

# Detección de situaciones de colusión en el mercado de generación eléctrica español mediante algoritmos genéticos

Enrique A. de la Cal Luciano Sanchez Ramos

Dpto. de Informática  
Universidad de Oviedo  
Campus de Viesques  
33203 Gijón  
delacal@uniovi.es

Dpto. de Informática  
Universidad de Oviedo  
Campus de Viesques  
33203 Gijón  
luciano@ccia.uniovi.es

## Resumen

El precio de la energía eléctrica en España no es intervenido desde 1998, sino que es determinado por las estrategias de generación de las empresas que compiten en el denominado “pool eléctrico”.

Las prácticas de colaboración o colusión en el establecimiento de los precios de la energía eléctrica están reguladas y prohibidas por todas las leyes anti-trust en la práctica totalidad de países con mercados eléctricos competitivos, y así es en el mercado eléctrico español. En EEUU se emplean métodos indirectos, como el índice de Herfindhal, basados en las cuotas de mercado de las empresas, para regular la concentración de poder en los mercados competitivos, pero estos métodos no son válidos en el mercado eléctrico español como veremos.

En este trabajo proponemos una metodología basada en algoritmos genéticos, que tiene en cuenta la estructura interna de las empresas generadoras de energía del mercado eléctrico español para detectar dichas situaciones de colusión así como simular variaciones considerables de las estrategias a posteriori. En concreto aplicaremos la metodología propuesta a un problema real obtenido a partir de datos del año 2000 del mercado eléctrico español.

Veremos que nuestra metodología es capaz de detectar la ausencia de colaboración en el problema estudiado.

## 1. Introducción

Los estudios del impacto en los precios, de la adopción de mercados eléctricos liberalizados adoptan dos enfoques, [9]:

- Estudios basados en aproximaciones indirectas. Basados en mediciones de concentración empresarial.
- Basado en modelos de competencia oligopolista, donde se estudia el impacto de la introducción de la competencia a través de la estructura de las ofertas y costes de los agentes competidores, que denominaremos estudios directos.

El trabajo presentado aquí se sitúa entre los modelos directos.

### 1.1. Estudios indirectos

En los modelos de competencia imperfecta, tales como los oligopolios, tanto la estructura de las ofertas como la elasticidad de la demanda son factores que influyen en el precio, al contrario que en los modelos de competencia perfecta así como en los monopolios. Los índices empleados en los estudios indirectos ignoran el factor elasticidad de la demanda.

El índice de concentración más empleado es  $IHH^1$ , también denominado  $H$ , [10].

<sup>1</sup>Índice de concentración de Herfindhal.

$$H = 10000 \sum_{j=1}^N s_j^2 \quad (1)$$

en palabras, la suma de los cuadrados de los tamaños relativos de las empresas.

El índice H se emplean en EE.UU. como criterio de control de las fusiones empresariales. Un valor de H de 1000 no resulta importante para las autoridades anti-monopolio, un índice de hasta 1800 causa cierta preocupación y valores por encima de 1800 implica mercados áltamente concentrados, en los que un aumento de concentración del 50 % no es aceptable. Y lo mismo ocurre para un aumento del 100 % en la concentración de industrias con un índice intermedio.

En el caso del mercado eléctrico español el reparto de generación en el año 2000 fue de:

1. Endesa: 42.6 %
2. Iberdrola: 27.1 %
3. Fenosa: 13.0 %
4. Hidrocanabrico: 9.4 %

lo cual supone un índice de Herfindhal de 2806.53, valor indicativo de que esta industria está concentrada por encima del valor de concentración máximo permitido en EE.UU. Sin embargo, parece que la industria es competitiva, al menos desde el punto de vista de la rentabilidad de las empresas.

### 1.2. Estudios directos

Los estudios directos van desde la simulación de problemas oligopolistas teóricos, como el problema de Cournot [2], hasta el modelado de mercados reales eléctricos (siempre con ciertas restricciones) como el pool británico o el californiano.

Con respecto a la simulación del equilibrio de ofertas en mercados competitivos oligopolistas teóricos, se puede tomar como referencia el modelo presentado en el trabajo de Klemperer[7] en el cual se basan gran parte de los trabajos actuales.

El concepto de equilibrio de funciones de oferta introducido por Klemperer [7] es adaptado por Green y Newbery [6] para simular el modelo del mercado spot de Inglaterra y Gales.

Por otro lado, Von der Fehr y Hardbord [11], simulan el mercado eléctrico Inglés, modelizándolo como una subasta de *sobre cerrado*, donde los generadores comunican simultáneamente al operador de mercado el precio a que están dispuestos a generar cada unidad de generación, despachándose éstas por orden creciente de precio hasta cubrir la demanda, al estilo del algoritmo de casación español. Estos autores eligen este sistema porque consideran que las curvas de costes marginales de los oligopolistas presentan discontinuidades, a diferencia de las de Green y Newbery [6], que estiman curvas de coste continuas para construir a partir de ellas de curvas de oferta también continuas.

Nuestro trabajo se puede considerar cercano al de Von der Fehr, en el sentido que consideramos las ofertas de generación discontinuas y diferenciadas para diferentes períodos del año.

### 1.3. Objetivos

Básicamente todos los estudios directos existentes en la literatura simulan el problema de Cournot con esquemas de ofertas de generación muy simples normalmente lineales. Lo cual empobrece claramente los resultados obtenidos. Así mismo hace poco flexibles, desde el punto de vista de su funcionalidad, las estrategias obtenidas de la simulación. Por eso en este trabajo se propone un objetivo doble:

- Por un lado, diseñar un algoritmo de simulación de la competición de las firmas de generación en el mercado eléctrico español con estrategias mejor adaptadas al mercado que la existentes en la literatura.
- Por otro, definiremos un metodología para la detección de situaciones de colusión así como para simular la reacción del pool a diferentes variaciones, basándonos en el algoritmo del punto anterior.

## 2. Metodología propuesta

Este trabajo busca detectar situaciones de colaboración en el mercado eléctrico español. Para detectar estas situaciones es necesario conocer:

- Las estrategias reales de las empresas para un período de tiempo, datos que no son públicos, por lo que nos conformaremos con una estimación. En [4] se propuso una herramienta de estimación de estrategias de generación para el mercado eléctrico español a partir de un histórico de precios del mercado. Con esta estimación se puede conocer cual ha sido el beneficio obtenido por las empresas en el período estudiado. A esta herramienta la denominaremos  $H_{estima}$ .
- A continuación, para saber si el realmente las empresas han obtenido individualmente un beneficio por encima del máximo teórico de (equilibrio de Cournot) se empleará la herramienta presentada en [3]. Esta herramienta calcula el equilibrio de Cournot para una serie de curvas de demanda, devolviendo un pool de estrategias con el beneficio máximo teórico posible en ausencia de colaboración. A esta herramienta la denominaremos  $H_{optimiza}$ .

### 2.1. Estudio de la reacción del pool

Una practica interesante para la empresas competidoras en los mercados electricos consiste en simular a posteriori como habría afectado el cambio de los precios de una estrategia de generación en las restantes empresas y en ella misma. Centrándonos en este fin una de las características negativas que posee la herramienta  $H_{estima}$  es que solo nos permite simular modificaciones muy pequeñas ya que con ésta las empresas no reaccionan a los cambios sino que se alteran los precios de la estrategia para mantener la cuota de mercado. La herramienta  $H_{optimiza}$  elimina esa deficiencia permitiendo la simulación de la reacción del pool a cambios sensibles en los precios de la estrategias.

Por lo tanto nuestra metodología debe abordar dos situaciones:

- Detectar situaciones de colusión.
- Calcular el comportamiento del mercado, en términos de fluctuación de beneficios, cuando se produce un cambio en los precio ofertados por una de la empresas competidoras.

Los pasos de esta metodología son los siguientes:

1. Se estiman el modelo de estrategias para todas las empresas competidoras para el período estudiado, empleando  $H_{estima}$ .
2. Se modifica sensiblemente los precios de uno de las empresas. Por ejemplo, se podría bajar los precios de la oferta de la empresa con menor cuota de mercado para aumentar sus ventas.
3. Finalmente, manteniendo constante la estrategia alterada, se aplicará  $H_{optimiza}$  para estimar la reacción de las empresas restantes.

A esta herramienta la denominaremos  $H_{reaccion}$ . Observese que esta herramienta nos permiten detectar situaciones de colusión simplemente eliminando el paso 2, es decir, considerando una variación de precios nula y dejando libre la estrategia modificada.

### 2.2. Modelo genético

Las tres herramientas empleadas en nuestra metodología,  $H_{estima}$ ,  $H_{optimiza}$  y  $H_{reaccion}$  comparten un mismo algoritmo genético coevolutivo. Cada individuo será igual en las tres herramientas y representa las estrategias de generación de una empresa basadas en un clasificador difuso. La única diferencia entre los algoritmos empleados en las tres estrategias es que las tres emplean diferentes funciones de evaluación (ver sección 2.4).

Los departamentos de planificación estratégica de las compañías generadoras toman en consideración factores externos a las propias firmas como el día de la semana, la hora del

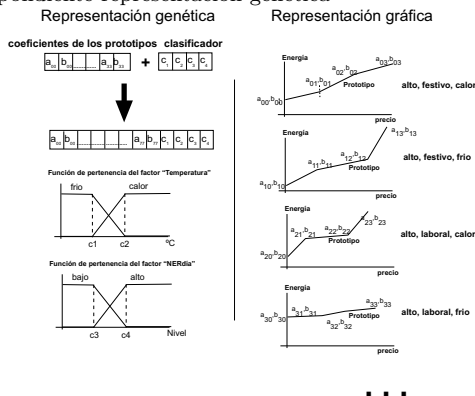
día, la estación del año, las previsiones del tiempo (lluvia, temperatura del aire, etc.) y muchos otros, antes de enviar sus ofertas de generación (precio, cantidad) al Operator de Mercado. Nuestro análisis sería muy impreciso si no tuviéramos en cuentas estos factores.

Por lo tanto, hemos decidido modelar las curvas de generación de un individuo de una población mediante:

- Un sistema de clasificación, que produce una segmentación de los mercados en un cierto número de clases, y
- Tantas curvas poligonales de generación como clases.

El sistema de clasificación será un sistema basado en reglas difusas y los consecuentes de las reglas serán curvas de generación, con forma de línea poligonal, que denominaremos “estrategias prototipo”.

Figura 1: Estrategia de oferta con prototipos de tres segmentos y un clasificador difuso que segmenta los mercados en cuatro clusters y su correspondiente representación genética



En el ejemplo de la figura 1 el clasificador ( $c_1, c_2, c_3, c_4$ ) representa las particiones de las variables difusas “NERdía” y “Temperatura”, y los consecuentes de las reglas están implícitos en el propio clasificador. El factor “Tipo de día”, al ser nítido de tipo simbólico, está implícito y por lo tanto no tiene representación genética. El par ( $c_1, c_2$ ) representa el soporte de la función de pertenencia de los valores

simbólicos del factor “NERdía”, y el par ( $c_3, c_4$ ) lo hace para el factor “Temperatura”.

### 2.3. Operadores genéticos empleados

El cruce de individuos debe afectar a los dos partes de un individuo (Prototipos y Clasificador) con una misma probabilidad. Para el cruce de los prototipos se ha empleado un operador de cruce aritmético uniforme [8]. Para los parámetros del clasificador también hemos empleado un cruce aritmético uniforme, con una ligera variación: hemos determinado experimentalmente que es mejor seleccionar aleatoriamente los parámetros soporte de un atributo y cruzarlo que cruzar todos los atributos sistemáticamente, ya que esta última opción introduce excesiva diversidad en los individuos de la población, igual que ocurre con los prototipos.

No ha sido necesario incluir el operador mutación dado que el propio operador de cruce incluye un factor aleatorio.

### 2.4. Cálculo del fitness para un agente

El fitness de  $H_{estima}$  considera dos criterios para ordenar dos individuos. Un individuo  $k_1$  es mejor que otro  $k_2$ , cuando la energía total generada por el pool de  $k_1$  para un precio de mercado, está más cerca de la energía real del punto de mercado correspondiente que la energía total generada por el pool en el que haya competido el individuo  $k_2$  y además el beneficio unitario de las firmas seleccionadas para competir contra  $k_1$  es más parecido entre ellos que los de  $k_2$ . La herramienta  $H_{optimiza}$  considera que la estrategia  $k_1$  es mejor que otra  $k_2$  de las misma empresa, tras hacer competir a ambas frente a estrategias del resto de empresas, cuando (a) el beneficio agregado mejor de las estrategias contrarias obtenido frente a  $k_1$  es menor que frente a  $k_2$  (esquema mini-max), y (b)  $k_1$  produce parecidos beneficios unitarios para todas las firmas.

## 3. Resultados numéricos

Con el fin de ilustrar la aplicación de nuestra metodología a un entorno real, se ha diseña-

do un problema basado en una selección de los puntos reales del mercado eléctrico Español del año 2000 para los cuales desconocemos las estrategias empleadas por las empresas generadoras que les dieron lugar. Sobre este problema se ha aplicado la metodología de tres pasos de simulación de reacción del mercado descrita en este trabajo y que denominaremos  $H_{reaccion}$ . Así mismo, aplicaremos las herramientas de estimación ( $H_{estima}$ ) y optimización ( $H_{optimiza}$ ) mencionadas en la sección 2). La primera herramienta ( $H_{reaccion}$ ) tratará de obtener las estrategias individuales de reacción a la modificación de la estrategia de generación de uno de los agentes. La segunda obtendrá las estrategias individuales óptimas en términos de Cournot de los agentes competidores ( $H_{optimiza}$ ), y por última la tercera estrategia obtiene una aproximación de las estrategias individuales reales ( $H_{estima}$ ) empleadas en el mercado.

Para determinar situaciones de colusión compararemos si los beneficios obtenidos por las estrategias generadas por  $H_{estima}$  son superiores sensiblemente a los obtenidos por las generadas por  $H_{optimiza}$ , en cuyo caso nos encontraremos en un claro caso de colusión.

### 3.1. Descripción del problema

Los datos que se han elegido para el diseño de este problema real son los siguientes:

- Los competidores que simularemos son las empresas generadoras mayoritarias en el mercado eléctrico Español: Endesa, Fenosa, Iberdrola e Hidrocantábrico (H-C). Esto se traduce únicamente en el uso de sus curvas de coste de generación linealizadas, (ver trabajo [5]).
- Un histórico de 40 puntos de mercado, extraídos de los datos publicados del mercado eléctrico español correspondientes al año 2000.
- Para cada punto de mercado se ha tomado una demanda relativamente poco elástica con pendiente -2, cada una de las cuales corta el punto de mercado correspondiente.

### 3.2. Detección de la situación de colusión

#### Ajuste de nuestro modelo de inducción de estrategias a los datos reales

Tras aplicar la herramienta de estimación de estrategias  $H_{estima}$  con clasificador difuso y 200 iteraciones hemos obtenido un fitness medio final correspondiente a los mejores individuos de las cuatro poblaciones de  $Fitness_{multi} = \langle 0.237802, 0.190358 \rangle$ .

Respecto a los resultados de la competición del pool obtenido con nuestro algoritmo, éste presenta los siguientes errores porcentuales respecto a los puntos de mercado reales:

- Error Cantidad (% cantidad por mercado): 0.00190202%/mercado
- Error Precio (% precio por mercado): 7.39138%/mercado

Los resultados obtenidos por las estrategias individuales inducidas que generan los puntos de mercado de entrada se recogen en la tabla 1. Estos resultados no pueden ser comparados con los de las estrategias originales, ya que estos últimos no son datos públicos.

#### Ajuste de nuestro modelo de optimización de estrategias a los datos reales

Si ahora aplicamos la herramienta de estimación de las estrategias óptimas de equilibrio  $H_{optimiza}$ , obtendremos un pool de equilibrio con los resultados de la tabla 1. El pool resultante es claramente superior en beneficios y energía generada al pool resultado de nuestro algoritmo de estimación de estrategias (tabla 1).

A la vista de los resultados obtenidos con las herramientas de estimación  $H_{estima}$  y optimización  $H_{estima}$  (ver tabla 1) podemos decir que las estrategias del pool de estimación ajustan con bastante precisión los puntos de mercado.

Pero realmente estas estrategias son ineficientes, desde el punto de vista del beneficio respecto a las estrategias óptimas de equilibrio. En concreto las estrategias óptimas obtienen un 4% más de beneficio acumulado que las estrategias estimadas a costa de disminuir la producción de energía en un 0,0538%. Es

Cuadro 1: Detección de colusión: Comparación de los resultados (B. = Beneficio y E. = Energía) de las competiciones respectivas de los pools estimados mediante las herramientas  $H_{estima}$  y  $H_{optimiza}$  respectivamente

Dato	Endesa	Fenosa	Iberdrola	H-C
B. $H_{estima}$	120791	84010	46484	45387
B. $H_{optimiza}$	123618	89009	48864	47597
% Benef.	+2,34	+5,95	+5,12	+4,87
% Benef.T.	+4,0			
E. $H_{estima}$	232621	184512	98545	94193
E. $H_{optimiza}$	233203	183167	98171	95003
% Energía	+0,25	-0,729	-0,38	+0,86
% Energía.T.	-0,0538			

decir, que cada empresa podría llegar a aumentar su beneficio en un 4% en media, sin superar su estrategia óptima de equilibrio.

Cuadro 2: Comparación de los resultados de las competiciones respectivas del pool estimado ( $H_{estima}$ ) sobre los puntos de mercado del problema real y la competición del pool estimado con la estrategia de Hidrocantábrico (H-C) modificada ( $H_{estimaM}$ )

Dato	Endesa	Fenosa	Iberdrola	H-C
B. $H_{estima}$	120791	84010	46484	45387
B. $H_{estimaM}$	121252	84373	46466	47945
% Benef.	+0,38	+0,43	-0,04	+5,64
% Benef.T.	+1,12			
E. $H_{estima}$	232621	184512	98545	94193
E. $H_{estimaM}$	232974	184660	98678	93559
% Energía	+0,15	+0,08	+0,13	-0,67
% Energía.T.	-5,33e-5			

Ante todo hay que tener claro que estamos trabajando "a ciegas" respecto a las estrategias reales que han generado los puntos de mercado reales. Por lo que, los resultados obtenidos en los dos pools hay que analizarlos a la luz de dos aspectos:

- Por un lado, hemos seleccionado un conjunto de puntos muy concreto, por lo cual las estrategias reales para estos puntos

pudieron no ser muy buenas y por lo tanto el pool de estimación obtenido no tiene porqué ser bueno tampoco,

- Y el otro aspecto, consiste en considerar la validez de nuestros resultados como orientativos y no como resultados aplicables en la realidad; por lo que podemos decir que las estrategias del pool de estimación son peores que el pool de equilibrio aunque la diferencia en beneficio no sea excesiva.

En definitiva y dando por razonables estos resultados podemos indicar que en este estudio de mercado no se produce una situación de colusión. Además el mercado todavía admite un margen de aumento del beneficio de las empresas de un 4% hasta llegar a una situación de colaboración.

### 3.3. Elección de la firma de estudio y variación aplicada

Con el fin de probar nuestra metodología de simulación de reacción hemos seleccionado a la firma Hidrocantábrico (H-C) por ser la firma con menor cuota de mercado y poseer por tanto mayor margen de crecimiento respecto al resto. Se ha aplicado una variación sobre la estrategia de esta empresa tal que su energía generada ha sufrido una disminución del -0,673427%, obteniendo un aumento del +5.63746% de su beneficio (ver tabla 2).

### 3.4. Estudio de las reacciones

En la tabla 3 hemos recogido la comparación de los resultados del pool de competición sin modificar frente a la reacción calculada para H-C sin modificar.

En este caso vemos que el pool de reacción ha obtenido un aumento sustancial de beneficio en todas las firmas menos en la firma que hemos mantenido fija (H-C), cosa que por otra parte es razonable ya que la producción prácticamente no ha variado y la firma H-C ha permanecido fija.

A continuación calcularemos la reacción a la estrategia H-C modificada, que se recoge en la tabla 4. En este caso comprobamos que las cuatro firmas han experimentado un aumento

Cuadro 3: Comparación de los resultados de las competiciones respectivas del pool estimado sin modificar ( $H_{estima}$ ) frente al pool de reacción a la estrategia estimada de H-C no modificada ( $H_{reaccion}$ )

Dato	Endesa	Fenosa	Iberdrola	H-C
B. $H_{estima}$	120791	84010	46484	45387
B. $H_{reaccion}$	124258	90344	49329	44874
% Benef.	+2,87	+7,54	+6,12	-1,13
% Benef.T.	+3,93			
E. $H_{estima}$	232621	184512	98545	94193
E. $H_{reaccion}$	230295	186579	98368	94363
% Energía	-1,00	+1,12	-0,18	+0,18
% Energía.T.	-4,38e-2			

de beneficio respecto a su posición de partida. Esto se justifica claramente por el hecho de que aunque la estrategia de H-C permanece fija ya se modificó en un sentido positivo. Vemos que se sigue obteniendo un beneficio respecto a las estrategias de partida ( $H_{estima}$ ) muy similar al 4% que obtiene el pool óptimo. Esto confirma nuestras expectativas al respecto, ya que pensábamos que la reacción siempre va a perseguir igualar el beneficio óptimo, aunque “se deje una pieza fija”.

Cuadro 4: Comparación de los resultados de las competiciones respectivas del pool estimado sin modificar ( $H_{estima}$ ) frente al pool de reacción a la estrategia de H-C modificada ( $H_{reaccionM}$ )

Dato	Endesa	Fenosa	Iberdrola	H-C
B. $H_{estima}$	120791	84010	46484	45387
B. $H_{reaccionM}$	123652	88811	48032	48526
% Benef.	+2,37	+5,71	+3,33	+6,92
% Benef.T.	+4,00			
E. $H_{estima}$	232974	184660	98678	93559
E. $H_{reaccionM}$	228780	191308	97790	93185
% Energía	-1,8	+3,6	-0,9	-0,4
% Energía.T.	0,195			

### 3.5. Comparación de reacciones

Si comparamos los resultados de las dos pools de reacción obtendremos los resultados de la tabla 5. Vemos que ambos pools mantienen un beneficio muy similares (sólo un aumento del 0.07%), pero llama la atención el aumento de 8,14% del beneficio de H-C en la reacción ante la estrategia modificada ( $B.H_{reaccionM}$ ) frente a la disminución del beneficio de resto. Pensamos que esto se debe a que la reacción a la firma H-C indefensa y no modificada es mayor que a la firma modificada, y por ello se obtienen estos valores.

Cuadro 5: Comparación de los resultados de las competiciones respectivas del pool de reacción a H-C sin modificar ( $H_{reaccion}$ ) frente al pool de reacción a H-C modificada ( $H_{reaccionM}$ )

Dato	Endesa	Fenosa	Iberdrola	H-C
B. $H_{reaccion}$	124258	90344	49329	44874
B. $H_{reaccionM}$	123652	88811	48032	48526
% Benef.	-0,49	-1,70	-2,63	+8,14
% Benef.T.	+0,07			
E. $H_{reaccion}$	230295	186579	98368	94363
E. $H_{reaccionM}$	228780	191308	97790	93185
% Energía	-0,66	+2,53	-0,59	-1,25
% Energía.T.	+0,24			

## 4. Conclusiones y Trabajos futuros

Este trabajo se asienta en la hipótesis de que las estrategias individuales que compiten por el mercado se comportan como un mercado oligopolista basado en cantidades, es decir, a la Cournot [10]. Precisamente la herramienta  $H_{optimiza}$  calcula las estrategias mejores, en términos de beneficio, que las empresas que compiten podrían lanzar al mercado. En concreto para el problema analizado el pool óptimo calculado por  $H_{optimiza}$  obtiene un beneficio superior en un 4.0% que las estrategias reales. Lo cual indica que las generadoras podrían obtener del mercado más beneficio del que están obteniendo. Y esto nos permite sospechar la ausencia de colusión en el estudio

realizado.

Ahora si observamos los aumentos del beneficio de los pool de reacción frente a los beneficio originales de las firmas estimadas vemos que en los dos casos son prácticamente iguales con un +3.93% y +4.00% y practivamente iguales al aumento de beneficio del pool óptimo. Lo cual nos confirma el hecho de que la firmas tienden al equilibrio de Cournot aunque se intervenga en el mismo fijando una de las estrategias.

Otro aspecto que consideramos interesante es el hecho de que las variaciones de beneficio de las firmas de pool de reacción reaccion a la firma no modificada (+2.87,+7.54,+6.12 y -1.13) genera mas beneficios para las firmas competidoras para la reaccion a la firma modificada (-0.49, -1.70, -2.63 y +8.14). Esto se debe al hecho de que la firma H-C no modificada (-1.13) parte de más abajo y por lo tanto la reacción tiene más margen de aumento de beneficio, en cambio, la reacción frente a H-C modificada (+8.14) obliga a las firmas competidoras a ajustar sus beneficios a la baja para llegar al equilibrio ya la estrategia de H-C parte de un 5.64% más de beneficio que el resto.

En lo que respecta a los planes de futuro de este sistema, pensamos que un buen campo de trabajo es el futuro mercado Ibérico, cuyo esquema de competencia es muy diferente de actual español. Así mismo sería interesante incluir en la formulación de nuestras estrategias la consideración de las centrales generadoras individuales de cada firma . Esto conllevaría el aumento de complejidad de nuestros cromosomas y por lo tanto un alto coste computacional.

## 5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido llevado a cabo con el apoyo del Ministerio de Ciencia y Tecnología y los fondos FEDER, bajo el proyecto TIC2002-04036-C05-05.

## Referencias

- [1] S. Borenstein and J. Bushnell. An empirical analysis of the potencial for market power in california's electricity industry. *Electricity Industry Restructuring Second Annual Research Conference*, 1997.
- [2] A. Cournot. *Recherches sur les Principies Mathématiques de la Théorie des Richesses*. Hachette, París, 1838.
- [3] E.A. de la Cal y L. Sánchez. Optimizing supply strategies in the spanish electrical market. In *IWANN'03: International Work on Artificial Neural Networks*, Menorca, 2003.
- [4] E.A. de la Cal y L. Sánchez. Supply estimation using coevolutive genetic algorithms in tha spanish electrical market. *Applied Intelligence*, Ed. Kluwer, 21:7–24, 2004.
- [5] E.A. de la Cal y L. Sánchez. Un modelo difuso evolutivo para la estimación de estrategias de generación eléctrica. In *MAEB'04: Tercer Congreso Espanol de Metaheurísticas, Algoritmos Evolutivos y Bioinspirados.*, pages 59–67, Córdoba, 2004.
- [6] R.J. Green and D.M. Newbery. Competition in the british electricity spot market. *Journal of Political Economy*, 100(5), 1992.
- [7] P. D. Klemperer and M. A. Meyer. Supply function equilibria in oligopoly under uncertainty. *Econometrica*, 57:1253–77, Noviembre 1989.
- [8] Z. Michalewicz. *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Springer-Verlag, 1992.
- [9] C. Ocaña and A. Romero. Una simulación de funcionamiento del pool de energía eléctrica en españa. dt 002/98. Technical report, CNSE, 1998.
- [10] J. Segura. *Teoría de la economía industrial*. Civitas, Madrid, 1993.
- [11] N.M. Von der Fehr and D. Dardbord. Spot market competition in the uk electricity industry. *Economic Journal*, 103:531–546, Mayo 1993.