

# LOS PRECIOS DEL MERCADO MAYORISTA DE ELECTRICIDAD COMO EXPRESION DE LA PARTICIPACION ACTIVA DE LA DEMANDA: APLICACION DE LA ECONOMIA EXPERIMENTAL

## INDICE

### AGRADECIMIENTOS

<b>RESUMENES</b> .....	<b>i</b>
------------------------	----------

<b>CAPITULO 1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento y objetivos de la tesis	4
1.3. Motivación	8
1.4. Organización de la tesis	8

<b>CAPITULO 2. Modelado de los mercados eléctricos, imperfecciones y propuesta de mejoramiento</b> .....	<b>11</b>
2.1. El diseño de los mercados y la función de los precios	11
2.2. El modelado de los mercados	18
2.2.1. El ambiente económico	19
2.2.2. Las instituciones	19
2.2.3. La Conducta	20
2.2.4. Los resultados de los mercados	21
2.2.5. Las medidas de funcionamiento (desempeño) de los mercados	24
2.3. Las instituciones de los mercados eléctricos	29
2.4. El funcionamiento de los mercados eléctricos	34
2.4.1. La evaluación de los mercados eléctricos	34
2.4.2. Los fallos de los mercados eléctricos	43
2.5. Conclusiones	47
2.5.1. Aportaciones del capítulo	48

<b>CAPITULO 3. La participación de la demanda en los mercados eléctricos liberalizados: estado actual e hipótesis de mejoramiento</b> .....	<b>49</b>
3.1. La respuesta de la demanda en los mercados eléctricos	49
3.1.1. Programas de respuesta de la demanda al precio	53
3.1.2. Tecnologías de respuesta de la demanda al precio	58
3.2. Mercados minoristas, tasación minorista y libertad de elección	62
3.2.1. La libertad de elección de la demanda activa	69
3.3. Articulación de los mercados mayorista y minorista: rol del agregador de la demanda	71
3.3.1. Tipificación de los clientes del mercado eléctrico y rol del agregador de la demanda en el mercado minorista	75
3.3.2. La participación activa de la demanda en el mercado mayorista de electricidad: rol del agregador de la demanda	87
3.4. Conclusiones	96
3.4.1. Aportaciones	96

<b>CAPITULO 4. La economía experimental y su aplicación a los mercados eléctricos liberalizados</b> .....	<b>99</b>
4.1. El experimento económico y su método	99
4.2. Aplicaciones de la economía experimental a los mercados eléctricos	109
4.3. Prototipo de prueba experimental para mercados eléctricos concretos	120
4.4. Conclusiones	125
4.4.1. Aportaciones	126

<b>CAPITULO 5. Mercado mayorista español: prototipo experimental</b> .....	<b>127</b>
5.1. Características del mercado de producción de electricidad español	127
5.1.1. Estacionalidad de recursos de oferta, demanda y precios del mercado español	128
5.1.2. Ambiente económico - tecnológico	133
5.1.3. Instituciones de mercado	196
5.2. Barreras e imperfecciones del mercado español	197
5.2.1. Hipótesis de participación experimental	198
5.3. Conclusiones	199
5.3.1. Aportaciones	200

<b>CAPITULO 6. El diseño experimental de la participación activa de la demanda.....</b>	<b>201</b>
6.1. Hipótesis Experimental .....	201
6.2. Plan Experimental .....	201
6.3. Descripción de la institución del mercado experimental.....	203
6.4. El ambiente económico y la estructura de mercado.....	204
6.4.1. Programas de oferta.....	205
6.4.2. Programas de demanda.....	206
6.5. Procedimientos.....	208
6.5.1. El orden de los tratamientos y sesiones.....	209
6.5.2. Información a los sujetos.....	209
6.6. Beneficios de los sujetos .....	218
6.7. Conclusiones.....	219
6.7.1. Aportaciones .....	219
<b>CAPÍTULO 7. La ejecución del experimento y sus resultados.....</b>	<b>221</b>
7.1. Ejecución del experimento .....	221
7.2. Resultados experimentales .....	221
7.2.1. Precios.....	222
7.2.2. Interrupciones.....	228
7.3. Discusión de resultados y hallazgos del experimento.....	230
7.3.1. Hallazgo 1. La existencia de poder de mercado.....	230
7.3.2. Hallazgo 2. Mejora gracias a la actividad de agregadores de la demanda.....	231
7.3.3. Hallazgo 3. Validación del prototipo de prueba del mercado español .....	233
7.4. Conclusiones.....	233
7.4.1. Aportaciones .....	234
<b>CAPÍTULO 8. Conclusiones generales y futuros trabajos de investigación</b>	
8.1. Conclusiones Generales.....	235
8.2. Futuros trabajos de investigación.....	237
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>238</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>253</b>
<b>Anexo 2-1. Descripción del funcionamiento de las subastas .....</b>	<b>251</b>
<b>Anexo 3-1. La eficiencia económica del precio Tiempo-Variante en el mercado eléctrico.....</b>	<b>259</b>
<b>Anexo 3-2. Crítica a la efectividad de las diversas tasaciones del mercado minorista de electricidad .....</b>	<b>271</b>
<b>Anexo 5.1. Análisis empírico de precios mensuales y estacionalidad de ciclo anual de los recursos de la demanda y de la oferta del mercado eléctrico español (sistema peninsular) .....</b>	<b>285</b>
<b>Anexo 5.2. Estudio de las curvas de carga resultantes del modelo de conocimiento de la demanda del mercado español.....</b>	<b>335</b>
<b>Anexo 6.1. Instrucciones a los sujetos participantes en el tratamiento T3. “con demanda independiente” ....</b>	<b>351</b>
<b>Anexo 7.1. Memoria de la ejecución del experimento .....</b>	<b>363</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2-1.</b> Los componentes de todo mercado: Ambiente, institución y conducta.....	18
<b>Figura 2-2.</b> Rangos de medida de la concentración del mercado según el índice HHI.....	28
<b>Figura 2-3.</b> Casación simple de una subasta doble de precio uniforme.....	32
<b>Figura 2-4.</b> Metodologías, modelos y herramientas de evaluación de los mercados eléctricos.....	37
<b>Figura 2-5.</b> Estructura matemática de los modelos de optimización de una firma y del modelo de optimización multi-objetivo basado en el Equilibrio (tomado de (Ventosa et al 2005) pp. 899).....	38
<b>Figura 2-6.</b> Evolución de los precios reales de electricidad en Nueva Zelanda (tomado de (Electricity Commission New Zealand 2006)).....	46
<b>Figura 3-1.</b> Mapa conceptual de la Respuesta de la Demanda en los mercados liberalizados de energía eléctrica.....	57
<b>Figura 3-2.</b> Articulación de los mercados mayorista y minorista de electricidad a partir de la respuesta de la demanda.....	72
<b>Figura 3-3.</b> Rol del agregador de la participación de la demanda en las diferentes resoluciones de negociación de los mercados mayorista y minorista de electricidad, determinadas por la planeación y operación del Sistema Eléctrico.....	75
<b>Figura 3-4.</b> Las decisiones de los clientes para con la Gestión del lado de la Demanda (DSM).....	81
<b>Figura 3-5.</b> Factores que afectan las decisiones de los clientes ante la Respuesta de la demanda.....	85
<b>Figura 3-6.</b> Coste hipotético de las interrupciones de un agregador.....	90
<b>Figura 3-7.</b> Aclaración del precio en una hora de pico extremo mercado mayorista de energía hipotético con participación de agregadores de demanda (1ª ronda: caso sin puja de interrupciones en tiempo real).....	92
<b>Figura 3-8.</b> Aclaración del precio en una hora de pico extremo mercado mayorista de energía hipotético con participación de agregadores de demanda (2ª ronda: caso con puja de interrupción en tiempo real de II).....	93
<b>Figura 3-9.</b> Ganancias de los agregadores de la demanda mediante la puja meritaria de ITR en la 3ª ronda de mercado.....	94
<b>Figura 3-10.</b> Aclaración de precios durante la 4ª ronda de mercado con puja de todos los recursos de ITR de los agregadores.....	95
<b>Figura 5-1.</b> Zonas eléctricas peninsulares en España. Fuente: (MINECO, 2002).....	134
<b>Figura 5-2.</b> Cuota de propiedad de los activos de generación en 2003 en el régimen ordinario del Mercado de Producción Español. Cálculos propios de datos fuente de (MINECO, 2003).....	136
<b>Figura 5-3.</b> Evolución mensual de la cuota de mercado de las empresas de UNESA. Fuente: OMEL.....	137
<b>Figura 5-4.</b> Cuota de mercado de los agentes productores en los programas PBC y PVD.....	138
<b>Figura 5-5.</b> Composición tecnológica de la Capacidad instalada del régimen ordinario del mercado Español.....	145
<b>Figura 5-6.</b> Evolución de la producción de energía eléctrica en el sistema peninsular español 1998-2003. FUENTE: OMEL – Resultados del Mercado.....	146
<b>Figura 5-7.</b> Curva de producción preliminar del régimen ordinario del mercado español, calculada con un factor de utilización de la capacidad instalada del 100% en el 2003.....	148
<b>Figura 5-8.</b> Curva de producción preliminar en el régimen ordinario del mercado de las empresas pertenecientes a UNESA en el 2003.....	150

<b>Figura 5-9.</b> Diagrama de flujo del proceso de estimación de los factores de carga de las centrales hidroeléctricas embalsadas y fluyentes que participan en el mercado español.....	161
<b>Figura 5-10.</b> Curvas de producción preliminares en el régimen ordinario del mercado de producción de energía eléctrica español en enero de 2002.....	165
<b>Figura 5-11.</b> Curvas de producción preliminares en el régimen ordinario del mercado de producción de energía eléctrica español en enero de 2003.....	166
<b>Figura 5-14.</b> Evolución de las curvas agregadas de oferta- demanda, para la hora 5 del valle de los 2dos jueves de julio (Fuente OMEL).....	191
<b>Figura 5-15.</b> Programas preliminares de demanda del Mercado de Producción de Energía Español para el año 2003 arrojado por el modelo de demanda.....	195
<b>Figura 5-16.</b> Simulación de la casación de los programas de oferta y demanda preliminares en los periodos valle, semivalle, pico y pico extremo en el mercado diario.....	197
<b>Figura 6-1.</b> Diseño de la pantalla de toma de decisiones de los sujetos generadores del experimento.....	213
<b>Figura 6-2.</b> Diseño de la pantalla de resultados del generador.....	214
<b>Figura 6-3.</b> Diseño de la pantalla de toma de decisiones del distribuidor durante el periodo valle de demanda.....	216
<b>Figura 6-4.</b> Diseño de la pantalla de resultados del distribuidor durante el periodo valle.....	216
<b>Figura 6-5.</b> Diseño de la pantalla de toma de decisión del distribuidor durante el periodo pico de demanda (con posibilidad de interrupción de carga).....	217
<b>Figura 6-6.</b> Diseño de la pantalla de resultados del distribuidor durante el periodo pico.....	217
<b>Figura 7-1.</b> Comportamiento de los precios medios en los periodos de demanda valle y semivalle por tratamientos T1, T2 y T3.....	223
<b>Figura 7-2.</b> Comportamiento de los precios medios en los periodos de demanda pico y pico extremo por tratamientos T1, T2 y T3.....	224
<b>Figura 7-3.</b> Gráfico de caja y bigotes de los precios por tratamiento.....	225
<b>Figura 7-4.</b> Gráfico de caja y bigote de los precios del mercado experimental bajo la influencia de la estacionalidad, la hidráulicidad y la temperatura.....	227
<b>Figura 7-5.</b> Comportamiento promedio de la cantidad de energía interrumpida (GWh) y el número de interrupciones por tratamiento.....	228
<b>Figura 7-6.</b> Cantidad promedio de energía interrumpida (GWh) por cada tipo de agente, en cada tratamiento para los periodos pico y pico-extremo.....	229
<b>Figura 7-7.</b> Número total de interrupciones y cantidad total de energía interrumpida (kWh) en el periodo pico, durante los tratamientos del experimento.....	229
<b>Figura A3-1.</b> Precios para periodos de demanda valle $D_{valle}$ y de demanda pico $D_{pico}$ .....	260
<b>Figura A3-2.</b> Precio fijo $\bar{P}$ para periodos de demanda valle $D_{valle}$ y de demanda pico $D_{pico}$ .....	262
<b>Figura A3-3.</b> Criterio eficiente de ampliación de la capacidad bajo precios tiempo-variantes.....	264
<b>Figura A3-4.</b> Ampliación de la capacidad bajo precio-fijo $\bar{P}$ .....	266
<b>Figura A3-5.</b> Dispersión de precios cercanos a la capacidad nominal del sistema.....	268

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1.</b> Clasificación de las metodologías, modelos y herramientas evaluativas de los mercados eléctricos.....	41
<b>Tabla 3-1.</b> Matriz de caracterización de los clientes de un agregador de la demanda minorista.....	78
<b>Tabla 3-2.</b> Características de los clientes interrumpibles en tiempo real de tres agregadores.....	91
<b>Tabla 4-1.</b> Tipos de experimentos económicos.....	100
<b>Tabla 5-1.</b> Cuota de propiedad y cuota de mercado de las empresas de generación en noviembre de 2003. Fuente: OMEL.....	138
<b>Tabla 5-2.</b> Capacidad instalada en el régimen ordinario del sistema peninsular, por zonas eléctricas y propietarios.....	143
<b>Tabla 5-3.</b> Costes índices internacionales de instalación y producción de Energía Eléctrica de las tecnologías más frecuentes en el régimen ordinario del mercado español.....	147
<b>Tabla 5-4.</b> Información fuente para la estimación del factor de carga de las centrales hidroeléctricas del régimen ordinario del mercado español. Fuente: El Sistema Eléctrico Español. Informes mensuales REE.....	157
<b>Tabla 5-5.</b> Rangos de los factores de carga calculados y estimados de las centrales hidroeléctricas presentes en el mercado mayorista español.....	162
<b>Tabla 5-6.</b> Calendario de elegibilidad del sector eléctrico en España.....	168
<b>Tabla 5-7.</b> Relación entre el crecimiento económico y el crecimiento de la demanda de energía eléctrica en España.....	171
<b>Tabla 5-8.</b> Distribución del consumo para los grupos de consumidores del sistema peninsular (año 1998). Fuente: CNE. El consumo eléctrico en el mercado peninsular en los años 1998-2003 <a href="http://www.cne.es">http://www.cne.es</a> .....	174
<b>Tabla 5-9.</b> Mapa de los niveles de demanda de energía eléctrica contratada en el Mercado Diario Español. (tomado de (Buriticá-Arboleda, 2004)).....	182
<b>Tabla 5-10.</b> Relaciones entre los periodos de demanda eléctrica para diferentes resoluciones de tiempo. (tomado de (Buriticá-Arboleda, 2004)).....	183
<b>Tabla 5-11.</b> Fechas resultantes de la aplicación de los filtros de estacionalidad, laboralidad y horario para del modelado del consumo de energía eléctrica en el mercado español en el periodo de 1998-2003.....	183
<b>Tabla 5-12.</b> Correspondencia de las agrupaciones por grupos de consumidores y sectores de consumo de tarifas de acceso, reportados por la CNE.....	185
<b>Tabla 5-13.</b> Cuotas del mercado eléctrico peninsular por sector de consumo y empresas comercializadoras (Año 2003).....	187
<b>Tabla 5-14.</b> Distribución del consumo de energía por grupos de usuarios, sectores de consumo y rangos de utilidad revelada en el Mercado de Producción de Energía Español.....	193
<b>Tabla 5-15.</b> Composición del precio medio horario final mensual para los comercializadores y clientes cualificados del Mercado Diario en el año 2003.....	196
<b>Tabla 6-1.</b> Plan experimental.....	203
<b>Tabla 6-2.</b> Coste de las interrupciones.....	207
<b>Tabla 6-3.</b> Evolución del porcentaje de penetración de la interrumpibilidad en tiempo real.....	207
<b>Tabla 6-4.</b> Calificación de la intensidad de los ritmos de demanda.....	210

<b>Tabla 6-5.</b> Influencia de las condiciones ambientales en el coste de producción de las centrales de generación. ....	213
<b>Tabla 6-6.</b> Comportamiento diario de la demanda para grupos de clientes. ....	215
<b>Tabla 7-1.</b> Estadísticos descriptivos del experimento.....	222
<b>Tabla 7-2.</b> Prueba de Kruskal-Wallis. (agrupación por Tratamiento).....	222
<b>Tabla A3-1.</b> Tipos de Elasticidad de la demanda. ....	269