

Documento de Trabajo 99-10
Serie Economía 03
Mayo de 1999

Departamento de Economía
Universidad Carlos III de Madrid
Calle Madrid, 126
28903 Getafe, España
Fax (341) 624-98-75

COMPETENCIA VÍA FUNCIONES DE OFERTA EN EL MERCADO ESPAÑOL DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

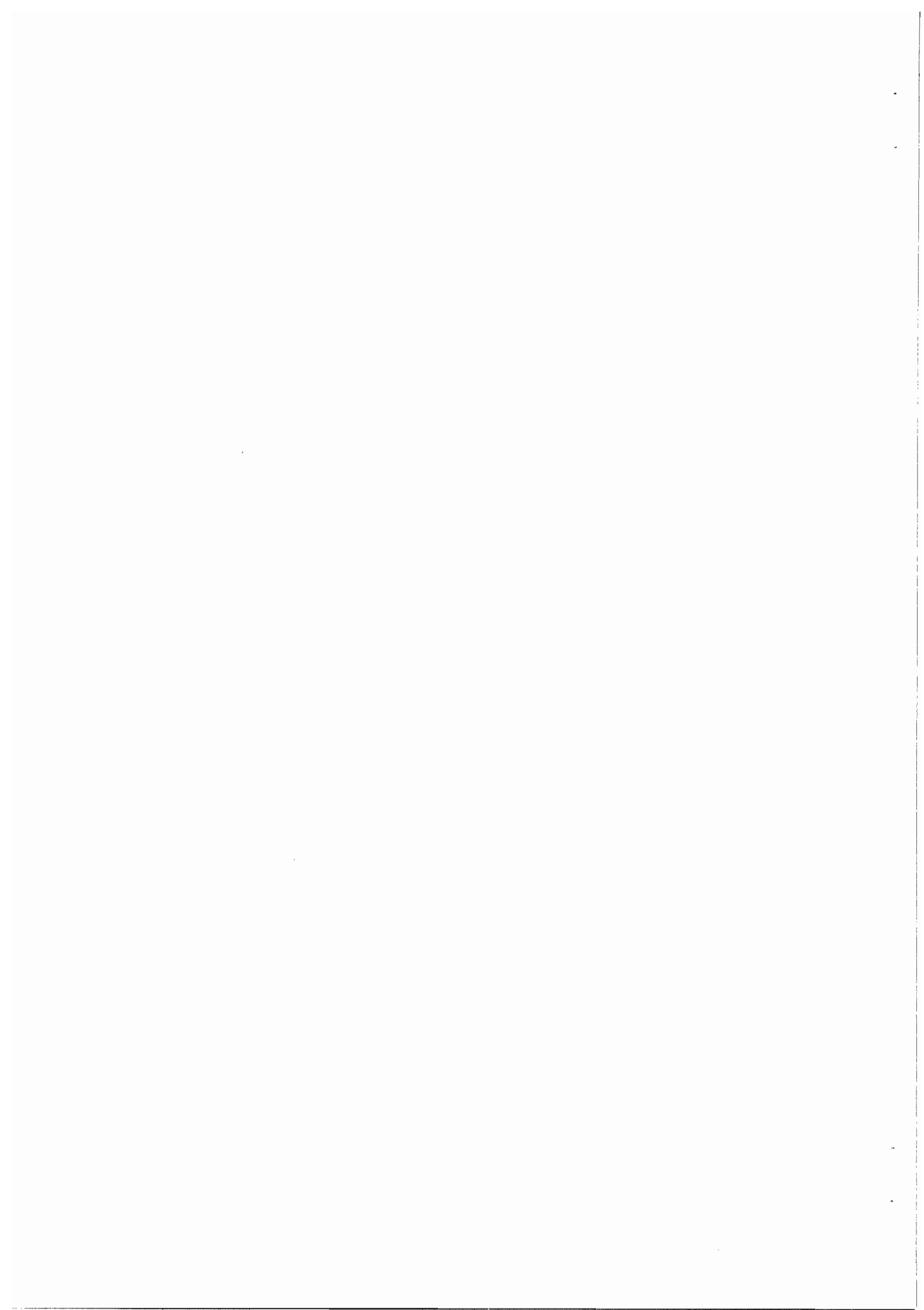
Diego Moreno

Resumen

El alto grado de concentración del mercado español de producción de energía eléctrica y la escasa interconexión de la red existente pone en cuestión el impacto de la liberalización sobre los precios de la energía eléctrica a corto y a medio plazo. Cuando las empresas compiten vía funciones de oferta cualquier precio entre el precio de equilibrio de Cournot y el precio competitivo puede sustentarse como un equilibrio. Así, aunque la entrada de nuevas empresas en el sector reduce y desplaza hacia el origen el conjunto de precios de equilibrio, su efecto final sobre el precio es ambiguo. La tradición de actuación coordinada entre las empresas del sector sugiere que los equilibrios que resulten han de ser inmunes a desviaciones creíbles de coaliciones. Dada de la forma de las funciones de costes de las empresas eléctricas y la demanda de energía eléctrica, el análisis del mercado revela que el precio de Cournot es el *único* que puede sustentarse como un equilibrio en funciones de oferta a prueba de coaliciones. Por consiguiente, es de esperar que a corto y medio plazo el precio de la electricidad sea substancialmente superior al precio competitivo.

Palabras Clave: Cournot, competencia, funciones de oferta, coaliciones, electricidad.

* El autor agradece a la Comisión Nacional del Sistema Eléctrico la financiación del proyecto de investigación "Competencia en el Sector Eléctrico Español: Efectos sobre el Bienestar y la Competitividad", del que este estudio forma parte.



1 Competencia en el Sector Eléctrico Español

La introducción de competencia en el Sector Eléctrico Español (SEE) se presenta como una estrategia efectiva para potenciar la eficiencia en la producción, y en definitiva para garantizar el suministro de energía eléctrica a bajo precio. La magnitud de los beneficios que se derivarían de la implementación con éxito de las medidas liberalizadoras del sector incluyen no sólo los beneficios directos sobre los consumidores de energía eléctrica, sino también los que se obtendrían de un aumento de la competitividad de la economía en su conjunto. Por otra parte, la delicada integración de las actividades de generación, transporte y comercialización que se requieren para satisfacer la demanda de energía eléctrica exige un alto grado de coordinación, así como un diseño muy cuidadoso de las reglas de funcionamiento de estos mercados.

Para evaluar el impacto de la liberalización del sector sobre los precios de la energía eléctrica a corto y a medio plazo es preciso tener en cuenta que la estructura actual del SEE se caracteriza por un alto grado de concentración y por una escasa interconexión. Además, la amplitud de los plazos requeridos para la instalación de nueva capacidad supone una barrera a la entrada muy efectiva a corto y medio plazo. Estas circunstancias sugieren la posibilidad de que las empresas actualmente en el sector utilicen su poder de mercado para obtener mayores beneficios de los que obtendrían en situaciones más competitivas, y ponen en cuestión el efecto que la liberalización pueda tener sobre los precios de la energía eléctrica a corto y medio plazo. Un análisis riguroso de estos efectos, y de la sensibilidad de los precios a cambios en las distintas variables que determinan la estructura de la industria (el grado de concentración, la tecnología, etc.) podría ayudar a determinar si es preciso acompañar estas medidas liberalizadoras de otras que pudiesen aumentar el grado de competitividad en el sector. El análisis que se realiza a continuación pretende obtener conclusiones cualitativas sobre el impacto de estas variables en los precios de la energía eléctrica.

Las reglas de funcionamiento del mercado español de producción de energía eléctrica introducen un marco institucional muy complejo desde el punto de vista estratégico. En el mercado diario, compradores y vendedores pueden realizar ofertas de venta y de adquisición por cada período horario. Los vendedores de energía eléctrica

pueden realizar ofertas de venta simples o complejas. Las ofertas de venta simples especifican para cada "unidad de producción" un máximo de 25 tramos de capacidad a precios diferentes. Las ofertas de venta complejas permiten a cada unidad de producción condicionar la oferta de venta simple al cumplimiento de una serie de requisitos de indivisibilidad, obtención de unos ingresos mínimos diarios, así como otras especificaciones técnicas de parada o de variaciones de capacidad o de carga. Asimismo, cada comprador puede especificar una oferta de adquisición de energía eléctrica de hasta 25 tramos a precios diferentes.

La concentración de la capacidad de generación de energía eléctrica en un número muy reducido de empresas, indica la necesidad de analizar el impacto que su comportamiento estratégico tenga sobre el equilibrio del mercado. Por otra parte, un análisis riguroso de un mercado tan complejo como el mercado de producción de energía eléctrica no es posible sin recurrir a algunas simplificaciones. En concreto, las alternativas de modelización que se discuten incorporan dos hipótesis simplificadoras que facilitan enormemente el análisis.

En primer lugar, la demanda se supone dada, lo que implica ignorar cualquier conducta estratégica por parte de los compradores¹. Este supuesto parece adecuado a la situación actual del SEE, en la que la mayoría de los consumidores obtienen energía del pool a una tarifa regulada, y sólo un número muy reducido de consumidores tienen acceso al mercado. No obstante, este supuesto es razonable siempre que en el futuro no existan compradores (consumidores o comercializadores) con suficiente tamaño como para atribuirles poder de mercado.

En segundo lugar, se supone que los oferentes realizan únicamente ofertas simples. Este segundo supuesto posibilita un análisis formal, pues un modelo que recogiese la posibilidad de realizar ofertas complejas no sería tratable. Este supuesto, sin embargo, puede justificarse informalmente aduciendo que en equilibrio las condiciones de indivisibilidad, ingresos mínimos, parada, etc., pueden implementarse mediante una oferta simple cuidadosamente diseñada. Por tanto parece plausible conjeturar

¹ Este supuesto no excluye la posibilidad de que la demanda sea incierta, aunque dada la precisión con que esta puede anticiparse en el mercado español, la introducción de incertidumbre en el modelo no alteraría los resultados de manera significativa.

que cualquier equilibrio de mercado que pueda resultar de un conjunto de ofertas complejas, pueda también “sustentarse” mediante un conjunto de ofertas simples. Por otra parte, es evidente que un equilibrio en ofertas simples puede sustentarse como un equilibrio en ofertas complejas. Así pues, el conjunto de equilibrios es el mismo tanto si se incluye la posibilidad de que las empresas utilicen oferta complejas, como si sólo se consideran las ofertas simples.

2 Alternativas de Modelización

En la literatura se han propuesto dos alternativas de modelización del mercado de producción de energía eléctrica. Una línea de investigación estudia el mercado de la electricidad como si se tratase de una subasta múltiple en la que los oferentes de energía pujan por servir la demanda al mejor precio posible. Alternativamente, el mercado de la electricidad se ha estudiado como un oligopolio en el que las estrategias de las empresas son funciones de oferta diferenciables.

Fehr y Harbord (1993) modelizan el mercado de producción de energía eléctrica del Reino Unido como una subasta múltiple. En este enfoque cada empresa suministra una lista con las ofertas que quiere realizar. El operador de mercado agrega estas ofertas, ordenándolas de forma creciente en precios. Para determinar el precio de equilibrio y las ofertas que son aceptadas es preciso en este caso establecer reglas que indiquen cómo se raciona a los oferentes cuando la oferta y la demanda agregadas se cortan en un tramo horizontal, y qué precio prevalece cuando lo hacen en un tramo horizontal. Fehr y Harbord (1993) analizan el caso en el que las empresas tienen costes marginales constantes e idénticos, y concluyen que en equilibrio los precios de mercado tienden a ser considerablemente más altos que los costes marginales de las empresas. Estos resultados han sido generalizados por García-Díaz y Marín (1999) al caso de costes asimétricos.

La ventaja de este enfoque es que permite retener un cierto realismo descriptivo. Sus inconvenientes son (1) la ausencia de resultados generales sobre los equilibrios de mercado posibles y sus propiedades, (2) la sensibilidad de las conclusiones que se

obtienen a las reglas de racionamiento o de determinación de precios que se utilicen, y (3) la imposibilidad de realizar ejercicios de estática comparativa que permitan determinar la influencia de cambios en la estructura de la industria sobre el equilibrio de mercado. Respecto al primer aspecto, conviene observar que los resultados disponibles sólo son válidos para especificaciones muy concretas de funciones de demanda y costes, y son parciales, ya que se caracterizan sólo los equilibrios simétricos. El segundo aspecto mencionado indica la necesidad de adaptar los resultados existentes al mercado que se quiere estudiar, incorporando las reglas concretas de racionamiento cuando oferta y demanda se cortan en un tramo vertical, y de determinación del precio cuando lo hacen en un tramo vertical. La dificultad en realizar ejercicios de estática comparativa debido a la ausencia de una caracterización sencilla del conjunto de equilibrios puede aliviarse recurriendo a simulaciones numéricas (véase García-Díaz y Marín (1999)).

Una estrategia de modelización alternativa es estudiar el mercado como una industria oligopolística en la que las empresas compiten vía funciones de oferta. Para que esta estrategia de modelización sea operativa es preciso “aproximar” las funciones de oferta de las empresas (que de acuerdo con las reglas del mercado son función escalonadas, con un máximo 25 de escalones) mediante funciones diferenciables. Esta aproximación facilita enormemente el análisis, pues permite utilizar el cálculo diferencial para identificar los equilibrios de mercado posibles y para estudiar sus propiedades (su sensibilidad frente a cambios en la tecnología, el número de empresas en la industria, etc.).

El inconveniente de aproximar la ofertas de la empresas mediante funciones diferenciables es que, además de incurrir en una cierta pérdida de realismo descriptivo, el análisis de estos juegos revela que en ausencia de incertidumbre sobre la demanda existe una gran multiplicidad de equilibrios de mercado: cualquier precio por encima de los costes marginales de las empresas puede sustentarse como un equilibrio en funciones de oferta. Klemperer y Meyer (1989) demuestran, sin embargo, que la presencia de incertidumbre resulta en una reducción de esta multiplicidad del conjunto de equilibrios; de hecho, si la incertidumbre sobre la demanda tiene un soporte no

acotado, el equilibrio es único—el equilibrio de mercado, sin embargo, depende de la demanda realizada . Este resultado dota de un gran operatividad a esta estrategia de modelización cuando existe suficiente incertidumbre sobre la demanda.

Green y Newberry utilizan este modelo para el análisis del mercado de producción de energía eléctrica de Inglaterra y Gales. En este país, las reglas de funcionamiento del mercado obligan a cada empresa a utilizar una única función de oferta para los 48 períodos de media hora en los que se divide el mercado diario. El operador de el mercado agrega las ofertas de las empresas generadoras, y utiliza la función de oferta agregada así obtenida en cada uno del los estos 48 períodos. Así, aún cuando la demanda para cada uno de los 48 períodos puede ser anticipada con mucha precisión, la variabilidad de la demanda durante estos 48 períodos representa un papel formalmente equivalente al que representaría la existencia de incertidumbre. Green y Newberry estudian el caso de un duopolio simétrico y, estimando este modelo para el mercado de producción de energía eléctrica de Inglaterra y Gales, encuentran que los precios de equilibrio son considerablemente más altos que el coste marginal de las empresas. Green y Newberry concluyen que el alto grado de concentración del mercado supone una pérdida de eficiencia substancial.

3 Equilibrios en Funciones de Oferta

Las reglas de funcionamiento del mercado español, sin embargo, permiten a cada unidad de generación realizar una oferta distinta para cada uno de los 24 períodos horarios en los que se divide el mercado diario. La flexibilidad que introducen las normas del mercado español (en contraste con la inflexibilidad de las normas del mercado en Inglaterra y Gales) convierten al mercado “horario” (en vez del mercado “diario”, como ocurre en el mercado de Inglaterra y Gales) en la unidad de análisis bajo este enfoque. Y puesto que la demanda horaria puede anticiparse con mucha precisión, la incertidumbre juega un papel muy poco significativo en este mercado y, por tanto, la multiplicidad de equilibrios reaparece. Esta multiplicada representa la mayor dificultad para aplicar este análisis al mercado español.

No obstante, las reglas de funcionamiento del mercado español restringen las funciones de ofertas que las empresas del sector pueden utilizar, pues exigen que estas sean “crecientes”². Como consecuencia de esta restricción, el conjunto de precios de equilibrio se reduce considerablemente: sólo los precios no superiores al “precio de Cournot” (es decir, el que resultaría si las empresas compitieran vía cantidades) e inferiores al “precio competitivo” (es decir, el que resultaría si las empresas utilizaran su función de costes marginales como función de oferta) son posibles precios de equilibrio de mercado (es decir, son sostenibles como equilibrios en funciones de oferta). Puesto que el precio de Cournot se aproxima al precio competitivo a medida que aumenta el número de empresas en el sector, este resultado indica que el intervalo de precios de equilibrio se reduce y se desplaza hacia el origen a medida que aumenta el número de empresas. En el límite el único precio de equilibrio posible es el competitivo.

Para comprender la razones que explican este hecho y discutir sus implicaciones es preciso elaborar algunos detalles que permitan conocer la estructura del juego que enfrentan las empresas en la industria. Consideremos una industria en la que n empresas que producen un bien homogéneo con idéntica tecnología. Supongamos que la función de costes $C(q)$ es no decreciente, convexa y continuamente diferenciable, y que la función de demanda $D(p)$ es decreciente, cóncava, continuamente diferenciable y satisface $D(p) \geq 0$ para $p \in (0, \rho)$. Para evitar un equilibrio trivial, supongamos que $C'(0) < \rho$.

Primero discutimos las condiciones que caracterizan a los equilibrios de mercado posibles. Si $(\hat{p}, \hat{q}_1, \dots, \hat{q}_n)$ es un equilibrio de mercado, entonces debe existir un perfil de funciones de oferta $\hat{s} = (\hat{s}_1, \dots, \hat{s}_n)$ tal que el precio \hat{p} vacíe el mercado; es decir, tal que

$$\sum_{i=1}^n \hat{s}_i(\hat{p}) = D(\hat{p}). \quad (EM)$$

Además, \hat{p} debe maximizar los beneficios de cada empresa j sobre la demanda resi-

²(Debe verificarse que) “...los precios de los diferentes tramos de energía de una misma unidad de producción tienen precios crecientes respecto de la energía eléctrica ofertada...”. *Reglas de Funcionamiento del Mercado de Producción de Energía Eléctrica*, 31 marzo de 1998, apartado 4.6.1.6 b).

dual, esto es

$$\hat{p}\hat{s}_j(\hat{p}) - C(\hat{s}_j(\hat{p})) = \max_p p \left(D(p) - \sum_{i \neq j} \hat{s}_i(p) \right) - C \left(D(p) - \sum_{i \neq j} \hat{s}_i(p) \right).$$

Esta condición requiere que la producción de cada empresa $j \in \{1, \dots, n\}$ satisfaga la ecuación

$$\hat{q}_j = - \left(D'(\hat{p}) - \hat{M}_j \right) (\hat{p} - C'(\hat{q}_j)), \quad (E_j)$$

donde $\hat{M}_j = \sum_{i \neq j} \hat{s}'_i(\hat{p})$. Si además las funciones $\hat{s}_1, \dots, \hat{s}_n$ son convexas la condición E_j garantiza que las empresas maximizan beneficios en \hat{p} y, por tanto, que el perfil de funciones de oferta $(\hat{s}_1, \dots, \hat{s}_n)$ constituyen un equilibrio en funciones de oferta.

El siguiente ejemplo será útil para ilustrar las implicaciones que se derivan de estas condiciones. Supongamos que la demanda de electricidad es una función lineal

$$D(p) = \begin{cases} A - bp & \text{si } p \leq \frac{A}{c}, \\ 0 & \text{si } p > \frac{A}{c}, \end{cases}$$

donde $b > 0$. Para simplificar supongamos que las n empresas del sector tienen los mismos costes, descritos por la función lineal³

$$C(q) = cq.$$

La condición $C'(0) < \rho$ (que evita el equilibrio trivial en que ninguna empresa produce una cantidad positiva) requiere en este caso $c < \frac{A}{b}$. Para esta industria, las condiciones EM y E_j son

$$\sum_{i=1}^n \hat{s}_i(\hat{p}) = A - b\hat{p}, \quad (1)$$

y

$$\hat{q}_j + (b - \hat{M}_j)(\hat{p} - c) = 0. \quad (2)$$

Como ya se ha mencionado, los precios de equilibrio de Cournot y competitivo determinan el intervalo de precios de equilibrio. El precio de equilibrio competitivo en esta industria es,

$$\underline{p} = \underline{p}(n) = c. \quad (\underline{P})$$

³Los resultados que se describen son también válidos siempre que la función de demanda sea decreciente, cóncava y diferenciable, y la función de costes sea no decreciente, convexa y diferenciable. Véase Delgado y Moreno (1999).

El equilibrio de Cournot de esta industria se obtiene a partir de las funciones de reacción de las empresas. En este equilibrio la producción de cada empresa $j \in \{1, \dots, n\}$, q_j , resuelve el problema

$$\max_{q_j} (p - c)q_j,$$

donde p es el precio de equilibrio de mercado (la solución a la ecuación EM). Derivando la función de beneficios, y substituyendo p a partir de la ecuación EM , obtenemos que la producción de cada empresa en el equilibrio de Cournot es

$$\bar{q}_j = \bar{q}(n) = \frac{1}{n+1} (A - bc). \quad (\bar{C}_j)$$

El precio de equilibrio de Cournot viene dado por

$$\bar{p}(n) = \frac{A + bcn}{b(n+1)}. \quad (\bar{P})$$

Así pues, en el equilibrio de Cournot todas las empresas producen idéntica cantidad. Esta cantidad es menor cuanto mayor sea el número de empresas en la industria. El precio de Cournot es también una función decreciente del número de empresas en la industria. Como puede observarse, este precio se aproxima al precio competitivo a medida que el número de empresas en la industria aumenta. Puesto que el coste marginal es constante, el precio competitivo es invariable al número de empresas en la industria. En el límite, ambos precios coinciden.

Claramente el equilibrio de Cournot puede sustentarse mediante las funciones de oferta

$$\bar{s}_j(p) = \bar{q}.$$

Obsérvese que para estas funciones de ofertas las condiciones E_j y \bar{C}_j coinciden. Por tanto, el perfil $(\bar{s}_1, \dots, \bar{s}_n)$ es un equilibrio en funciones de oferta. Es fácil ver que cualquier precio arbitrariamente próximo al competitivo puede sustentarse también como un equilibrio en funciones de oferta. Funciones de oferta del tipo

$$\bar{s}_j(p) = c + Mp,$$

donde $M > 0$ es un número arbitrariamente grande, darían lugar a precios de equilibrio arbitrariamente cercanos al precio competitivo.

Obviamente ningún precio inferior al coste marginal c es un equilibrio de mercado, puesto que esto supondría que alguna empresa esta produciendo a un coste superior al precio. Esta empresa obtendría beneficios negativos y, por tanto, no estaría maximizando beneficios ya que cualquier empresa puede garantizarse unos beneficios no negativos ofreciendo una cantidad constante e igual a cero. Puede también demostrarse que ningún precio mayor que el precio de Cournot puede sustentarse como un equilibrio de mercado: para ello es preciso que alguna empresa utilice una función de oferta decreciente, lo que está explícitamente excluido.

Las implicaciones de estos resultados son claras: un aumento del número de empresas elimina del conjunto de equilibrio los precios en el subintervalo $[\bar{p}(n), \bar{p}(n+1))$ y, por tanto, resulta en una reducción del precio más alto que puede sustentarse como un equilibrio en funciones de oferta. Por ejemplo, para $A = 4$, $c = b = 1$, el intervalo de precios de equilibrio en función del número de empresas viene dado en la siguiente tabla.

n	2	3	4	5	7
PE	$(1, 2]$	$(1, \frac{7}{4}]$	$(1, \frac{8}{5}]$	$(1, \frac{9}{6}]$	$(1, \frac{10}{7}]$

Precios de equilibrio y número de empresas

Como puede observarse el conjunto de precios de equilibrio posibles se reduce a medida que aumenta el número de empresas en la industria.

En el caso en que los costes son cuadráticos se obtienen resultados similares. En este caso, un aumento del número de empresas, además de reducir el precio de equilibrio de Cournot, implica una disminución del precio de equilibrio competitivo. Un aumento del número de empresas en la industria implica un desplazamiento hacia el origen del intervalo de precios de equilibrio y una reducción de su tamaño (pues también en este caso el precio de equilibrio de Cournot converge al precio competitivo).

Las conclusiones que se derivan de este análisis son claras: En primer lugar, *en presencia de un número reducido de empresas en el sector es posible sustentar precios de equilibrio de mercado muy superiores al precio competitivo que implican, por tanto, amplios márgenes precio-coste marginal.* En el mercado español de producción eléctrica, caracterizado por un alto grado de concentración actual en el mercado de

producción eléctrica (sólo cuatro empresas tienen una producción significativa y las dos empresas más grandes del poseen más del 75% de la capacidad sector), este resultado sugiere que el impacto de la liberalización sobre los precios de la energía podrían ser considerablemente menores, a corto y medio plazo, de lo que serían en un mercado menos concentrado..

En segundo lugar, el efecto del aumento del número de empresas en la industria sobre el conjunto de precios de equilibrio posibles es claro: a mayor número de empresas menor el precio máximo sostenible como un equilibrio en funciones de oferta. De hecho, para *cualquier precio superior al competitivo puede eliminarse como un precio de equilibrio de mercado si el número de empresas es suficientemente grande*. Sin embargo, puesto que la multiplicidad de equilibrios se mantiene, el impacto de la entrada de nuevas empresas en la industria sobre el precio de equilibrio de mercado es en cierto modo ambiguo: depende de cuales sean los equilibrios en los que se coordinen las empresas antes y después de la entrada. Así pues, el análisis que se derivaría de esta modelización continuaría siendo poco concluyente a menos que tengamos alguna evidencia que nos permita identificar cuáles de estos equilibrios podrían de hecho resultar.

4 Equilibrios a prueba de coaliciones

La regulación del SEE anterior a la liberalización se ha realizado históricamente mediante procesos de negociación entre las autoridades políticas y las empresas del sector. Dada la coincidencia de intereses entre las empresas del sector, tanto de titularidad pública como privada, no es sorpresa que en estos procesos las empresas hayan actuado tradicionalmente con un alto grado de consenso. Esta tradición de consenso entre las empresas del sector ha continuado incluso después de la liberalización del mercado de la generación, como se ha puesto de manifiesto en la reciente negociación sobre la titulación de los Costes de Transición a la Competencia entre gobierno y empresas.

Es de esperar que esta tradición de actuación coordinada tenga un impacto im-

portante sobre la forma en que las empresas vayan a enfrentar el nuevo entorno competitivo. No se trata de sugerir la posibilidad de que existan “acuerdos colusivos” entre las empresas que pudieran desvirtuar la competencia en el sector, algo difícil de justificar desde un punto de vista conceptual⁴. Se trata simplemente de observar que el clima en el que se ha producido la liberalización del sector es proclive a que las empresas exploren las posibilidades de actuación “coordinada”, en la medida en que existan intereses comunes.

Como se ha discutido en el apartado anterior, existe una enorme multiplicidad de equilibrios de mercado. Esta multiplicidad introduce, implícitamente, la necesidad de una cierta coordinación entre las empresas que permita a estas formar expectativas correctas (sobre cual sea el equilibrio de mercado que prevalece, y cual hayan de ser sus estrategias en este equilibrio). El supuesto implícito en el análisis cuyos resultados se describen en este apartado es que las empresas intentarán coordinar sus acciones de forma que el equilibrio que resulte sea lo más favorable posible a sus intereses.

Consideremos la situación que enfrentan los jugadores de un juego no cooperativo que tienen la oportunidad de comunicarse entre si antes de adoptar sus acciones. Los jugadores podrán querer comunicarse para alcanzar un acuerdo sobre las acciones que hayan de adoptar. Supongamos, sin embargo, que el juego retiene su carácter no cooperativo; es decir, los acuerdos que puedan alcanzar los jugadores no tienen naturaleza contractual. En estas circunstancias los únicos acuerdos viables son aquellos inmunes a desviaciones de jugadores o de coaliciones de jugadores.

Existen multitud de situaciones de tipo económico o político en las acuerdos contractuales no son factibles, ya sea porque son ilegales (por ejemplo, los acuerdos para la fijación de precios entre las empresas de una industria), o porque involucran la renuncia a derechos inalienables (por ejemplo, los acuerdos en los que un individuo se compromete a trabajar para una empresa en el futuro), o porque las acciones de los jugadores no sean observables (por ejemplo, los acuerdos para la reducción de la producción entre las empresas de una industria cuando las ventas de cada empresa no

⁴Por otra parte, acuerdos de esta naturaleza serían muy inestables pues, dada su ilegalidad, no pueden tener carácter contractual.

son observables), o simplemente porque no exista una autoridad a la que recurrir en caso de incumplimiento (por ejemplo, los tratados bilaterales entre países soberanos).

En la literatura se han estudiado conceptos de solución o de equilibrio para juegos no cooperativos que tienen en cuenta las oportunidades de coordinación entre los jugadores que introduce la posibilidad de comunicación previa a la adopción de acciones. La hipótesis implícita en estos conceptos de solución es que los jugadores intentarán coordinar sus acciones para obtener un resultado lo más favorable posible a sus intereses. Así, estos conceptos pretenden identificar los perfiles de estrategias que son inmunes a desviaciones de cualquier coalición, incluida la coalición de todos los jugadores y, por consiguiente, que agotan las posibilidades de realizar ganancias mutuas. Con esta motivación, se han propuesto los conceptos de equilibrio fuerte de Nash (SNE—strong Nash equilibrium⁵), y de equilibrio de Nash a prueba de coaliciones (CPNE—coalition-proof Nash equilibrium⁶).

Un SNE es un perfil de estrategias tal que ningún jugador o coalición de jugadores puede beneficiarse de una desviación. Un SNE es un equilibrio de Nash, puesto que debe ser inmune a desviaciones individuales. Sin embargo, no todos los equilibrios de Nash son “fuertes”. De hecho, la noción de SNE es demasiado exigente, lo que implica que sea frecuente encontrar juegos que no tienen ningún equilibrio fuerte de Nash⁷. Además, resulta inconsistente exigir que un perfil de estrategias sea invulnerable frente a desviaciones de coaliciones que sean a su vez vulnerables a desviaciones posteriores de subcoaliciones de la coalición desviante. Para subsanar esta deficiencia, se ha propuesto la noción de equilibrio de Nash a prueba de coaliciones.

Un CPNE es un perfil de estrategias invulnerable frente a desviaciones “creíbles”, es decir, frente a desviaciones para la que no existan desviaciones posteriores creíbles de ninguna subcoalición de la coalición desviante. Así pues, las desviaciones creíbles

⁵Véase Aumann (1959).

⁶Véase Bernheim, Peleg y Whinston (1987).

⁷Un dilema del prisionero, por ejemplo, posee un único equilibrio de Nash (que además es un equilibrio en estrategias estrictamente dominantes). Sin embargo, la coalición de ambos jugadores tiene una desviación conjunta beneficiosa para ambos jugadores. Por supuesto, esta desviación es vulnerable a desviaciones unilaterales posteriores, pero su existencia implica que este equilibrio no es un SNE. Así pues, el juego no tiene ningún equilibrio fuerte de Nash.

son “internamente consistentes”. Obviamente, las desviaciones individuales son creíbles porque no existen subcoaliciones que puedan desviarse posteriormente. Por consiguiente, un CPNE es también un equilibrio de Nash. Sin embargo, no todos los equilibrios de Nash son a prueba de coaliciones. Como con el concepto de SNE, existen juegos que no poseen ningún CPNE, aunque su existencia está garantizada en algunas clases de juegos⁸.

Para juegos de dos jugadores un CPNE es un equilibrio de Nash tal que la coalición de ambos jugadores no tenga una desviación creíble; además las únicas desviaciones creíbles por parte de la coalición de ambos jugadores son aquellas que constituyen un equilibrio de Nash (pues en otro caso serían vulnerables frente a desviaciones individuales y, por tanto, no creíbles). Así pues, el conjunto de equilibrios a prueba de coaliciones para un juego de dos jugadores es el conjunto de equilibrios de Nash que no están dominados en el sentido de Pareto por ningún otro equilibrio de Nash. En consecuencia, los juegos de dos jugadores siempre poseen un CPNE. Desgraciadamente, para juegos de más de dos jugadores no es posible obtener una caracterización sencilla de los equilibrios de Nash a prueba de coaliciones. Esta dificultad en ocasiones dificulta la utilización de esta noción de equilibrio a situaciones concretas.

Como sugiere la descripción anterior, el concepto de desviación creíble tiene un carácter recursivo. Es posible adaptar la noción de CPNE al estudio de los equilibrios en funciones de ofertas de una industria simplemente reparando en que los elementos que definen una industria (demanda, costes y números de empresas) tienen esa naturaleza recursiva: dadas las funciones de oferta de un grupo o coalición de empresas, el juego que enfrentan las empresas restantes (es decir, la coalición complementaria), viene descrito por la demanda residual (resultante de restar a la demanda de mercado las ofertas de las empresas de la coalición), y las funciones de costes de las empresas de

⁸El dilema del prisionero mencionado anteriormente tiene un CPNE. De hecho, para que un perfil de estrategias sea una desviación creíble debe pertenecer al conjunto de las estrategias que sobreviven a la eliminación iterativa de estrategias estrictamente dominadas. Si en este conjunto existe un perfil que domina en el sentido de Pareto a todas las demás, como ocurre en este ejemplo, dicho perfil es un CPNE—véase Moreno y Wooders (1996).

esta coalición y su número. Con esta estructura recursiva, puede definirse el concepto de “equilibrio en funciones de oferta a prueba de coaliciones” (CPSFE-coalition-proof supply function equilibrium) de manera completamente análoga a como se define la noción de equilibrio de Nash a prueba de coaliciones. En nuestro contexto definimos este concepto para industrias con dos o más empresas, ya que el tratamiento conceptual de un oligopolio es muy distinto del de un monopolio⁹.

Una vez definido el concepto CPSFE, estudiamos la existencia equilibrios de mercado que puedan sustentarse mediante perfiles de funciones de oferta que constituyan un CPSFE, así como las propiedades de estos equilibrios. El primer resultado que obtenemos es que en cualquier industria es posible sustentar el equilibrio de Cournot como in CPSFE. La demostración de este hecho es sencilla: (1) como ha quedado establecido el equilibrio de Cournot puede sustentarse como un equilibrio en funciones de oferta; (2) es fácil demostrar que en este equilibrio el beneficio de la industria es mayor que en ningún otro equilibrio de mercado; (3) así, el equilibrio de Cournot de un duopolio no está dominado en el sentido de Pareto por ningún otro equilibrio, y por tanto puede sustentarse como un CPSFE; (4) en industrias con más de dos empresas, puede establecer por inducción que el equilibrio de Cournot puede sustentarse como un CPSFE.

Por consiguiente, siempre existe al menos un equilibrio de mercado (el equilibrio de Cournot) que puede sustentarse mediante un CPSFE. La siguiente cuestión a explorar es que otros equilibrios de mercado pueden sustentarse mediante CPSFE. Para estudiar esta cuestión, consideremos una industria como la descrita en la sección anterior en que la demanda es lineal y las empresas tienen idéntica función de costes, que también supondremos lineal. Concretamente, discutiremos el ejemplo descrito anteriormente en el que los parámetros que define demanda y costes son $A = 4$, $c = b = 1$. Empecemos por considerar el caso de un duopolio. El equilibrio de

⁹La definición formal de esta noción de equilibrio, así como la demostración de los resultados que se describen en el resto de la sección pueden encontrarse en Delgado y Moreno (1999).

Cournot es, en este caso,

\bar{p}	\bar{q}_1	\bar{q}_2	$\bar{\pi}_1$	$\bar{\pi}_2$
2	1	1	1	1

Equilibrio de Cournot ($n = 2$)

Este equilibrio puede sustentarse como un CPSFE mediante las funciones de oferta (s)

$$\bar{s}_1(p) = \bar{s}_2(p) = 1,$$

para todo p . Consideremos el equilibrio de Stackelberg en el que la Empresa 1 es la empresa "líder". Este equilibrio viene dado por

\hat{p}	\hat{q}_1	\hat{q}_2	$\hat{\pi}_1$	$\hat{\pi}_2$
$\frac{7}{4}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{9}{16}$

Equilibrio de Stackelberg ($n = 2$)

Este equilibrio puede sustentarse como un SFE mediante las estrategias

$$\hat{s}_1(p) = \frac{3}{2},$$

y

$$\hat{s}_2(p) = p.$$

Claramente, este equilibrio de Stackelberg no está dominado en el sentido de Pareto por el equilibrio de Cournot, puesto que la Empresa 1 obtiene mayores beneficios que en éste. Por tanto, o bien este equilibrio puede sustentarse mediante un CPSFE, o existe un equilibrio de mercado que es Pareto superior y que, por consiguiente, no es el equilibrio de Cournot—de hecho, puede demostrarse que en un duopolio los equilibrios de Stackelberg pueden también sustentarse mediante un CPSFE¹⁰.

Como ya hemos observado, a medida que aumenta el número de empresas en la industria se reduce el conjunto de precios de equilibrio de mercado. En particular, el precio de Cournot, es decir el precio máximo que puede sustentarse en un equilibrio en funciones de oferta, disminuye, mientras que el precio competitivo puede disminuir

¹⁰Véase Delgado y Moreno (1999), Ejemplo 3.4.

o permanecer constante¹¹. Así, supongamos que las empresas de una industria están considerando coordinarse en el equilibrio de Cournot, en vez de en otro equilibrio de mercado, digamos un equilibrio de Stackelberg donde todas las empresas menos una son (simultáneamente) “líderes”, y la empresa restante es seguidora¹². Para que esta desviación sea ventajosa para las empresas líderes (para la seguidora obviamente lo es), es preciso que las ganancias que se derivan del incremento del precio (que son menores cuantas más empresas haya en la industria), superen a las pérdidas que se derivan de la reducción en producción (que serán menores cuanto mayor sea el número de empresas entre las que haya que distribuir esta reducción). Aunque en principio no está claro cual de estos dos efectos pueda dominar, existe un umbral (un número empresas mínimo) a partir del cual el efecto sobre el precio domina al efecto sobre la producción y, por tanto, el equilibrio de Cournot es el único equilibrio de mercado que puede sustentarse como un CPSFE. Este umbral es de tres empresas para el caso en que la demanda es una función lineal¹³.

En la industria lineal que venimos discutiendo, este resultado implica que si el número de empresas en la industria es tres, entonces el equilibrio de Cournot, que en este caso es

\bar{p}	\bar{q}_1	\bar{q}_2	\bar{q}_3	$\bar{\pi}_1$	$\bar{\pi}_2$	$\bar{\pi}_3$
$\frac{7}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{9}{16}$

Equilibrio de Cournot ($n = 3$)

domina al equilibrio de Stackelberg en el que, por ejemplo, las empresas 1 y 2 son

¹¹Este resultado se obtiene bajo la hipótesis de que los costes marginales son no decrecientes (es decir, la función de costes es convexa). En particular, si los costes marginales son constantes, entonces el equilibrio competitivo no depende del número de empresas en la industria.

¹²Estos equilibrios de Stackelberg juegan un papel fundamental en el análisis de las condiciones bajo las que el Equilibrio de Cournot resulta ser el único equilibrio que puede sustentarse como un CPSFE.

¹³Como en el apartado anterior, estos resultados son válidos siempre que la función de demanda sea decreciente, cóncava y diferenciable, y la función de costes sea no decreciente, convexa y diferenciable. El número de empresas mínimo necesario para que este resultado se satisfaga depende de la curvatura de las funciones de demanda y costes evaluadas en el equilibrio de Cournot. Véase Delgado y Moreno (1999), Proposición 3.8.

simultáneamente líderes, y la 3 es seguidora, dado por

$p^{S_{12}}$	$q_1^{S_{12}}$	$q_2^{S_{12}}$	$q_3^{S_{12}}$	$\pi_1^{S_{12}}$	$\pi_2^{S_{12}}$	$\pi_3^{S_{12}}$
$\frac{3}{2}$	1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$

Equilibrio de Stackelberg con dos líderes simultáneos ($n = 3$)

Obsérvese que todas las empresas obtienen en este equilibrio un beneficio inferior al que obtienen en el equilibrio de Cournot: este equilibrio está pues dominado en el sentido de Pareto por el equilibrio de Cournot.

Es interesante observar que los equilibrios de Stackelberg con una empresa líder y $n - 1$ empresas seguidoras (simultáneas) no están dominados en el sentido de Pareto por el equilibrio de Cournot. En el ejemplo anterior, el equilibrio de Stackelberg en el que la Empresa 1 es la líder y las empresas 2 y 3 son seguidoras simultáneas es

p^{S_1}	$q_1^{S_1}$	$q_2^{S_1}$	$q_3^{S_1}$	$\pi_1^{S_1}$	$\pi_2^{S_1}$	$\pi_3^{S_1}$
$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

Equilibrio de Stackelberg con un sólo líder ($n = 3$)

Sin embargo, este equilibrio *no* es sostenible como un SFE. Para poder sustentar este equilibrio como un SFE es preciso encontrar un perfil de funciones de oferta $s = (s_1, s_2, s_3)$ tales que $s_1(\frac{3}{2}) = \frac{3}{2}$, $s_2(\frac{3}{2}) = s_3(\frac{3}{2}) = \frac{1}{2}$, y que además satisfaga el sistema de ecuaciones (las condiciones E_j para $j = 1, 2, 3$)

$$\begin{aligned} \frac{3}{2} &= (1 + m_2 + m_3) \left(\frac{3}{2} - 1\right) \\ \frac{1}{2} &= (1 + m_1 + m_3) \left(\frac{3}{2} - 1\right) , \\ \frac{1}{2} &= (1 + m_1 + m_2) \left(\frac{3}{2} - 1\right) \end{aligned}$$

donde $s'_i(\frac{3}{2}) = m_i \geq 0$ para $i = 1, 2, 3$. La (única) solución a este sistema de ecuaciones es $m_1 = -1$, $m_2 = 1$, $m_3 = 1$. Puesto que $m_1 < 0$, no existe ningún perfil de funciones de oferta no decrecientes que permita sustentar $(p^{S_1}, q_1^{S_1}, q_2^{S_1}, q_3^{S_1})$ como un SFE. Por consiguiente estos equilibrios de Stackelberg no son equilibrios de mercado.

Consideremos ahora un equilibrio de mercado cualquiera distinto del equilibrio de Cournot, $(\hat{p}, \hat{q}_1, \hat{q}_2, \hat{q}_3)$, y supongamos sin pérdida de generalidad que la Empresa 1 es la que obtiene mayores beneficios, es decir, $\hat{\pi}_1 \geq \hat{\pi}_i$, para $i = 2, 3$. Esto implica que la

Empresa 1 es también la que más produce ($\hat{q}_1 > \hat{q}_i$, para $i = 2, 3$). Puede demostrarse¹⁴ que existe un equilibrio de mercado $(\tilde{p}, \tilde{q}_1, \tilde{q}_2, \tilde{q}_3)$ que satisface $\tilde{q}_1 = \tilde{q}_2 = \hat{q}_1$ y $\tilde{p} \geq \hat{p}$. En este equilibrio los beneficios de la Empresa 1 no son inferiores a los que obtenía en el equilibrio inicial; es decir, $\tilde{\pi}_1 \geq \hat{\pi}_1$. Además, este equilibrio puede sustentarse por un perfil de estrategias $\tilde{s} = (\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \tilde{s}_3)$, tal que $\tilde{s}_1(p) = \tilde{s}_2(p) = \hat{q}_1$ que constituye un equilibrio en funciones de oferta. Se trata, por tanto, de un equilibrio tipo Stackelberg en el que las empresas 1 y 2 son simultáneamente líderes, y la Empresa 3 es seguidora. Sin embargo, la cantidad \hat{q}_1 podría ser inferior a la óptima para las empresas 1 y 2. De hecho, puede demostrarse que el equilibrio de Stackelberg $(p^{S_{12}}, q_1^{S_{12}}, q_2^{S_{12}}, q_3^{S_{12}})$ descrito anteriormente es el más favorable a las empresas 1 y 2; es decir $\tilde{\pi}_1 = \tilde{\pi}_2 \leq \pi_1^{S_{12}} = \pi_2^{S_{12}}$. Y puesto que estos beneficios son a su vez inferiores a los que estas empresas obtienen en el equilibrio de Cournot, tenemos

$$\hat{\pi}_i \leq \hat{\pi}_1 \leq \tilde{\pi}_1 \leq \pi_1^{S_{12}} \leq \tilde{\pi}_1 = \tilde{\pi}_i,$$

para $i = 1, 2, 3$.

Por consiguiente, en el equilibrio de Cournot las tres empresas obtienen mayores beneficios que en el equilibrio $(\hat{p}, \hat{q}_1, \hat{q}_2, \hat{q}_3)$; este equilibrio de mercado no puede, por tanto, sustentarse como un CPSFE, pues las tres empresas, de común acuerdo, preferirían adoptar estrategias que resultasen en el equilibrio de Cournot, en la confianza de que ninguna empresa o coalición de empresas tiene incentivos a desviarse de este acuerdo. Así pues, *el único equilibrio de mercado que puede sustentarse como un CPSFE es el equilibrio de Cournot.*

5 Conclusiones

Los resultados obtenidos justifican el uso del modelo de Cournot para el análisis del impacto que los cambios en la estructura de la industria (número y capacidad de las empresas en el sector, relaciones de propiedad entre las mismas, etc.) o en la tecnología disponible puedan tener sobre los precios, la producción, el excedente, los incentivos a la inversión en nueva capacidad, a la entrada en el mercado, etc.. Así, a

¹⁴Véase Delgado y Moreno (1999), Lema 3.2.

pesar de la falta de realismo descriptivo del modelo de Cournot, las predicciones que se obtienen son similares a las que se obtendrían utilizando el modelo más complejo de competencia vía funciones de oferta. Podemos, por tanto, concluir que los resultados existentes sobre los efectos de la concentración, de la reducción de costes, etc., obtenidos a partir del modelo de Cournot tienen implicaciones sobre el mercado de electricidad. Además, otros aspectos menos estudiados en la literatura, como el impacto de los cambios en la estructura de la propiedad de las empresas en la industria, pueden investigarse a partir del modelo de Cournot.

En la literatura, el modelo de Cournot ha sido criticado por dos razones fundamentalmente. En primer lugar, porque en la realidad las empresas deciden no sólo su producción, sino también sus precios. Y cuando las empresas compiten vía precios los resultados que se obtienen son muy distintos a los que se obtienen con el modelo de Cournot. Kreps y Scheinkman (1983), sin embargo, observan que el modelo de Cournot puede interpretarse como la forma “reducida” de un modelo “estructural” en el que las empresas primero deciden su capacidad y después compiten vía precios. Así pues, las conclusiones que se obtienen con el modelo de Cournot son correctas, siempre que las decisiones de producción se interpreten como decisiones de capacidad.

En el modelo de Cournot, el equilibrio es la solución al sistema de ecuaciones que se obtiene calculando las funciones de reacción de las empresas. Si se interpretasen estas funciones de reacción literalmente, y no meramente como un artificio para calcular los equilibrios, éstas implicarían una conducta irracional por parte de las empresas que sería muy difícil de justificar¹⁵. El modelo de competencia en funciones de oferta se introduce en la literatura como una alternativa al modelo de Cournot de competencia vía cantidades. Su ventaja frente al modelo de Cournot es que incorpora explícitamente las reacciones de las empresas a los cambios en las condiciones del mercado. El inconveniente es su mayor complejidad y su escasa capacidad predictiva a menos que exista una gran incertidumbre sobre la demanda de mercado. Las

¹⁵Supondría que las empresas son incapaces de anticipar que un cambio en su estrategia generaría una reacción por parte de sus competidores. Por supuesto, el modelo de Cournot es un modelo estático, de manera que si no se pretende adoptar una interpretación dinámica de los resultados esta crítica carecería de importancia.

conclusiones obtenidas por Deigado y Moreno (1999) justifican el uso del modelo de Cournot como un modelo "reducido" para el análisis de una industria en la que en realidad las empresas compiten vía funciones de oferta.

References

- [1] Aumann, R. (1959): Acceptable points in general cooperative n -person games, en “*Contributions to the Theory of Games IV*,” Princeton Univ. Press, Princeton, N.J., 1959.
- [2] Bernheim, B., B. Peleg y M. Whinston. (1987): “Coalition-proof Nash equilibria: I concepts,” *Journal of Economic Theory* **42**, 1-12.
- [3] Bernheim, B. y M. Whinston. (1987): “Coalition-proof Nash equilibria : II applications,” *Journal of Economic Theory* **42**, 1-12.
- [4] Delgado, J. y D. Moreno (1999): “Coalition-proof supply function equilibria in oligopoly,” Universidad Carlos III, working paper 99-34.
- [5] Fehr, N-H. von y D. Harbord (1993): “Spot market competition in the UK electricity industry”, *The Economic Journal*, **103**, 531-546.
- [6] García-Díaz, A y P. Marín (1999): Market power in the spanish electricity spot market”, mimeo.
- [7] Green, R. y D. Newbery (1992): “Competition in the British electricity spot market”, *Journal of Political Economy*, **100**, 929-953.
- [8] Grossman, S. (1981): “Nash equilibrium and the Industrial Organization of markets with large fixed costs”, *Econometrica*, **49**, 1149-1172.
- [9] Hart, O. (1985) Imperfect competition in general equilibrium: an overview of recent work”, en *Frontiers in Economics*, ed. por K. Arrow y S. Honkaphoja. Oxford: Basil Blackwell.
- [10] Klemperer, P. y M. Meyer (1989): “Supply function equilibria in oligopoly under uncertainty”, *Econometrica*, **57**, 1243-1277.
- [11] Kreps, D. y J. Scheinkman (1983): “Quantity precommitment and Bertrand competition yield Cournot outcomes,” *The Bell Journal of Economics*, **14**, 326-337.

- [12] Moreno, D. y J. Wooders (1996): "Coalition-Proof Equilibrium", *Games and Economic Behavior* **17**, 80-112.