. \left. + \sum_{s \in \{S_{I_1} \cup S_{I_2}\}} c_K \alpha_K^t \hat{p}^{ts} \right) \right] \end{aligned}$$

Tractament estocasticitat

- ▶ *Clustering*: creació d'escenaris equiprobables de la demanda esperada mitjançant l'algorisme de les k-means.

Setmana	1	2	3	4	...	j-3	j-2	j-1	j
Cluster	2	5	1	3		1	3	1	1



- ▶ *Discretització IC previsions*: construcció dels escenaris de preus a partir d'una discretització de l'interval de confiança d'un model ARIMA.

Modelització procés d'engegada i aturada

Modelització del procés d'engegada i aturada:¹

$$u_i^t \begin{cases} = 0 & \text{si la unitat esta apagada} \\ = 1 & \text{si la unitat està encesa} \end{cases}$$

$$a_i^t + e_i^t \leq 1 \quad \forall i \in I \quad \forall t \in T$$

$$u_i^t + u_{i-1}^t - e_i^t + a_i^t = 0 \quad \forall i \in I \quad \forall t \in T$$

$$a_i^t + \sum_{j=i+1}^{i+min_{off}} e_j^t \leq 1 \quad \forall i \in I \quad \forall t \in T$$

$$e_i^t + \sum_{j=i+1}^{i+min_{on}} a_j^t \leq 1 \quad \forall i \in I \quad \forall t \in T$$

¹N.Nabona and F.Rossell. Formulation of the short-term hydrothermal coordination of electricity generation and solutions through mixed integer programming. Tec. Report DR 99/06. Departament d'Estadística i Investigació Operativa. UPC. 1999

Modelització Contractes Bilaterals

Contracte bilateral: quantitat d'energia que ha de ser subministrada per la CGE directament a un client.

$$\sum_{t \in T} p_i^{st} \geq L_{CB_i} \quad \forall i \in I \quad \forall s \in S$$

Cas en estudi

Problema del període òptim d'oferta setmanal

I	S	T	v.b.	v.c.	CPU (h)
48	6	10	1404	3012	1.15
72	6	10	2124	4452	16.08
96	6	10	2844	5892	82.97
120	6	10	3564	7332	(1)
168	6	10	5004	10212	(1)

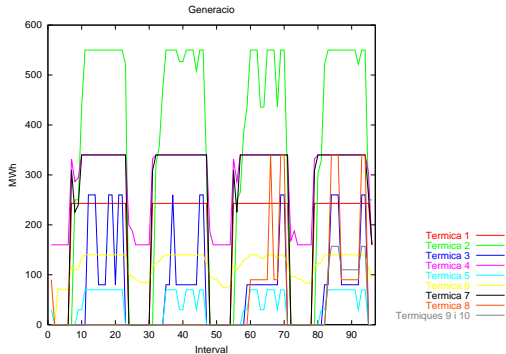
(1)Execució abortada per CPLEX

Problema d'oferta òptima per al mercat diari

I	S	T	v.b.	v.c.	CPU (h)
48	8	10	696	2870	33.70

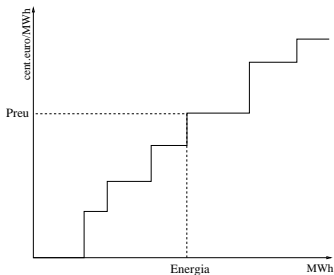
Cas en estudi

Problema del període òptim d'oferta setmanal



Cas en estudi

Problema d'oferta òptima per al mercat diari



Discussió

- ▶ Tractament de l'estocasticitat
- ▶ Modelització emissions de CO₂
- ▶ Modelització mitjançant dos problemes
 - ▶ Problema del període òptim d'oferta setmanal
 - ▶ Problema d'oferta òptima per al mercat diari

- 1- Introducció
- 2- Estat de l'art
- 3- Objectius de la tesi
- 4- Treball realitzat
- 5- Pla de treball

Pla de treball

	S1/06	S2/06	S1/07	S2/07	S1/08
Mercat diari	X				
Mercat termini	X	X	X		
Parc hidràulic		X			
Llarg termini			X		
Generació escenaris	X	X	X		
Estudi estructura			X	X	
Optimització				X	X
Obtenció dades	X	X	X	X	
Implementació AMPL	X	X	X		
Implementació C			X	X	X