

# Procesos de I+D y estructura industrial: Un panorama de modelos teóricos



J. David Pérez Castrillo

DELTA (Unidad de Investigación Conjunta CNRS-ENS-EHESS)

Buena parte de las reflexiones de este trabajo son fruto de discusiones y artículos conjuntos con I. Macho Stadler y T. Verdier. Deseo agradecer su ayuda en la elaboración del presente trabajo, así como la de Elena Iñarra. Quiero asimismo agradecer la financiación del Ministerio de Educación y Ciencia y al proyecto de la CICYT PS87-0078.

Lan honetan, Ikerketa eta Garapen prozesuak aztertzeko eredu teoriko batzuk aurkezten ditugu. Azterlan hauek bi alderditan ateratzen dituzten ondorioei gagozkie baripat. Baretik, merkatu batean dagoen industri egituraren eta merkatu horrek I + G-ean sortzen duen inbertsio-mailaren arteko lotura. Bestetik, I + G prozesu-motaren eta patenterantzko lehiaketan sortzen den industri egituraren arteko lotura.

En este trabajo, presentamos diversos modelos teóricos que estudian los procesos de Investigación y Desarrollo. Nos centramos especialmente en las conclusiones a las que estos estudios llegan con respecto a dos aspectos. Por un lado, la relación entre la estructura industrial presente en un mercado y el nivel de inversiones en I + D que ese mercado genera. Por otro lado, la relación entre el tipo de proceso de I + D y la estructura industrial que surge en la carrera por la patente.

## 1. INTRODUCCION

En las economías modernas, la competencia toma formas muy variadas. Las empresas no solamente compiten en precios (à la Bertrand) o en cantidades (à la Cournot), sino que a estos tipos se imponen muy a menudo otras formas de competencia a más largo plazo, como pueden ser la publicidad o la Investigación y Desarrollo (I+D) de nuevos productos o de nuevos métodos de producción (1). Esta última, de la que nos vamos a ocupar en este trabajo, tiene además la característica de ser muy difícil de controlar y por lo tanto es casi imposible lograr la colusión en el mercado necesaria para evitarla.

Aunque aún no disponemos de una teoría suficientemente sólida y aceptada por todos, la literatura teórica sobre I+D conoce actualmente una rápida progresión, ayudada por la reciente utilización de técnicas como la teoría de juegos. El objetivo de este trabajo es analizar las conclusiones obtenidas de diferentes formas de considerar la competencia entre empresas originada por la I+D, subrayando las características del modelo utilizado para poder establecer una *relación entre el tipo de proceso de I+D y los resultados que de él deducimos*. Para ello, hemos de empezar por preguntarnos cuáles son los problemas a los que estos modelos quieren dar respuesta.

Sin duda, son las tesis de Schumpeter [(1934) y (1942)] sobre la relación directa entre las inversiones en I+D y la existencia de monopolios las que han originado una discusión más abierta entre los economistas que estudian los procesos de I+D (2). Los argumentos desarrollados por este autor giran alrededor de dos ideas: (i) los monopolios son más aptos para invertir en I+D, y (ii) la creación de monopolios es un mal que no se puede evitar, dado que para invertir las empresas necesitan anticipar beneficios extraordinarios.

El primer argumento hace referencia, más que a la posesión de un poder monopolista, a la necesidad de un cierto tamaño de la empresa para que los procesos de I+D sean posibles. Ello puede justificarse aduciendo una posible existencia de rendimientos de escala crecientes en la I+D, una menor aversión al riesgo de las empresas grandes o la facilidad para la explotación rápida de un descubrimiento. Sin embargo, los efectos de una pesada burocracia en las empresas de gran tamaño y la existencia de mercados financieros de fácil acceso pueden paliar, ver incluso neutralizar, los argumentos anteriores.

Más atractivo quizás es el segundo argumento. Encontramos en él la base del «*dilema del sistema de patentes*»: para estar incitadas a invertir en investigación, las empresas necesitan estar seguras de que su eventual innovación estará protegida; sin embargo, la optimalidad social exige la libre utilización de los descubrimientos. Por un lado, es imprescindible incitar a las empresas a innovar para asegurar el progreso técnico. Por otro lado, dado que la innovación, una vez realizada, es considerada como un bien público en la medida en que puede ser utilizada por otras empresas a un coste pequeño, la sociedad prefiere su libre utilización. La patente es pues un elemento fundamental dentro del sistema de incitación a la I+D.

(1) Aunque se trate de procesos de características en principio distintas, en este trabajo no se hará distinción entre ellos.

(2) Entendemos monopolio en el sentido amplio, es decir como empresa con cierto poder monopolista, aunque no sea la única en el mercado.

La patente reconoce a su propietario un derecho de propiedad y le asegura todos o una parte de los beneficios derivados de la utilización de la invención; confiere un monopolio temporal de explotación. El registro de una patente permite a la empresa innovadora rentabilizar los costes y protegerse legalmente contra la imitación. Las condiciones de optimalidad no son pues verificadas, ya que éstas exigen que un bien público sea puesto a la disposición de todos los usuarios. Nos estamos refiriendo a la optimalidad estática (en una fecha), es decir a la asignación óptima de recursos en cada instante. Sin embargo, esta noción puede estar reñida con la de optimalidad a largo plazo, que exige la asignación óptima de recursos en el tiempo. El sistema de patentes puede permitir un acercamiento a la optimalidad a largo plazo, aunque nos aleje de la de corto. A lo largo de este artículo, vamos a aceptar la existencia del sistema de patentes como un hecho, sin discutir sistemas alternativos (3).

En buena medida dentro de la lógica de Schumpeter, aunque quizás con un punto de vista un poco diferente, en este trabajo vamos a centrarnos especialmente en dos puntos. Debido a la estrecha interrelación entre ellos, el orden del análisis no será consecutivo, sino que intentaremos sacar de los diferentes modelos y puntos de vista adoptados en la literatura las conclusiones que aclaren dichos aspectos.

El primer problema que planteamos es saber cuál es la relación entre la estructura industrial presente en un mercado y el nivel de inversiones en I+D que ese mercado genera. Nos interesamos en las causas que pueden llevar a que en una industria se invierta poco o mucho con relación al óptimo social, en si es posible gracias a subvenciones o impuestos corregir la posible suboptimalidad, en identificar los tipos de procesos de I+D susceptibles de generar ineficiencias. En definitiva, intentamos saber, una vez fijadas las empresas que participan en la «carrera por la patente» y conocidas las características del proceso innovador, cuál es la relación entre los incentivos públicos y privados para invertir en I+D, cuál es la estructura que lleva a un descubrimiento más temprano, etc.

El segundo aspecto que centra nuestro interés se refiere a la relación entre el tipo de proceso de I+D y la estructura industrial que surge en la carrera por la patente. Es decir, nos interesamos en saber si los procesos cuyos resultados son poco inciertos (procesos que llamaremos deterministas) llevan a que la competencia sea fuerte, con muchas empresas intentando el descubrimiento, o débil, con una sola empresa inversora. Igualmente, queremos conocer cuáles son las características de la competencia cuando el proceso de I+D es incierto (no determinista), es decir cuando una empresa invirtiendo para obtener una innovación no puede saber cuándo ésta tendrá lugar. Otras características de los procesos serán asimismo reconocidas como relevantes, como por ejemplo la forma de la función que expresa la probabilidad de obtener una patente en función de las inversiones realizadas; esas características serán también estudiadas en los modelos en los que sean pertinentes.

El análisis de los puntos anteriores, que hemos intentado sea lo más detallado posible, ha exigido dejar de lado numerosos aspectos importantes de

(3) Por ejemplo, transferir directamente riqueza al descubridor o que el propio Estado sea quien se encargue de invertir en I+D (este procedimiento es el habitualmente utilizado en lo que concierne a la ciencia básica).

la Economía de la Investigación y Desarrollo. En primer lugar, la posibilidad de que una empresa descubridora de una innovación venda los derechos (exclusivos o no) a uno o varios de sus competidores, no ha sido considerada explícitamente. Es cierto que podemos considerar que el valor que una empresa otorga a un descubrimiento puede incluir las ganancias eventuales de la cesión de licencias de dicha innovación; sin embargo, las influencias de la existencia de licencias son mucho más ricas de lo que un simple aumento en el valor de la patente puede hacer pensar (4). No examinamos tampoco el problema de la posibilidad de imitación de la innovación.

Otro punto no considerado en los análisis que presentamos en este trabajo es el de la aversión al riesgo de los competidores en un proceso de I+D y los problemas que entonces conlleva la inexistencia de un mercado de crédito perfecto. A lo largo de todo el trabajo, y para facilitar el análisis de los otros puntos, suponemos que las empresas son neutrales al riesgo. Tampoco hemos abordado las cuestiones relativas a subvenciones estratégicas de los gobiernos en I+D, a pesar de que éste es un aspecto importante para la comprensión de la política de ayudas a la alta tecnología, o la problemática de los programas conjuntos de I+D, nacionales y/o internacionales.

Como último punto de esta lista no exhaustiva de temas no tratados, mencionemos que nada se ha dicho sobre el mercado de trabajo de los investigadores. La incertidumbre que caracteriza tan a menudo los procesos de I+D hace de este mercado un tema privilegiado de estudio, debido a los numerosos problemas de información imperfecta que en él existen y al hecho de que se trata de un mercado de trabajadores muy especializados contratados por empresas que se mueven en general en una industria oligopolística.

Una vez enumeradas las ausencias más relevantes, describamos la organización del trabajo. En la sección 2 abordamos el primer análisis normativo de los procesos de I+D. En la 3, introducimos la noción de competencia por la patente. La sección 4 estudia los modelos deterministas, que consideran que el proceso de I+D no conlleva incertidumbre. La sección 5 introduce la incertidumbre y analiza sus consecuencias. Las secciones 6 y 7 consideran respectivamente los procesos no deterministas con memoria y sin memoria. Finalmente, la sección 8 recoge las conclusiones principales (5).

## 2. UNA PRIMERA APROXIMACION

En esta sección nos planteamos la siguiente pregunta: ¿cuál es el beneficio para una empresa de introducir una innovación, sabiendo que ella es la única que puede invertir en I+D y que la invención será protegida por una patente de duración ilimitada? Es decir, ¿cuánto está dispuesta a pagar una empresa para hacerse con una innovación, teniendo en cuenta que nadie aparte de ella puede comprarla? La respuesta a esta pregunta puede ser considerada como una buena aproximación a la «incitación pura» a realizar I+D. Bajo el nombre de incitación pura entendemos los incentivos de una empresa, una vez dejados al margen tanto los efectos de la forma que toman los costes de investiga-

(4) Para una revisión sobre algunos artículos que tratan el problema de las licencias de patentes, ver por ejemplo Shapiro (1983).

(5) Buenas revisiones sobre aspectos diferentes de la Economía de la I+D son: Guesnerie-Tirole (1985), Kamieu-Schwartz (1982), Nelson-Winter (1982), Reinganum (1989) o Stoneman (1983).

ción *como* los aspectos estratégicos. Consideramos que el resto de las eventuales empresas que puedan encontrarse en la industria no tienen ninguna posibilidad, ni presente ni futura, de invertir en proyectos de I+D. A pesar de su simplicidad, el modelo mantiene sin embargo el interés, pues permite preguntar sobre las razones «primarias» que mueven a una empresa a invertir.

El modelo que vamos a utilizar para analizar este punto está basado en los artículos de Arrow (1962) y Dasgupta-Stiglitz (1980 a). Suponemos una industria en la que el coste unitario de producción es  $c^0$ . La innovación que se le ofrece a la empresa en cuestión permite disminuir este coste hasta el nivel  $c^1 < c^0$ . La función de demanda viene dada por  $D(p)$  y el tipo de descuento es  $r$ .

Consideramos cuatro situaciones, correspondiendo a cuatro estructuras industriales posibles. Primeramente estudiamos el caso de un monopolio regido por un planificador social, abordando después la decisión a tomar por un monopolio privado. En tercer lugar, analizamos la situación de una empresa en una industria competitiva. Cerramos la casuística considerando el problema cuando la empresa en cuestión es un entrante potencial de una industria monopolística.

2.a.) Situémonos pues inicialmente en una industria en la que actúa una única empresa regida por un planificador social. Para éste, el valor de la innovación iguala la diferencia de beneficio social (es decir, el aumento del excedente social) entre las situaciones definidas por los dos costes de producción. Para poder calcular esta cantidad, utilizamos un análisis de equilibrio parcial, al considerar únicamente los efectos del abaratamiento de los costes sobre la industria considerada.

El valor por unidad de tiempo de la innovación es entonces:

$$\Delta S = \int_{c^1}^{c^0} D(c) dc$$

considerando, como es habitual, que el planificador social fija un precio igual al coste marginal.  $\Delta S$  es el área ABDE en la figura 1 (ver pág. siguiente).

El valor social de la innovación viene dado por la suma de la valoración en todos los períodos:

$$V^s = \Delta S / r$$

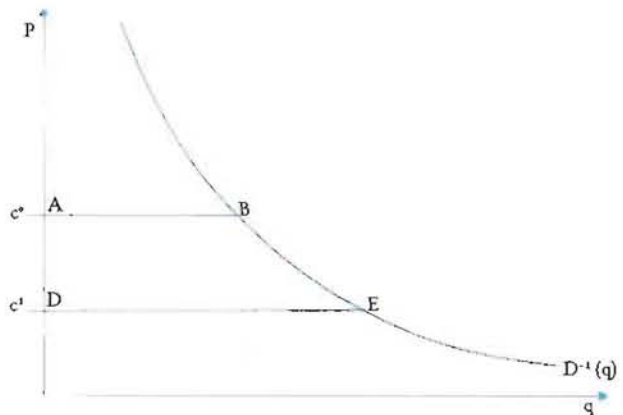
2.b.) Supongamos ahora que la industria que tratamos está controlada por un monopolio privado y que ningún entrante amenaza con introducirse en el mercado. Sea  $\Pi^m(c)$  el beneficio por unidad de tiempo de un monopolio que produce con un coste unitario  $c$ . Del programa de maximización de esta empresa sabemos que:

$$\frac{\partial \Pi^m}{\partial c}(c) = -D(p^m(c))$$

donde  $p^m(c)$  es el precio tarifado por un monopolio con coste unitario de producción  $c$ . El aumento de beneficio de la empresa por unidad de tiempo propiciado por la disminución del coste es pues:

$$\Delta \Pi^m = \Pi^m(c^1) - \Pi^m(c^0) = \int_{c^1}^{c^0} D(p^m(c)) dc$$

FIGURA 1



Gráficamente,  $\Delta \Pi^m$  puede ser visto como la diferencia entre las áreas DIJK y AFGH en la figura 2.

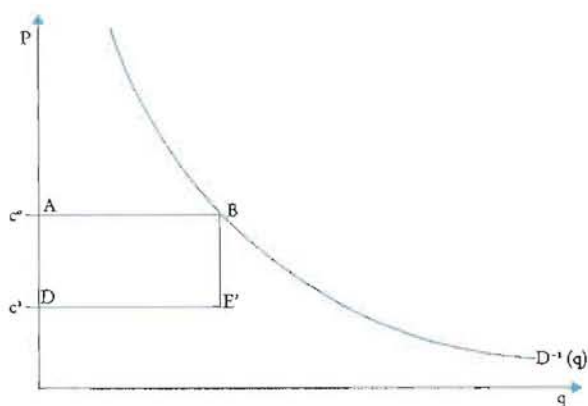
De la misma forma que anteriormente, podemos calcular el valor total de la innovación para el monopolista privado:

$$V^m = \Delta \Pi^m / r$$

Una vez analizados los incentivos a innovar de los dos monopolios, el público y el privado, estamos en situación de preguntarnos quién de los dos está dispuesto a ofrecer más por obtener la innovación. La respuesta es fácil, puesto que  $D(c) > D(p^m(c))$  para todo  $c$ , y ello implica inmediatamente  $V^s > V^m$ . Podemos pues aventurar como primera conclusión que *un monopolio privado está menos interesado en innovar que uno público* y por lo tanto aquella situación lleva a una sub-inversión en I+D.



FIGURA 3



multiplicada por la disminución marginal, puesto que el precio de venta no varía al disminuir el coste:

$$\frac{\partial \Pi^c}{\partial c}(c) dc = -D(c^0)dc$$

Por otro lado, cuando el coste  $c$  entra en la zona en la que la innovación es drástica, una disminución marginal del mismo revierte en un aumento del beneficio igual al aumento monopolístico; es decir (como ya hemos visto) es la demanda al precio de monopolio:

$$\frac{\partial \Pi^c}{\partial c}(c) dc = -D(p^m(c))dc$$

Podemos por lo tanto asegurar que de forma general se verifica la igualdad siguiente:

$$\Delta \Pi^c = \int_{c^0}^{c^1} \frac{\partial \Pi^c}{\partial c}(c)dc = \int_{c^1}^{c^0} \delta(c) dc$$

Si la duración de la protección de la patente es infinita, entonces el valor de la misma para una empresa competitiva viene dado por:

$$V^c = \Delta \Pi^c / r$$

Expresar en forma de integral la ganancia de una empresa competitiva permite una comparación rápida de los incentivos en los tres marcos analizados hasta ahora. En efecto, es intuitivo que

$$D(p^m(c)) \leq \delta(c) < D(c), \text{ para todo } c < c^0$$

siendo la primera desigualdad estricta para los  $c$  próximos de  $c^0$ . Luego tenemos:

$$V^m < V^c < V^s$$

Las desigualdades que acabamos de mostrar llevan a pensar, en una primera reflexión sobre el problema, que una industria monopolística donde existan fuertes barreras a la entrada es la situación industrial menos deseable para el desarrollo de innovaciones. Si la industria es competitiva, las eventuales innovaciones se producen más rápidamente, lo cual siempre es bueno socialmente, pues el interés social es aún mayor que el de una empresa en una industria competitiva.

2.d.) Imaginemos ahora que el mercado inicial está, como en el apartado 2.b., servido por un monopolio, mientras que quien tiene la posibilidad de innovar es una empresa distinta, procedente por ejemplo de otra industria, a la que llamaremos entrante. Veamos cuál es la «incitación pura» de este entrante a invertir en I+D. Distinguiamos también dos casos. Cuando la innovación es drástica, es decir si  $p^m(c^1) \leq c^0$ , el entrante abastecerá todo el mercado posterior imponiendo el precio de monopolio. En cada período, sus ganancias gracias a la posesión de la innovación serán:

$$\Delta \Pi^e = \Pi^m(c^1) = D(p^m(c^1)) [p^m(c^1) - c^1]$$

En caso de que el entrante adopte una innovación no drástica, se producirá una situación de duopolio en el mercado. Los beneficios, tanto del anterior monopolio como del entrante, serán función del tipo de equilibrio que se establezca en el mercado entre las dos empresas. Denotemos  $\Pi_e^d(c^1, c^0)$  los beneficios del entrante en esta situación y  $\Pi_m^d(c^0, c^1)$  los del antiguo monopolio (que a veces llamaremos empresa establecida, porque existe en el mercado antes de que la innovación aparezca). La suma de los beneficios de los duopolistas nunca será superior, y de forma muy general será estrictamente inferior, a las ganancias de un eventual monopolista que produjese con costes  $c^1$ , es decir

$$\Pi_e^d(c^1, c^0) + \Pi_m^d(c^0, c^1) < \Pi^m(c^1)$$

Los incentivos por período del entrante a adoptar la innovación cuando ésta no es drástica son:

$$\Delta\Pi^e = \Pi^d_e (c^1, c^0)$$

ya que el entrante obtiene en la industria beneficios nulos antes de la innovación. Como siempre, denotamos  $V^e$  el valor total de la innovación:

$$V^e = \Delta\Pi^e / r$$

¿Cuál es la relación entre estos incentivos y los sociales o los competitivos? La valoración del entrante sobre la adquisición de la innovación depende totalmente del juego de duopolio que se establece entre él y el anterior monopolio, y nada se ha dicho sobre el mismo. Si suponemos, como puede ser razonable pensar, que el entrante obtendrá al menos los beneficios que puede asegurarse estableciendo un precio igual al coste de la empresa establecida y llevándose toda la demanda, entonces  $V^e \geq V^c$  siempre. Con respecto al monopolio social, la comparación depende mucho de la innovación. Veamos dos casos extremos. Supongamos que la innovación es marginal. Como los costes serán muy próximos, podemos pensar que el juego de duopolio concederá similares beneficios a las dos empresas en el mercado, y que serán estrictamente positivos usualmente (6). El entrante otorgará pues un valor positivo a la posesión de la innovación. Sin embargo, para un monopolio social, una innovación marginal tiene un valor también marginal. Para este tipo de innovaciones, parece pues que  $V^e$  es mayor que  $V^s$  normalmente. Sin embargo, cuando la innovación es drástica, el valor de la innovación iguala los beneficios de monopolio privado. Eso es menor que la valoración de un monopolio social de esa misma innovación. En estos casos tenemos entonces  $V^e < V^s$ .

Pero, sin duda, la comparación más interesante desde el punto de vista schumpeteriano se establece entre los intereses del monopolio y la valoración del entrante. Comparemos  $V^m$  y  $V^e$ . Para las innovaciones drásticas, ello es fácil:  $V^e > V^m$ , ya que el primero refleja los beneficios de un monopolio con coste  $c^1$ , mientras que el segundo es la diferencia de beneficios de ese monopolio y de otro produciendo a un coste  $c^0$ . La comparación en el caso de innovaciones no drásticas plantea el mismo problema que en el párrafo anterior, es decir depende del tipo de juego en el duopolio que se establece tras el descubrimiento. Por continuidad, parece que la valoración del entrante será mayor para las innovaciones «casi» drásticas, aunque de lo que ocurra después no sabemos ya nada. (Puede ocurrir que  $V^e$  sea siempre superior a  $V^m$ . Ello es el caso, por ejemplo, si la demanda es lineal). Pero ello no es muy relevante para nuestro propósito. El mensaje que queríamos hacer llegar es que esta primera aproximación al cálculo del valor de una patente lleva a pensar que una empresa exterior al mercado puede tener (especialmente cuando la innovación es importante) mayores incentivos a descubrir una innovación que un monopolio establecido en el mercado. En este sentido, el enfoque anterior apoya la tesis de la existencia de *monopolios cambiantes* y presenta una imagen de industria muy activa, con continuos cambios en la identidad de las empresas líderes.

(6) Estamos excluyendo implícitamente los juegos à la Bertrand, donde los beneficios son casi cero cuando los costes son similares.

### 3. SUBASTAS DE PATENTES

En la sección anterior, hemos presentado un modelo en el que no había ningún tipo de competencia entre las eventuales empresas interesadas por la innovación. Reflejaba una situación de «innovación absolutamente específica», es decir que sólo podía servir a una empresa concreta. Si embargo, más interesante que esta visión se presenta aquella con empresas *compitiendo por la obtención* de una invención, de una patente. Esta forma de ver las cosas parece especialmente relevante cuando las preguntas a las que tratamos de responder son cuál es la empresa de la industria que obtendrá la patente y cuánto está dispuesta a pagar por ella.

La forma más sencilla de modelar la competencia por una patente es a través de una subasta. Plantea los inconvenientes de que no se tiene en cuenta ninguna consideración temporal y de que la forma en que las inversiones se realizan tampoco juega ningún papel. Permite sin embargo una aproximación rápida e intuitiva al análisis de la existencia de competencia por una patente (7).

Imaginemos que una organización exterior a la industria posee una patente que quiere vender a una de las empresas presentes en ella (8). La forma de venta no va a ser, como puede llevarnos a creer el modelo anterior, ofrecer a cada empresa la posibilidad de comprar la licencia asegurándole que ninguna otra puede hacerlo, sino que el vendedor tratará de sacar el máximo beneficio de la competencia entre las empresas, cuando ésta exista, ofreciendo la patente a través de una subasta. Las empresas saben entonces que la innovación será siempre vendida. La alternativa ya no es comprar o no la innovación, sino comprar la patente o que sea otro quien lo haga.

Tanto en el caso de un monopolio social como en el de un monopolio privado sin amenazas de entrada, la competencia es inexistente. La empresa (única) está dispuesta a pagar por la posesión de la innovación tanto como en la sección anterior habíamos calculado; es decir,  $V^s$  si se trata de un monopolio social y  $V^m$  si es privado. Una subasta no es la mejor manera de vender la licencia, ya que llevaría a una oferta nula. En este caso, el vendedor ofrecerá la patente al precio máximo que las empresas están dispuestas a pagar.

La competencia perfecta conduce, curiosamente, a un resultado similar. Una empresa en un mercado perfectamente competitivo, donde todas producen a un coste unitario  $c^o$ , obtiene un beneficio nulo; igual ocurre si ella tiene costes unitarios  $c^o$ , mientras que uno de sus rivales produce con costes  $c^l$ . Por lo tanto, una empresa competitiva es indiferente entre que un rival compre o no la innovación. Su disposición a pagar en la subasta por la patente será pues exactamente  $V^c$ .

Es igualmente fácil de comprobar que un entrante eventual en un mercado monopolista está también dispuesto a llegar hasta  $V^e$  para adquirir la innovación. La diferencia sin embargo radica en que el monopolio amenazado de entrada consiente en pagar más que  $V^m$  para que el entrante eventual no

(7) Su sencillez es la causa de que sea la forma habitual de considerar la adopción de innovaciones en trabajos que analizan la evolución de una industria ante innovaciones sucesivas, como Vickers (1986), Beath-Katsoulacos-Ulph (1987) o Caballero Sanz-Urbano Salvador (1989).

(8) Podemos pensar que esta organización exterior es un laboratorio de investigación o una empresa de otra industria que posee una invención que puede utilizarse en la industria considerada inicialmente. Sin embargo, ello nos llevaría a tratar de justificar el hecho de que sólo se venda la patente a una empresa. Este modelo debe ser más bien visto como la forma reducida de una carrera (competición) por la patente, de la que sólo un vencedor puede salir.

se haga con el descubrimiento. Entre el beneficio que obtiene si es él quien se hace con la patente y el alcanzado cuando otra empresa se apropia de ella, hay una diferencia de:

$$W^m = [ \Pi^m ( c^1 ) - \Pi_m^d ( c^0, c^1 ) ] / r > [ \Pi^m ( c^1 ) - \Pi^m ( c^0 ) ] / r = V^m$$

Si replanteamos el problema de si el monopolio tiene más o menos interés que el entrante en comprar la innovación, entonces la respuesta cambia sustancialmente con respecto al marco adoptado en la sección 2:

$$W^m \geq V^e, \text{ ya que } \Pi^m ( c^1 ) - \Pi_m^d ( c^0, c^1 ) \geq \Pi_e^d ( c^1, c^0 )$$

y la desigualdad es estricta para las innovaciones no drásticas. Es decir, un monopolio establecido está dispuesto a pagar por obtener la innovación más que una empresa que quisiese entrar en la industria por esa vía. La conclusión de este análisis sería que los monopolios existentes tienden a perpetuarse, pues ellos siempre tienen un mayor interés en *prevenir* innovaciones de eventuales competidores que estos últimos en innovar. Este modelo nos augura pues un mundo de *monopolios que se sustituyen a sí mismos*.

Siguiendo nuestro propósito de identificar los diferentes aspectos de los procesos de I+D, vamos a abordar el análisis de modelos que introducen una estructura temporal. Un primer tipo son los denominados habitualmente modelos deterministas, pues suponen una relación segura y conocida entre el nivel de inversión y el tiempo empleado en conseguir el descubrimiento. Posteriormente, analizaremos modelos que introducen incertidumbre en cuanto a la fecha del descubrimiento.

#### 4. MODELOS DETERMINISTAS

Consideremos en primer lugar la carrera por la patente más sencilla. Supongamos que las empresas implantadas en una industria producen al coste unitario  $c^0$ . La posibilidad de desarrollar una innovación que permite disminuir los costes de producción hasta el nivel  $c^1 < c^0$  aparece. El coste de alcanzar el descubrimiento viene dado por la función  $C(t)$ . Esta función representa el hecho de que si uno de los competidores invierte la cantidad de dinero  $C(t)$  en el instante  $t$ , entonces obtendrá la patente en dicha fecha. El coste actualizado en  $t^0 = 0$  de obtener la patente en el instante  $t$  es  $[ C(t) e^{-rt} ]$ , pues consideramos un tipo de descuento  $r > 0$ . Suponemos que la función de coste es decreciente en el tiempo,  $C'(t) < 0$ ; es decir, cuanto más tarde se desarrolle la innovación, menor es su coste. Para mayor facilidad técnica, suponemos además  $C''(t) \geq 0$  y  $\lim_{t \rightarrow 0} C(t) = +\infty$ .

Sucesivamente, abordamos el análisis de diferentes estructuras industriales. La pregunta que seguimos planteando es cuál es la estructura que permite un descubrimiento más rápido y por qué.

4.a.) Sea en primer lugar un monopolio social. Hemos denotado  $V^s$  el valor que esta empresa otorga a conseguir la patente en  $t^0 = 0$ . Si la posesión se retrasa hasta el instante  $t$ , el valor acordado a la innovación es  $V^s e^{-rt}$ . El monopolio social elegirá la fecha óptima  $t^s$  para maximizar:

$$\text{Max } [V^s - C(t)] e^{-rt}$$

La condición de primer orden determina  $t^s$ :

$$V^s = C(t^s) - C'(t^s) / r$$

4.b.) Un monopolio privado con fuertes barreras a la entrada calcula su fecha óptima para el desarrollo de la innovación  $t^m$  del mismo modo:

$$V^s = C(t^m) - C'(t^m) / r$$

Puesto que  $V^s > V^m$  y dado que  $[C(t) - C'(t) / r]$  es una función decreciente en  $t$ , tenemos que  $t^s < t^m$ . La conclusión es pues que, desde un punto de vista social, el monopolio privado invierte demasiado poco, y tarda *por tanto* demasiado tiempo, para obtener la innovación (9). Se produce una ineficiencia y es debida a que el valor privado del descubrimiento es menor que su valor social.

4.c.) En las situaciones no monopolísticas (hemos visto la competencia perfecta y el monopolio sin barreras a la entrada), una empresa debe tener en cuenta, a la hora de tomar la decisión de cuándo invertir, que si ella no descubre en un instante  $t$  puede que alguno de sus rivales lo haga. Ya no se trata entonces de maximizar un programa sencillo, sino que se plantea un juego entre todas las empresas que tienen la oportunidad de adquirir la innovación. No podemos argumentar que la fecha del descubrimiento de alguna de las empresas competitivas sea tardía con respecto al óptimo social únicamente porque  $V^s > V^c$ , como hemos hecho en el caso del monopolio con barreras a la entrada. De hecho veremos que, en principio, tal afirmación no tiene porqué ser cierta.

Consideremos una industria competitiva. Cada una de las empresas en ella toma la decisión de invertir en una cierta fecha para obtener la patente, en caso de que nadie haya conseguido el descubrimiento antes de ese instante. Una estrategia de una empresa es, por tanto, una fecha. Una vez las estrategias decididas, el juego se resuelve de la forma siguiente: la patente será adquirida por aquella empresa cuya fecha elegida sea la más cercana, tras el pago del coste correspondiente a alcanzar la innovación en dicho instante. Si hay varias empresas con la misma fecha elegida, el ganador será determinado mediante un sorteo. El concepto de solución del juego descrito es de equilibrio de Nash; es decir, cada empresa toma una decisión considerando como dadas las estrategias de los rivales.

(9) Para que la fecha en la que el monopolio desarrolla la innovación se acerque a la óptima desde el punto de vista social, el gobierno está obligado a subvencionar, bien el descubrimiento (subvención a la patente), bien los costes de investigación.

Sin entrar en detalles del juego anterior que no son relevantes para el análisis que estamos abordando, podemos ver que todos los equilibrios de Nash llevan a que la innovación sea comprada en el instante  $t^c$  definido por la ecuación:

$$V^c e^{-rt^c} = C(t^c) e^{-rt^c} \Leftrightarrow V^c = C(t^c)$$

es decir, la empresa que se hace con la patente no obtiene beneficio alguno de la compra, pues la innovación es adquirida en la primera fecha en la que los beneficios no son negativos. La razón reside en que en una situación en la cual las estrategias de todos los participantes lleven a que la patente sea comprada en un instante  $t$  con beneficios estrictamente positivos, cualquier empresa (excepto la de la «estrategia ganadora») tendrá interés en jugar una estrategia consistente en comprar la patente en el instante  $t-\epsilon$ , para un  $\epsilon$  suficientemente pequeño tal que los beneficios sean aún positivos. Tenemos pues que la competición entre las empresas lleva a que éstas anulen las ventajas que para ellas podía suponer la innovación (10). Este problema de anulación del beneficio es debido a que, en un equilibrio, una empresa no tiene en cuenta las *externalidades negativas* que su acción provoca en las otras empresas de la industria (en la literatura anglosajona, este problema es llamado el «common pool problem»).

Como hemos visto, la forma de decidir el momento de la adopción en el caso competitivo es distinta de la de los casos monopolísticos analizados anteriormente. ¿Podemos comparar a pesar de ello las tres fechas inequívocamente? Podemos hacerlo entre la fecha competitiva y la del monopolio privado. En efecto, las ecuaciones que definen las distintas fechas óptimas permiten deducir:

$$V^m < V^c \Leftrightarrow [C(t^m) - C'(t^m) / r] < C(t^c) \Rightarrow C(t^m) < C(t^c) \Leftrightarrow t^m > t^c$$

luego la fecha de introducción de la innovación por un monopolio privado siempre es posterior a la de adquisición de la patente por parte de alguna de las empresas presentes en una industria competitiva.

La comparación no es sin embargo posible entre los instantes de adopción competitivo y el correspondiente al monopolio social:

$$V^s > V^c \Leftrightarrow [C(t^s) - C'(t^s) / r] > C(t^c) \Leftrightarrow C(t^s) - C(t^c) > C'(t^s) / r$$

Como  $[C'(t^s) / r]$  es negativo, no podemos asegurar que ninguna de las dos fechas sea anterior. Cuando los valores sociales y competitivo estén muy próximos, el «common pool problem» provocará que la fecha de introducción de la patente sea demasiado cercana, con relación al óptimo social. Las externalidades negativas creadas por la competencia por el descubrimiento serán tan fuertes que compensarán en demasía el menor incentivo individual de las empresas competitivas. Por el contrario, cuando la diferencia entre las dos valoraciones sea importante, entonces una industria competitiva llegará a la innovación con retraso con respecto al óptimo social.

(10) El argumento es similar al que permite deducir que la competencia à la Bertrand lleva a un nivel de beneficios cero.

4.d.) La última situación que estudiamos es, como es habitual en la literatura y siguiendo con el desarrollo de las secciones anteriores, un monopolio amenazado por un entrante potencial (11). El juego entre las dos empresas sigue las mismas reglas que el ya estudiado en el mercado competitivo. El equilibrio de Nash solución del juego es, sin embargo, de naturaleza distinta. Ello es debido a que las empresas son en este caso distintas entre sí. Cuando  $V^m$  es más pequeño que  $V^e$ , el monopolio querría innovar más tarde del instante óptimo para el entrante. Sin embargo,  $W^m$  es mayor que  $V^e$ , con lo cual, el único equilibrio consiste en que la empresa establecida evite la entrada de su rival en el mercado adquiriendo la innovación en el instante en que el entrante estaría dispuesto a hacerlo, ya que obtendría beneficios positivos con ello. La razón de que sea el monopolio existente quien tenga la posibilidad de seguir esta estrategia de *prevenir* se debe a que, como hemos visto en la sección anterior,  $W^m \geq V^e$ , con desigualdad estricta si la innovación es no drástica (cuando la innovación es drástica, estamos en una situación parecida a la estudiada para el caso competitivo: como las dos empresas tienen los mismos incentivos, la competencia por la patente lleva a un nivel de beneficios nulos para ambas). Llamemos  $t^p$  a ese instante que acabamos de definir, en el que el monopolio puede adquirir la innovación para prevenir la competencia.  $t^p$  está definido por:

$$V^e = C(t^p)$$

Si el monopolio tuviese la intención de apropiarse de la innovación en un instante  $t > t^p$ , entonces el entrante potencial siempre podría obtener beneficios desarrollando el descubrimiento en la fecha  $t - \epsilon > t^p$ . Además, el monopolio está interesado en conseguir la patente en el instante  $t^p$ , en lugar de que sea el entrante quien lo haga. Por lo tanto, el monopolio innovará en el instante  $\min \{ t^m, t^p \}$ .

Como antes hemos señalado para el caso de empresas competitivas, la «carrera por la patente» puede hacer que la fecha de introducción de la innovación sea demasiado temprana con relación al óptimo social. Lo mismo ocurre en el caso presente. Si los valores del monopolio social, del monopolio privado y del entrante potencial están próximos, de tal forma que la fecha social esté cercana a la fecha monopolística, pero que la competencia por la patente disipe casi todos los beneficios, llevando la fecha de adquisición prácticamente al punto más cercano posible con beneficios positivos, entonces tenemos que la velocidad de adopción del descubrimiento es demasiado rápida. La prevención de la entrada costará al monopolio la pérdida de casi todos los beneficios, con una sobre-inversión incluso desde el punto de vista social.

La conclusión del modelo anterior es pues que la existencia de competencia potencial lleva al monopolio a invertir en I+D más de lo que le dictan sus propios intereses. Ello es bueno en principio, puesto que habíamos señalado que el monopolio es la estructura industrial que menos incentivos a innovar induce. Sin embargo, si el grado de competencia potencial es muy inten-

(11) Nos hemos referido a menudo a un entrante potencial, sin explicar por qué consideramos sólo uno. Lo importante del entrante hasta ahora es que provoca la existencia de competencia potencial para el monopolio. No es difícil ver que las conclusiones que siguen, así como las obtenidas en los modelos anteriores, no varían en absoluto si permitimos la existencia de varios entrantes potenciales en lugar de uno sólo.

so, puede llevar a la desaparición de los beneficios que la nueva tecnología pueda aportar, ya que la fecha de adopción puede ser demasiado rápida.

Es interesante preguntarse sobre la robustez de las conclusiones anteriores a la consideración de estructuras dinámicas más ricas dentro del mismo marco determinista. La modelización de un mundo en el que las innovaciones «se compran», sea mediante una subasta en el instante inicial o gracias a una inversión instantánea en la fecha elegida, parece muy rígida para representar el proceso de descubrimiento y desarrollo de una innovación. Para tener una visión más general sobre las ideas que los modelos deterministas desarrollan, hay que abordar el análisis desde una concepción más abierta del papel jugado por la variable tiempo. En concreto, hemos de tener en cuenta que, en general, una innovación no se compra sino que, aunque esté asociada a un proceso determinista, requiere un desarrollo temporal. Las inversiones necesarias para alcanzar una innovación no se realizan de una vez por todas, sino que en general se efectúan progresivamente, en varios períodos.

4.e.) Harris-Vickers (1985 a) y (1985 b) estudian dos modelos muy cercanos entre sí (aunque su comparación resulte, como veremos, muy clarificadora de algunos aspectos del problema), abordando el análisis de una carrera por la patente entre dos empresas (que a veces serán identificadas como un monopolio establecido y un entrante eventual). La perspectiva de los modelos es rica por dos razones. En primer lugar, se considera que las acciones desarrolladas en todos los instantes tienen importancia a la hora de obtener una innovación. En efecto, para finalizar un proceso de I+D, una empresa tiene que recorrer una cierta «distancia a la línea de llegada» (es decir, tiene que acumular una cierta «cantidad de conocimiento»), y ello ha de hacerlo invirtiendo en todos los períodos. La consideración del tiempo como elemento importante obliga a que la noción de equilibrio adoptada sea la de equilibrio perfecto en los sub juegos; es decir, las decisiones sobre el futuro que tomemos ahora deben ser las óptimas también si replanteamos la decisión en ese instante futuro (12). En segundo lugar, la diferencia entre las empresas no viene dada únicamente por valoraciones diferentes sobre la patente, sino que se tienen en cuenta diferencias posibles en cuanto a eficiencia investigadora, la distancia que separa cada empresa del descubrimiento y el tipo de descuento particular. Ello permite tener en cuenta situaciones en las que empresas que valoran menos la innovación compensen esta «desventaja» con ventajas en eficiencia.

Sean pues dos empresas A y B en competencia para obtener un premio indivisible, la patente. Los valores respectivos acordados al descubrimiento son  $V^A$  y  $V^B$ , siendo ambos estrictamente positivos. En el inicio de la carrera, las empresas están a unas distancias  $\alpha_0$  y  $\beta_0$  respectivamente de su meta (13). Los tipos con los que descuentan costes y beneficios son  $r_A$  y  $r_B$ , pertenecientes al intervalo (0,1). Las empresas invierten alternativamente: primero A, luego B, y así hasta que una de ellas consiga la patente, de tal forma que la empresa A toma sus decisiones en los períodos impares ( $t = 2k-1$ ), mientras que B hace lo propio en los pares ( $t = 2k$ ). El premio es ganado por el primero de los competidores en recorrer la distancia que le separa de él.

(12) Los equilibrios perfectos permiten evitar amenazas que no son creíbles. Por ejemplo, no podemos amenazar a nuestro rival con responder ante una acción que no nos conviene con otra acción por nuestra parte que nos lleve a tener pérdidas.  
 (13) La noción de «distancia a la meta» quedará aclarada posteriormente.

Cuando la empresa A invierte la cantidad de dinero  $a$ , se acerca al descubrimiento en una distancia (acumula la «cantidad de conocimientos»)  $W^A(a)$ , donde  $W^A(a)$  es una función estrictamente creciente, continua y tal que  $W^A(0) = 0$ ; igual ocurre para B, cuya función de eficiencia investigadora es  $W^B(b)$ . Denotemos  $\alpha_t$  y  $\beta_t$  las distancias respectivas que quedan por recorrer a los competidores, una vez que la inversión en el período  $t$  ha sido realizada. Por ejemplo, tras la inversión  $k$ -ésima de la empresa A, que denotaremos  $a_k$  (lo que corresponde al período  $2k-1$ ), las distancias serán:

$$\alpha_{2k-1} = \alpha_{2k-2} - W^A(a_k) \text{ y } \beta_{2k-1} = \beta_{2k-2}$$

Si la empresa A alcanza la patente en el período  $T$  (es decir, si  $\alpha_T = 0$  y en los períodos anteriores a  $T$  la distancia es estrictamente positiva), tras unas inversiones  $\{a_t\}$ , obtiene unos beneficios actualizados de:

$$r_A^{T-1} V^A - \sum_{t=1}^{\infty} r_A^{t-1} a_t$$

ya que obtener la patente en  $T$  le supone una ganancia, actualizada, de  $r_A^{T-1} V^A$ , mientras que una inversión realizada en  $t$  le cuesta  $r_A^{t-1} a_t$ . Por otro lado, si, tras las inversiones, ella no obtiene la patente, sus beneficios actualizados son:

$$- \sum_{t=1}^{\infty} r_A^{t-1} a_t$$

Los pagos para la empresa B están definidos de forma similar.

Una estrategia para la empresa A (B) es una función que a cada período impar (par) asocia una cantidad en el intervalo  $[0, \infty)$ , lo que representa su inversión en dicho instante.

La definición más relevante para la comprensión de los resultados posteriores es la de «distancias críticas» de A y B. Estas distancias críticas vendrán dadas por las sucesiones  $\{A_t\}$  y  $\{B_t\}$ , cuya definición se obtiene por inducción. Para entender mejor su significado, antes de la definición formal, consideremos los dos primeros términos correspondientes a la empresa A,  $A_1$  y  $A_2$ .  $A_1$  representa la distancia máxima a la patente que la empresa puede recorrer, tal que el beneficio obtenido con tal acción no sea negativo. La distancia  $A_2$  será la distancia máxima a la patente tal que existe una serie de inversiones  $a_1, \dots, a_n$  con las características siguientes:

- a) La estrategia de inversiones  $a_1, \dots, a_n$  permite recorrer la distancia  $A_2$ .
- b) Esta serie de inversiones dan a la empresa un beneficio positivo, si tras ella obtiene la patente.

c) Una vez que la primera inversión  $a_1$  ha sido realizada, la distancia que queda por recorrer hasta alcanzar la patente es menor que  $A_1$ . Ello quiere decir que la empresa A puede amenazar de forma creíble a B que con obtener el descubrimiento en un solo período, si ello fuese necesario para asegurárselo (por definición de  $A_1$ , el beneficio a posteriori que la empresa obtiene tras recorrer esa distancia es positivo), una vez que la primera inversión ha sido realizada.

La definición de las siguientes distancias,  $A_3, A_4, \dots$ , tiene las mismas características.  $A_t$  es tal que exista una sucesión de inversiones que haga rentable recorrer esa distancia, dejando a la empresa a una distancia máxima de  $A_{t-1}$  tras el primer período. Formalmente (14).

*Definición 1.*  $A_0 = 0$ . Para  $t \geq 1$ ,  $A_t$  es el  $d$  máximo para el que existe un cierto  $n$  y una sucesión  $a_1, \dots, a_n$  verificando las desigualdades siguientes:

i)  $a_i \geq 0$  para todo  $1 \leq i \leq n$

ii)  $\sum_{i=1}^n W^A(a_i) \geq d$

iii)  $A_{t-1} \geq d - W^A(a_1)$

iv)  $r_A^{n-1} V^A - \sum_{i=1}^n r_A^{i-1} a_i \geq 0$

No es difícil ver que: a)  $\{A_t\}$  es creciente; b) si en algún instante deja de ser estrictamente creciente, entonces será constante a partir de él; c) es posible para A recorrer una distancia  $h$  para llegar a la patente obteniendo un beneficio positivo si y sólo si existe un  $t$  tal que  $h \leq A_t$ .

*Resultado.* Si las estrategias de las empresas A y B constituyen un equilibrio perfecto, entonces cuatro situaciones pueden presentarse:

i) Existe un  $t \geq 1$  tal que  $\alpha_0 \leq A_t$  y  $\beta_0 > B_t$ . En este caso, la empresa A ganará la patente, mientras que B no invertirá nunca. A invierte como un monopolio de investigación; es decir, como si B no existiese.

ii) Existe un  $t \geq 1$  tal que  $\alpha_0 > A_t$  y  $\beta_0 \leq B_t$ . Ahora la empresa B ganará la patente, mientras que A no invertirá nunca. B se comporta como un monopolio de investigación.

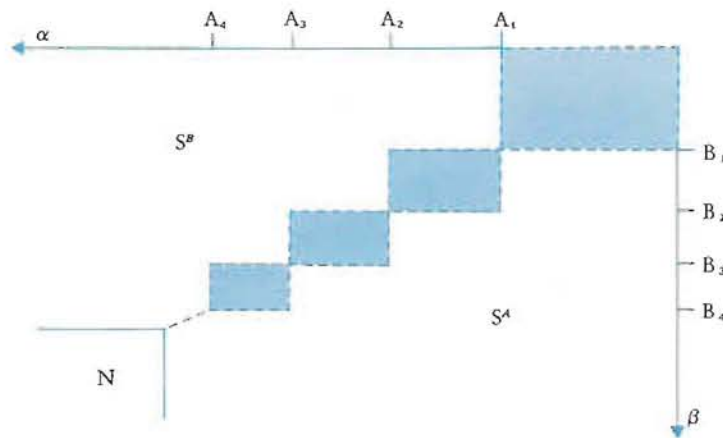
iii) Existe un  $t \geq 1$  tal que  $A_t < \alpha_0 \leq A_{t+1}$  y  $B_t < \beta_0 \leq B_{t+1}$ . En este caso, quien invierte en primer lugar (en nuestro modelo, se trata de A) gana la patente, realizando para ello una primera inversión que le sitúa a una distancia  $A_t$  del descubrimiento, para después invertir como lo haría un monopolio de investigación.

(14) La sucesión  $\{B_t\}$  se define de forma similar.

iv) Para todo  $t \geq 0$ , se tiene que  $\alpha_0 > A_t$  y  $\beta_0 > B_t$ . Si ello ocurre, ninguna de las empresas participará en el proceso.

Este resultado define cuatro zonas claramente diferenciadas en el espacio  $(\alpha, \beta)$  de distancias. En la situación i) (respect. ii)) estamos en la «zona de seguridad» para A (respect. B), denominada  $S^A$  ( $S^B$ ) en la figura 4. En estas zonas, las empresas «en seguridad» se comportan como si no existiese competencia. En el tercer caso, estamos en la «zona del disparador» («trigger area»), que está representada por el área rayada. En ella, la empresa que invierte en primer lugar (la más «rápida») obtendrá la patente, para lo que tendrá que realizar una primera inversión suficientemente agresiva. En el último caso, representado por la zona N, ninguna empresa tiene interés en invertir.

FIGURA 4



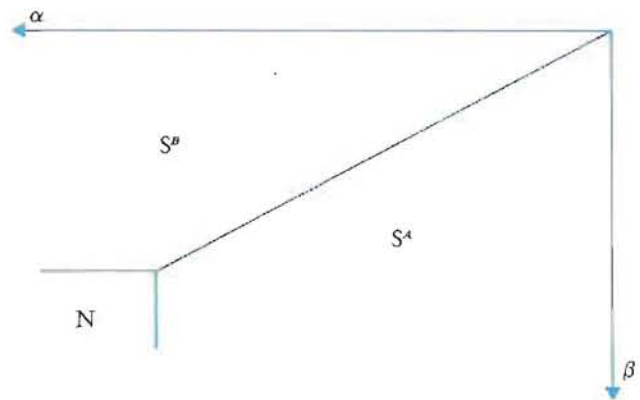
Bajo ciertas condiciones técnicas, se puede calcular el límite del juego cuando la duración de cada período tiende a cero. La solución límite es similar a la del caso discreto, excepto que, gráficamente, la «zona del disparador» se convierte en una recta, caracterizada por la pendiente:

$$\frac{\partial \beta}{\partial \alpha} = \frac{W^B(\Omega_B(\beta))}{W^A(\Omega_A(\alpha))}$$

donde  $\Omega_A(z)$  denota el valor (el beneficio) que A otorga a estar situada a una distancia  $z$  del descubrimiento, pudiendo invertir como un monopolio de investigación.

Antes de discutir el resultado anterior, vamos a comentar rápidamente la variante del modelo anterior presentada en Harris-Vickers (1985 b). Supongamos que una de las empresas, digamos A, quiere desarrollar la innovación,

FIGURA 5



mientras que la otra, B, no está interesada en innovar, aunque obtiene beneficio del hecho de que su rival no lo haga (o, lo que es equivalente, le evita una pérdida). Esta última hipótesis puede corresponder a la situación de una empresa establecida, en el caso de que la reducción de coste propiciada por el descubrimiento es muy pequeña, o se trata de descubrir un producto poco diferenciado de alguno que la empresa ya produce. Los demás datos del problema se mantienen.

La diferencia anterior en cuanto al interés de una de las empresas tiene repercusiones sobre el resultado, en cuanto a la magnitud del mismo. Efectivamente, en la definición de distancias críticas, el cambio de hipótesis juega a favor de la empresa que *no* está interesada en utilizar la innovación. Ello es debido a que, puesto que de hecho no quiere desarrollar el descubrimiento, las eventuales inversiones tienen únicamente un papel disuasivo y la empresa no está obligada a realizar las amenazas (aunque, por supuesto, tiene interés en hacerlo si la situación requiere efectivamente su intervención). Se obtiene el siguiente resultado:

*Resultado.* a) El resultado anterior sigue siendo válido en el marco presente excepto en un punto: desde el instante en que B está en posición de monopolio de investigación, es decir en la situación ii) y tras el primer movimiento de la iii) si B es el primero en invertir, la empresa B no invierte nunca más, puesto que no tiene interés en hacerlo.

b) Las distancias críticas de B son mayores en este modelo que en el anterior, con lo cual su «zona de seguridad» aumenta, mientras que la de A disminuye. Cuando pasamos al límite, la recta de separación de las dos zonas es más horizontal que en el primer caso.

Los modelos presentados de Harris-Vickers permiten obtener conclusiones muy interesantes con respecto al comportamiento de dos empresas que compiten por alcanzar la patente cuando la tecnología de I+D es determinista y hay información completa sobre las inversiones realizadas por las empresas. Resumimos a continuación los puntos principales.

1) En un proceso determinista de búsqueda de una innovación, es únicamente una de las empresas la que invierte (cuando hay inversión). La identidad de esta empresa se determina no solamente por el valor que concede al descubrimiento, sino también por su situación tecnológica, su valoración del presente y su grado de eficiencia.

2) Si la posición de esta empresa que es la única en invertir es suficientemente fuerte con respecto a los rivales, hará las inversiones como si de un monopolio de investigación se tratase. La existencia de una empresa con una situación suficientemente próxima de la mejor situada obliga a ésta a realizar una primera inversión más fuerte de lo que quisiera, para situarse en una posición suficientemente sólida. Una vez hecho esto, seguirá como si fuese un monopolio.

3) La situación de una empresa establecida que está interesada por la innovación puede ser ventajosa frente a eventuales entrantes por varias razones: su valoración de la patente puede ser mayor, en general está mejor situada para invertir en primer lugar y puede tener una ventaja inicial debido a su experiencia. Sin embargo, el modelo no implica una persistencia sistemática del monopolio. Si el entrante consigue contrarrestar las ventajas del monopolio, o si tiene una superioridad técnica (adquirida, por ejemplo, por su experiencia en otros sectores), entonces puede adelantarse a la empresa establecida y obtener la patente.

4) La posición de una empresa establecida cuyo objetivo es únicamente el evitar una entrada en el mercado es mucho más ventajosa que si estuviese interesada también en obtener efectivamente la innovación. *La prevención es menos costosa que la competición.*

5) La competencia a largo plazo entre las empresas quizás no se desarrolla en los diferentes procesos concretos de I+D, sino en la búsqueda de una buena posición para esos procesos.

Intentemos enlazar las conclusiones de estos modelos con la discusión sobre optimalidad de las diferentes estructuras industriales. Como hemos insistido en varias ocasiones, la competencia por la patente hace que las empresas inviertan en general en I+D más de lo que quisieran, lo cual es bueno, pero obliga a que, algunas veces, lo hagan en demasía. La existencia de un cierto grado de competencia, aunque sea potencial, ayuda pues a acercarnos al óptimo social. Con respecto a este mensaje lanzado por los modelos presentados anteriormente, el análisis de Harris-Vickers (1985 a) y (1985 b) hace aparecer una duda. Cuando la información sobre las inversiones realizadas en I+D es suficientemente buena, es decir cuando el retraso en la percepción de las inversiones rivales es pequeño, la empresa que invierta lo hará como un monopolio de investigación, sin verse influida por la eventual competencia.

Pero otro mensaje de características distintas es lanzado al mismo tiempo. Si aparece una innovación potencial, buena desde el punto de vista social pero que no es interesante para la empresa establecida por razones cualesquiera, entonces en general no será desarrollada puesto que el no desear el descubrimiento otorga a esta empresa una posición «amenazadora» (recordemos que sólo tenemos en cuenta amenazas creíbles) muy fuerte. Aún peor, si la longitud de los períodos es importante y la empresa se ve obligada a adquirir la innovación para evitar la entrada, lo hará aunque después no la use. Una empresa en situación de monopolio puede por tanto dedicar recursos al desarrollo de una nueva tecnología y después denegar a la sociedad su utilización. Se invierte para la obtención de «patentes durmientes» que no existen más que para el sostenimiento de una situación de monopolio. Este fenómeno es muy perjudicial, especialmente si tenemos en cuenta que es difícil de evitar por las autoridades correspondientes, ya que no es sencillo distinguir entre el desarrollo de un producto debido a una previsión de futuras capacidades del mismo y la obtención de patentes con fines meramente disuasivos.

Para finalizar con el análisis de los modelos deterministas, señalemos brevemente qué ocurre cuando hay un retraso informacional y las dos empresas juegan simultáneamente. Este análisis puede ser profundizado en el trabajo de Fudenberg-Gilbert-Stiglitz-Tirole (1983). Los resultados son bastante intuitivos, una vez abordados los modelos anteriores. Si la empresa mejor situada para obtener la innovación tiene una ventaja suficiente (suficiente con respecto al tamaño del retraso informacional: cuanto más pequeño el retraso, menor ventaja es necesaria), entonces la empresa peor situada dejará de competir y la primera podrá invertir como si fuese un monopolio de investigación. Sin embargo, cuando la distancia es corta, habrá casos en los que la empresa con peor posición no invertirá, pero habrá otros en los que invertirá mucho para tratar de *sorprender* al líder; éste, por su parte, alternará fuertes inversiones con inversiones de monopolio (15).

La certidumbre sobre la identidad de la empresa ganadora de la patente no es ya total, puesto que incluso si la esperanza de beneficio de la empresa peor situada continúa siendo nula, cuando su desventaja no es muy importante querrá jugar a veces con la sorpresa e invertir en la carrera para sorprender al líder actual. La existencia de retrasos en la recepción de información puede obligar al líder a invertir entonces más de lo que quisiera para evitar esa sorpresa.

La existencia de una primera forma de «incertidumbre» en el proceso de Investigación y Desarrollo lleva pues a resultados que no son tan deterministas como los derivados de los primeros análisis. En la literatura existen otros modelos que introducen la incertidumbre, en el propio proceso de I+D, de forma diferente, en general a través del desconocimiento de la fecha del descubrimiento, una vez realizadas las inversiones. Las secciones siguientes tienen como objeto el de abordar estos modelos y analizar sus conclusiones.

(15) Técnicamente, lo que ocurre es que no existe ningún equilibrio en estrategias puras en el juego anterior. Si el líder está seguro de que la otra empresa no invierte, entonces realizará una inversión «moderada»; pero si ello es el caso, entonces la empresa peor situada tendrá interés en sorprender al líder realizando una inversión fuerte para situarse en una mejor posición e intentar llevarse la patente.

## 5. LA INTRODUCCION DE LA INCERTIDUMBRE

La imagen de un mundo en el que solamente una empresa invierte para obtener una patente, o en el que todo el problema informacional pasa a través de la cantidad de inversiones realizadas, no parece corresponder a la visión que tenemos de la competición tecnológica. Una innovación que se perfila en un mercado cualquiera es en general perseguida por varias empresas de la industria, e incluso por otras que, no perteneciendo al mercado, tratan de aprovechar la oportunidad para introducirse en él. La razón de esta proliferación es que ninguna empresa puede estar segura, ni asegurar con amenazas, que gracias a una cierta cantidad de inversiones conseguirá la patente. La historia proporciona numerosos ejemplos de proyectos que contaban con medios muy importantes y que sin embargo no han culminado. Por otro lado, algunos de los descubrimientos técnicos más importantes han sido desarrollados con pocos medios, frutos de «la buena suerte» del investigador o equipo de investigación.

No hay en general un camino seguro para encontrar el descubrimiento. Ni el camino exitoso tiene por qué ser único. Lo habitual es que existan varias formas posibles de llegar hasta la innovación, pero que no sepamos cuál (o cuáles) es la correcta. A veces, ni siquiera sabemos distinguir la menos costosa, más rápida, menos arriesgada, o no podemos estar seguros de cuándo esa vía de investigación está cerrada y hay que abordar otras nuevas.

La introducción de esos elementos en el análisis parece fundamental si queremos obtener conclusiones sobre la estructura óptima de mercado, las subvenciones o impuestos necesarios para acercarnos al óptimo social, u otros medios de política económica. Sin embargo, es también claro que la dificultad de tener en cuenta todos los factores en un modelo no es tarea fácil. Cuando consideramos uno, tenemos que relajar otro. Nuestro objetivo es por tanto presentar un grupo de modelos que consideran diferentes hipótesis sobre la forma de la incertidumbre o sobre la forma de los costes de los procesos. Ellos nos aportarán ideas sobre la influencia de estos elementos sobre las estructuras industriales emergentes en un proceso de I+D y sobre el nivel de inversión acometido por las empresas.

Quizás la forma más intuitiva de introducir la incertidumbre sobre los resultados de un proceso de I+D sea plasmar directamente la visión de diferentes caminos posibles para llegar al descubrimiento. Es la forma adoptada por Gallini-Kotowitz (1985). Este enfoque, aunque no ha sido muy seguido posteriormente, tiene la ventaja de permitirnos intuir rápidamente las novedades que la introducción de incertidumbre aporta con respecto a las conclusiones obtenidas en los trabajos deterministas. Además, permite explicar por qué las subvenciones no siempre constituyen una solución al problema de la suboptimalidad.

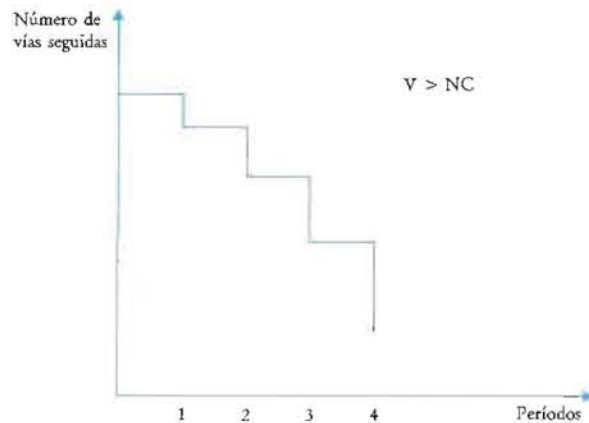
Supongamos, para construir un modelo sencillo, que el valor de la patente es el mismo para cualquier empresa que logre alcanzarla y denotemos por  $V$  (que podemos considerar como el valor descontado de ciertos beneficios:

$V = \Pi / r$ , donde  $r$  es el tipo de descuento) ese valor. Queremos comparar la forma de actuar de un planificador privado (que en este caso es la misma que la de un monopolio) con la de las empresas en una industria competitiva (16). Consideremos que hay  $N$  caminos distintos, vías de investigación, por los que se puede intentar obtener la innovación y que ésta se encuentra al final de uno, y sólo uno, de ellos. El coste de recorrer un camino es  $C$ , la probabilidad de descubrir la patente tras recorrerlo es  $1/N$  y la investigación dura un período.

Veamos cuál es el comportamiento de un planificador. Si el proceso es rentable, tiene que arbitrar entre dos intereses: por un lado, cuanto antes realice la investigación, más gana; pero por otro lado, el recorrer caminos poco a poco le permite ahorrar costes, al pagar cada camino a medida que lo va recorriendo. En cierto modo, podemos decir que investigar da información, ya que tras un fracaso sabemos que la probabilidad de alcanzar el éxito en otro camino es mayor.

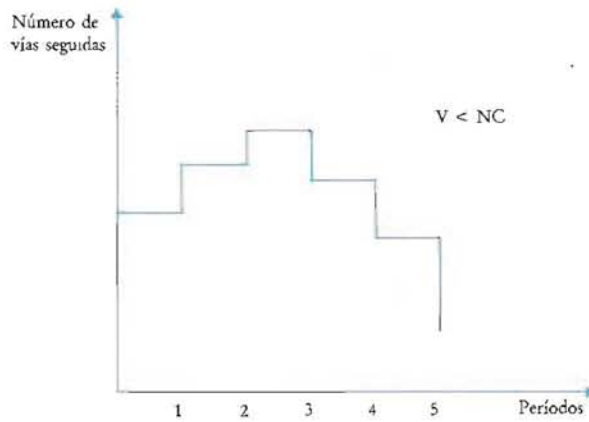
Sin entrar en los cálculos del problema, la forma óptima de desarrollar el proceso viene dada en las figuras 6 y 7. Dos casos se distinguen. Cuando  $V \geq N C$ , entonces el número de vías recorridas por el monopolio es una función decreciente en el tiempo. Por el contrario, cuando  $V < N C$ , entonces primero se recorren pocos caminos, para ir aumentando progresivamente y disminuir al final. Señalemos que la diferencia entre los dos casos se da porque mientras que en el primero es beneficioso recorrer un camino aunque sólo pudiésemos recorrer uno, en el segundo caso si es beneficioso el invertir en el proceso de I+D es porque cada camino recorrido, no solamente da una esperanza de beneficio porque por él se puede llegar a la patente, sino que además nos informa sobre la probabilidad de descubrir la patente en los otros.

FIGURA 6



(16) En los modelos anteriores, y dado que consideramos que el valor social y el competitivo son iguales, deduciríamos que una industria competitiva invertirá demasiado en investigación, puesto que la competencia lleva a las empresas a un punto de beneficio nulo.

FIGURA 7



¿Qué ocurre en una industria competitiva? Seguimos teniendo dos posibilidades. Si  $V \geq NC$ , entonces todos los caminos serán recorridos desde el principio, puesto que cada uno de ellos tiene una esperanza de beneficio positiva y por lo tanto siempre habrá alguna empresa interesada en invertir en él. Además, si el premio de la innovación es suficientemente importante, entonces puede incluso darse el caso de que, si ello es posible, varias empresas inviertan en la misma vía, duplicando por tanto inútilmente el gasto, para repartirse o «sortearse» luego la patente. En el segundo caso, es decir cuando  $V < NC$ , entonces el proceso de I+D no será iniciado. En efecto, ninguna empresa tiene interés en empezar a invertir. Lo haría si alguna institución le garantizase el derecho a ser ella quien recorra los caminos futuros, en caso de no encontrar la innovación en el primer período. Pero en una situación competitiva ninguna empresa tiene ese derecho y, por lo tanto, ninguna comenzará el proceso.

Tenemos pues un ejemplo en el que una industria competitiva puede invertir tanto demasiado como demasiado poco, en función de las características del proceso. Además, en este marco, *no podemos alcanzar la cantidad óptima de inversión por medio de subvenciones*: en una industria competitiva, o bien todos los caminos son recorridos en la primera etapa, o bien no se recorre nunca ninguno.

A modo de ejemplo numérico, supongamos que dos caminos son posibles para alcanzar la innovación, con  $C = [(3/5) V]$  y la tasa de actualización  $\delta = 1/(1 + r)$  situada entre  $1/2$  y  $1$ . Una empresa competitiva no tendrá interés en invertir, puesto que su beneficio esperado al recorrer un camino es  $[(1/2) V]$ , mientras que el coste es  $[(3/5) V]$ . Un monopolio o planificador social encuentra en cambio beneficioso el proceso de I+D, siguiendo primero un camino

para en el período siguiente, si hiciese falta, recorrer el otro. Seguir esta estrategia tiene un coste esperado de

$$(3/5) V + (1/2) \delta (3/5) V = (2 + \delta) (3/10) V$$

mientras que garantiza una esperanza de beneficio de:

$$(1/2) V + (1/2) \delta V = (1 + \delta) (1/2) V$$

El beneficio esperado es mayor que el coste para los valores de  $\delta$  comprendidos entre 1/2 y 1. Como antes hemos argumentado, ninguna subvención puede llevar al nivel de inversión óptima, ya que se trata de una estrategia en dos períodos, imposible de llevar a cabo en una industria competitiva. Si se acuerda una subvención de  $(2/5) V$ , entonces se consigue que el proceso de I+D tenga lugar, pero recorriéndose las dos vías durante el primer período (lo que no es óptimo desde el punto de vista social).

Como hemos indicado en la sección anterior, el tipo de modelo desarrollado en Gallini-Kotowitz (1985) no ha sido muy utilizado posteriormente. Una razón estriba en que se estructura, aunque sirva para explicar de forma sencilla y rápida algunos aspectos de los procesos de I+D, es demasiado rígida cuando se trata de modelar la competición en mercados oligopolísticos.

Otro tipo de modelos ha ido apareciendo para abordar los aspectos relacionados con la cuestión anterior. Asimismo, y tan importante como la capacidad para estudiar la relación entre estructura industrial e inversiones en I+D, estos trabajos plantean el problema de la relación entre tipo de función de costes de I+D y la estructura industrial resultante en la carrera por la patente. Como hemos visto, esta pregunta casi no se plantea cuando los procesos de I+D son deterministas. En este caso, excepto cuando la información es imperfecta y las diferencias entre los participantes mínimas, encontramos solamente una empresa invirtiendo en el proceso. Podemos pues hablar de que la estructura industrial resultante de la competición por la patente es un monopolio de investigación. Como ya anticipa la sección 5, la introducción de la incertidumbre respecto al resultado de la inversión abre nuevas posibilidades.

Consideramos ahora una serie de modelos que tienen la característica de que la incertidumbre es, en cierto modo, extrema: no se tiene en cuenta el efecto de la experiencia, de la memoria, en los procesos de investigación. Se trata del supuesto contrario a la hipótesis determinista, ya que ésta asegura la innovación cuando la «experiencia» alcanza un cierto nivel; además, sólo entonces es posible obtenerla. En los modelos que siguen, suponemos que la probabilidad de descubrir la patente en un cierto instante depende únicamente del «esfuerzo» en ese instante y de una cierta variable aleatoria, pero no del esfuerzo que hayamos desarrollado anteriormente. Es decir, vamos a suponer que nunca se mejora la «técnica de investigar». Analíticamente, ello supone que la probabilidad de descubrimiento en un instante no depende del tiempo que llevemos investigando, invirtiendo, sino que se mantiene constante en cuanto que la inversión instantánea se mantenga invariante.

## 6. MODELOS NO DETERMINISTAS SIN MEMORIA

El interés de los modelos no deterministas sin memoria es que presentan una visión radicalmente opuesta de la anterior. Su comparación con los resultados obtenidos cuando considerábamos procesos deterministas permite explicar y concretar algunas de las razones esgrimidas por detractores y defensores de estructuras monopolísticas, o fuertemente oligopolísticas, como fuentes de innovación. Asimismo permiten una aproximación al problema de la endogeneización de la estructura industrial en una carrera por la patente.

Decimos que un proceso de I+D es no determinista sin memoria cuando la probabilidad de conseguir la patente en un instante no es función de lo que haya ocurrido hasta entonces (aclaramos esta definición un poco más adelante). En general, se considera que un proceso de I+D puede conllevar dos tipos de inversión. En primer lugar, hay una inversión que se realiza justo antes de empezar la investigación y cuyos efectos se extienden durante toda la duración del proceso. Podemos pensar en la construcción de laboratorios específicos para esa investigación, la compra de patentes relacionadas con el tema y que puedan ayudar al descubrimiento o la compra de material específico. En segundo lugar, las empresas deben invertir en cada instante que dure el proceso para mantenerlo vivo. Pensemos en los salarios de los investigadores, el uso de instalaciones no específicas, la compra de material, u otros. Cuanto mayor sea la inversión, mayor será la probabilidad de alcanzar la patente.

La importancia relativa de cada tipo de coste lleva a resultados a veces distintos. Abordamos en primer lugar modelos que suponen un solo tipo de inversión, para discutir después un estudio generalizando en cierto modo los anteriores.

6.1.) Consideremos en primer lugar qué ocurre cuando el proceso de I+D conlleva únicamente inversiones realizadas al principio del proceso, específicas al mismo, y que llamaremos fijas (Este modelo ha sido analizado por Loury [1979]). Supongamos un mercado en el que  $n$  empresas compiten para la obtención de una patente cuyo valor actualizado es  $V$  (común para todas ellas), con un tipo de descuento  $r$ . Cada competidor  $i$  debe escoger su nivel de inversión desde el principio. Este nivel determina la probabilidad instantánea  $x_i$  de realizar el descubrimiento. De hecho, podemos ver la decisión de inversión como «la compra» de una variable aleatoria  $\tau(x_i)$ , que representa la fecha incierta en la que el proyecto será exitoso (esta variable está perfectamente determinada una vez conocido  $x_i$  y supuesto que el proceso no tiene memoria). La empresa gasta en  $t^0 = 0$  y para siempre la cantidad  $C(x_i)$ , independiente de la duración de la investigación, lo que le garantiza la probabilidad instantánea  $x_i$  de alcanzar la patente en cualquier momento (si ninguna otra empresa lo ha hecho hasta entonces). Ninguna inversión posterior tendrá lugar. Suponemos por tanto la relación técnica siguiente:

$\text{Prob}(t \leq \tau(x_i) \leq t + dt | \text{nadie ha encontrado antes de } t) = x_i dt$

es decir,

$$\text{Prob}(\tau(x_i) \leq t) = 1 - e^{-x_i t}$$

Además, haremos la hipótesis de que las variables alcatorias de las diferentes empresas son independientes, con lo que la probabilidad de que una de ellas tenga éxito antes de  $t$  es:

$$\text{Prob}(\tau(x_i) \leq t \text{ para algún } i = 1, \dots, n) = 1 - e^{-(a_i + x_i) t}$$

donde hemos utilizado la notación:

$$a_i = \sum_{j \neq i} x_j$$

Suponemos que la función de coste es continuamente diferenciable, creciente,  $C'(x_i) > 0$ , convexa  $C''(x_i) > 0$ , y se anula en el cero,  $C(0) = 0$ .

La función de beneficios esperados de la empresa  $i$  es:

$$E\Pi(x_i) = \int_0^{\infty} [e^{-rt} e^{-(a_i + x_i)t} x_i V] dt - C(x_i) = \frac{x_i V}{x_i + a_i + r} - C(x_i)$$

Suponemos una situación de equilibrio en cuanto a las decisiones de inversión. La empresa  $i$  maximizará entonces  $E\Pi(x_i)$ , considerando el nivel de las otras empresas  $a_i$  como dado. La condición de primer orden, que es necesaria y suficiente en este caso, se escribe:

$$\frac{\partial E\Pi}{\partial x_i} = \frac{(x_i + a_i + r) V - x_i V}{(x_i + a_i + r)^2} - C'(x_i) = 0$$

El equilibrio simétrico, que se denota por  $x^s$ ,  $x_i = x^s$ ,  $a_i = (n-1)x^s$  (que es el único equilibrio bajo ciertas condiciones de la función de coste), viene entonces definido por:

$$[(n-1)x^s + r] V - C'(x^s) [nx^s + r]^2 = 0$$

Las conclusiones que se pueden obtener de este modelo son las siguientes. Si el equilibrio establecido entre las empresas es simétrico, entonces un aumento de las inversiones de los rivales hace disminuir la inversión de una empresa. Ello lleva a que

$$\frac{\partial x^s}{\partial n} < 0$$

es decir, a que ante un aumento en el número de empresas presentes en la industria, cada una de ellas disminuya su nivel de inversión, aunque aumente en general la inversión total de la industria:

$$\frac{\partial (n x^s)}{\partial n} > 0$$

6.2.) Supongamos ahora un modelo similar al anterior, pero en el cual los procesos de I+D exigen únicamente inversiones «variables» (17). El análisis se debe a Lee-Wilde (1980). Suponemos que los procesos no necesitan inversiones específicas realizadas al principio de la carrera, sino que todo el material puede ser dedicado a tareas alternativas y por lo tanto podemos considerar que el precio de su utilización puede ser asimilado a un alquiler. Para tener una probabilidad instantánea  $x_i$  de descubrir la innovación, una empresa debe gastar un flujo  $C(x_i)$  (hacemos las mismas hipótesis que anteriormente) mientras la investigación dure. Podemos suponer un coste inicial fijo (el coste de los «papeleos»), independiente del flujo elegido y que no afecta a la probabilidad, de  $F$ .

El beneficio esperado de una empresa es entonces:

$$E\Pi(x_i) = \int_0^{\infty} e^{-rt} e^{-(a_i + x_i)t} [x_i V - C(x_i)] dt - F = \frac{x_i V - C(x_i)}{x_i + a_i + r} - F$$

cuya condición de primer orden se escribe:

$$\frac{\partial E\Pi}{\partial x_i} = \frac{(x_i + a_i + r) [V - C'(x_i)] - [x_i V - C(x_i)]}{(x_i + a_i + r)^2} = 0$$

y el equilibrio simétrico  $x^s$  viene dado implícitamente por:

$$[V - C'(x^s)] [(n - 1) x^s + r] - x^s C'(x^s) + C(x^s) = 0$$

A partir de esta ecuación, que define el equilibrio simétrico, es fácil ver que

$$\frac{\partial x^s}{\partial n} > 0$$

Es decir, un aumento de la inversión agregada de los rivales hace aumentar la inversión de una empresa. Como consecuencia, un aumento de la competencia (un  $n$  mayor) hace aumentar no sólo el nivel total de inversiones de la industria, sino también el de cada participante.

La diferencia en la reacción de una empresa ante un aumento de la competencia exterior en los dos modelos anteriores se debe al hecho siguiente. En el modelo de Loury (1979), la aparición de nuevos competidores tiene como único efecto el disminuir la esperanza de beneficio de las empresas presentes

(17) Para el estudio de un modelo dinámico, dentro de la misma óptica de considerar los costes únicamente como un flujo, el lector puede dirigirse a Reinganum (1981) y (1982). La dificultad de su análisis y el hecho de que esta autora trata el problema bajo hipótesis muy restrictivas y, a veces, contradictorias, nos ha inducido a no incluirlos en este trabajo.

en la carrera. Puesto que deciden el nivel de gastos al principio y para siempre, un menor incentivo empuja hacia una menor inversión. Cuando consideramos el modelo analizado en Lee-Wilde (1980), además del efecto anterior «negativo» sobre la inversión, aparece otro que va en la dirección contraria: una mayor competencia implica una menor duración de la carrera por la patente y por tanto un mayor interés en invertir lo más rápido posible (el efecto es igual al provocado por un eventual aumento del tipo de interés). Cuando la investigación es beneficiosa, el segundo efecto es más fuerte que el primero.

Tres preguntas surgen en este estadio. La primera es cuál es la aportación de los modelos anteriores al análisis que venimos llevando a cabo, es decir en qué se diferencian sus conclusiones de las obtenidas en los marcos anteriores. La segunda es cuál es su robustez, si sus resultados difieren incluso en su versión más sencilla. Y la tercera, en qué medida estos trabajos pueden ayudar a la comprensión de la relación entre forma del proceso de I+D y tipo de estructura industrial resultante en una carrera por la patente.

La respuesta a la primera pregunta ha sido contestada ya parcialmente: si los procesos de I+D no son deterministas, entonces no habrá monopolios de investigación, al menos si las valoraciones de las diferentes empresas sobre la patente no son muy distantes. En el modelo con costes fijos, cualquier número de empresas admite un equilibrio, excepto si suponemos una pequeña zona inicial de rendimientos crecientes en la tecnología de I+D. Cuando consideramos únicamente costes variables, el pago fijo inicial  $F$  determina el número máximo de empresas; si es nulo, tendremos una estructura competitiva en la carrera por la patente. La conclusión es pues que cuando el número de empresas presentes en la industria es grande, encontraremos también muchas de ellas buscando la eventual innovación.

Un poco distinta es la cuestión de saber si, en una situación de producción monopolística, el mismo fenómeno se produce. ¿Encontraremos monopolios de producción que se suceden a sí mismos (como predicen los modelos deterministas), o, por el contrario, veremos emerger a menudo monopolios cambiantes o duopolios, debido a que el innovador sea una empresa distinta de la dominante en la industria?

Reinganum (1983) responde en buena medida a la primera pregunta. Esta autora muestra hasta qué punto la consideración de la incertidumbre en los procesos de I+D altera las conclusiones obtenidas en los modelos deterministas. Supongamos una industria en la que una empresa establecida se comporta como un monopolista, con un coste unitario de producción de  $c^0$ . Una innovación posible que disminuye el coste hasta  $c^1 < c^0$  aparece. Imaginemos que el proceso de I+D que permite alcanzarla es no determinista sin memoria, con la inversión considerada como un flujo.

Utilizamos la misma notación que la que habíamos empleado en la sección 2 para denotar los beneficios de monopolio y duopolio:  $\Pi^m(c^0)$ ,  $\Pi^m(c^1)$ ,  $\Pi^d_m(c^0, c^1)$  y  $\Pi^d_e(c^1, c^0)$ . Denotemos los valores actualizados de estos benefi-

cios por  $V^m(c^0) = [\Pi^m(c^0) / r]$ , y así para  $V^m(c^1)$ ,  $V^d_m(c^0, c^1)$  y  $V^d_e(c^1, c^0)$  (18). Sean  $x$  e  $y$  las probabilidades instantáneas de éxito elegidas, respectivamente, por el monopolio y por el entrante. Los beneficios esperados son entonces:

$$E\Pi^m(x) = \int_0^{\infty} e^{-rt} e^{-(x+y)t} [x V^m(c^1) + y V^d_m(c^0, c^1) + \Pi^m(c^0) - C(x)] dt = \frac{x V^m(c^1) + y V^d_m(c^0, c^1) + \Pi^m(c^0) - C(x)}{x + y + r}$$

para la empresa establecida, ya que, si en un instante  $t$  la innovación aún no ha sido descubierta (lo que ocurre con probabilidad  $e^{-(x+y)t}$ , en el intervalo  $(t, t + dt)$  la empresa recibe los beneficios  $[\Pi^m(c^0) dt]$ , paga los costes  $[C(x) dt]$  que le acarrea la investigación, tiene una probabilidad  $[x dt]$  de obtener la patente valorada en  $V^m(c^1)$  y sufre una probabilidad  $[y dt]$  de que el rival consiga el descubrimiento, en cuyo caso su situación vale  $V^d_m(c^0, c^1)$ . De igual modo, los beneficios para el entrante son:

$$E\Pi^e(y) = \int_0^{\infty} e^{-rt} e^{-(x+y)t} [y V^d_e(c^1, c^0) - C(y)] dt = \frac{y V^d_e(c^1, c^0) - C(y)}{x + y + r}$$

De las condiciones de primer orden derivadas de la maximización de  $E\Pi^m(x)$  con respecto a  $x$  y de  $E\Pi^e(y)$  con respecto a  $y$ , obtenemos que

$$\frac{\partial x}{\partial y} > 0, \quad \frac{\partial y}{\partial x} > 0$$

Ello quiere decir que la existencia de un rival empuja cada empresa a invertir más de lo que quisiera. Igual que en el modelo de Lee-Wilde (1980), podemos además demostrar que el sistema formado por las condiciones de primer orden define un equilibrio de Nash  $(x^*, y^*)$  entre las dos empresas. Este equilibrio verifica además el sistema siguiente:

$$E\Pi(x^*) = V^m(c^1) - C'(x^*)$$

$$E\Pi(y^*) = V^d_e(c^1, c^0) - C'(y^*)$$

La conclusión más importante del trabajo de Reinganum (1983) se deriva directamente de las condiciones anteriores: Si la innovación es drástica, entonces en el equilibrio de Nash *el monopolio invierte estrictamente menos que el entrante* (19). Por un argumento de continuidad, la afirmación es asimismo válida para algunas innovaciones no drásticas.

(18) Para relacionar con la notación anterior:  $V^e = V^d_e(c^1, c^0)$  y  $V^m = V^m(c^1) - V^m(c^0)$ .

(19) Intuitivamente, ello se deriva de la fórmula anterior, debido a que en las innovaciones drásticas,  $V^d_e(c^1, c^0) = V^m(c^1)$ . Como las dos empresas están en la misma situación cara a la innovación y el monopolio obtiene beneficios antes de ella, es razonable pensar que  $E\Pi^m(x^*) > E\Pi^e(y^*)$ ; pero esto es equivalente a  $x^* < y^*$ .

Tener en cuenta que el proceso de I+D tiene incertidumbre modifica pues sustancialmente las conclusiones a las que habíamos llegado anteriormente. No solamente otras empresas no establecidas en el mercado participarán en la carrera por la patente, sino que es posible que lo hagan invirtiendo más que el propio monopolio existente, con lo que tendrán mayores posibilidades de alcanzar la innovación (señalemos que si el número de entrantes fuese  $n$ , la empresa establecida invertiría menos que cualquiera de ellos). Un marco más dinámico aún, con innovaciones que van apareciendo continuamente, presentaría la imagen de un mundo de monopolios cuya identidad cambia muy probablemente con cada nueva innovación (20). Reencontramos la visión de *monopolios cambiantes*, que había aparecido en la sección 2.

La razón de esta conclusión radica justamente en el resultado establecido en el caso en el que la innovación era ofrecida a una empresa, donde afirmábamos que  $V^m < V^e$  cuando la innovación es drástica, o «casi» drástica, además de en la completa incertidumbre que reina en los procesos no deterministas sin memoria. Efectivamente, hemos visto que cuando el proceso es determinista, el monopolio puede amenazar de forma creíble al entrante eventual con adoptar la innovación antes que él en caso de que éste inicie las inversiones. O, si el marco es distinto, adquirirá la patente justo en el momento en el que el entrante podría hacerlo. Sin embargo, cuando el proceso es no determinista, el hecho de que el monopolio realice más inversiones no le garantiza el éxito. El entrante puede intentar el descubrimiento, pues tiene posibilidades de alcanzarlo. Ahora bien, si el monopolio no puede evitar la inversión rival, el juego cambia sustancialmente de aspecto. Ya no cuentan el «interés en prevenir», sino que es el «interés directo en la innovación» lo que marca el grado de inversión. Si la valoración de la innovación es idéntica para las dos empresas, entonces el entrante invertirá más porque el monopolio tiene menos prisa, dado que mientras que el descubrimiento no sea realidad él obtiene una renta de  $\Pi^m$  ( $c^0$ ).

Para finalizar y completar el análisis de los trabajos de esta sección, vamos a estudiar qué ocurre cuando consideramos que la inversión en I+D requiere tanto un aporte inicial como un flujo de gastos. Ello permite aclarar las conclusiones de los modelos anteriores en cuanto a la reacción de una empresa tras el aumento de las inversiones rivales. Asimismo, consideramos la posibilidad de la existencia de rendimientos crecientes, tanto como decrecientes, a escala. La estructura industrial de la carrera por la patente puede ser entonces determinada de forma natural, según el valor de los parámetros de la función de investigación (21). El modelo aparece de forma natural como un intento de respuesta a las preguntas segunda y tercera.

(20) Ver Reinganum (1985).

(21) Para una profundización del análisis que sigue, ver Pérez Castrillo-Verdier (1988). Un resumen en castellano ha aparecido en el Suplemento de 1989 de Investigaciones Económicas.

6.3.) Supongamos  $n$  empresas en una industria en la que aparece una innovación posible. Para tratar de conseguirla, cada empresa  $i$  debe elegir su nivel de inversiones, lo cual le proporcionará una cierta probabilidad instantánea  $x_i$  de alcanzar su objetivo. Para determinar esa probabilidad instantánea, la empresa debe escoger dos parámetros. El primero corresponde a su inversión fija  $F_i$ , realizada en el instante inicial y cuyos efectos se extienden duran-

te toda la duración de la carrera por la patente. La segunda corresponde a su inversión variable  $I_t$ , que sólo afecta al instante en el que se realiza y que se mantiene sólo hasta que la propia empresa o alguno de sus rivales alcance la innovación. Suponemos que la probabilidad instantánea viene dada por una función Cobb-Douglas:

$$x_t = g(F_t, I_t) = F_t^\alpha I_t^\beta$$

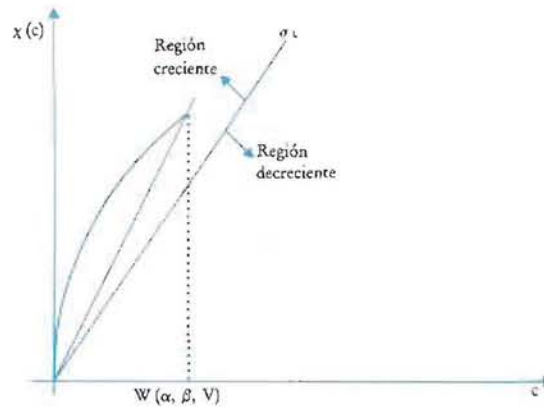
con  $0 < \alpha < 1$  y  $0 < \beta < 1$ . Esta formulación permite discutir tanto casos de rendimientos decrecientes a escala ( $\alpha + \beta < 1$ ), como crecientes ( $\alpha + \beta > 1$ ).

Igual que anteriormente, podemos calcular la esperanza de beneficios de una empresa que invierte  $(F_t, I_t)$ , para tener una probabilidad instantánea  $x_t = F_t^\alpha I_t^\beta$  de alcanzar la patente, considerando como dada la probabilidad instantánea total  $a_t$  de sus rivales:

$$E\Pi(F_t, I_t) = \frac{x_t V - I_t}{x_t + a_t + r} - F_t$$

Las características de la función de reacción óptima  $\chi(a_t + r)$  de la empresa vienen reflejadas en las figuras 8, 9 y 10. En ellas se ve que hay tres casos posibles, en función del tipo de rendimiento del proceso de I+D.

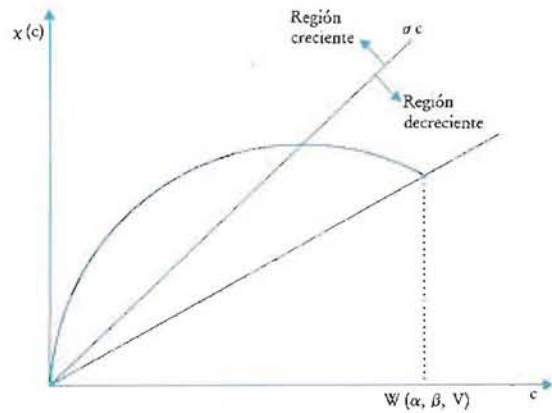
FIGURA 8  
Para  $\alpha \geq 2(1 - \beta)$  (con  $\sigma \geq 1$ )



En la primera figura, se representa una situación con rendimientos crecientes a escala muy fuertes,  $\alpha + 2\beta \geq 2$ . En ella, un aumento de la inversión rival lleva a la empresa a una mayor inversión, hasta un punto  $W(\alpha, \beta, V)$  en el que la competencia rival es tan fuerte que la empresa está interesada

FIGURA 9

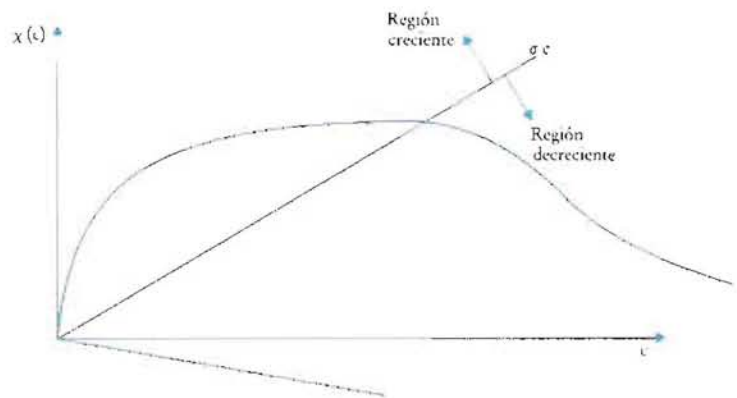
Para  $\alpha < 2(1 - \beta)$  y  $\alpha + \beta \geq 1$  (con  $1/2 < \sigma < 1$ )



en abandonar la carrera. El segundo caso presenta asimismo rendimientos crecientes a escala, pero menos fuertes. La reacción es entonces creciente inicialmente, para decrecer posteriormente. Igual que en el caso anterior, existe un punto  $W(\alpha, \beta, V)$  de competencia tan fuerte que la empresa está interesada en dejar de invertir. Finalmente, en la figura 10 se representan las situaciones de rendimientos decrecientes a escala. En este caso, la empresa siempre tiene interés en invertir, su función de reacción es creciente para niveles bajos de inversión rival y decrecientes para los niveles altos.

FIGURA 10

Para  $\alpha + \beta \geq 1$  (con  $\sigma < 1$ )



Las diferencias en la reacción de las empresas llevan a la existencia de situaciones de equilibrio diferentes en función de los parámetros que definen el tipo de proceso de investigación en el que las empresas están inmersas. Dos casos polares aparecen, que corresponden a las dos posibilidades de rendimientos: rendimientos decrecientes ( $\alpha + \beta < 1$ ) y rendimientos crecientes a escala ( $\alpha + \beta > 1$ ). La situación de rendimientos constantes ( $\alpha + \beta = 1$ ) tiene características de ambas.

*Resultado.* i) Si  $\alpha + \beta < 1$ , entonces un equilibrio de Nash existe entre  $n$  empresas, para cualquier  $n$ , en el cual todas invierten de forma positiva. Este equilibrio es único, simétrico y no verifica la propiedad de libre entrada (22).

ii) Si  $\alpha + \beta > 1$ , entonces existe un cierto valor positivo  $N(\alpha, \beta, V)$  tal que un equilibrio de Nash existe para  $n$  si y sólo si  $n \leq N(\alpha, \beta, V)$ . En caso de existir, el equilibrio es único y simétrico. Además, para todo  $(\alpha, \beta, V)$ , podemos encontrar un  $n$  para el que existe un equilibrio verificando la propiedad de libre entrada.

iii) Si  $\alpha + \beta = 1$ , entonces existe un equilibrio de Nash para  $n$  empresas, para todo  $n$ , si y sólo si  $V$  es suficientemente grande. Cuando existe, el equilibrio es único, simétrico y no verifica la propiedad de libre entrada, para cualquier  $n$ .

La conclusión general que se obtiene del análisis anterior es que la estructura industrial en una carrera por la patente depende fuertemente de la pendiente de la tecnología de I+D. Cuando la tecnología es cóncava con respecto a ambos costes, entonces se puede esperar una situación muy competitiva. Un equilibrio existe para cualquier número de empresas y además no verifica nunca la propiedad de libre entrada. Una forma de endogeneizar el número de empresas en competición consiste en considerar un pequeño coste fijo que tiene que ser desembolsado obligatoriamente antes de empezar la inversión, o equivalentemente suponer una pequeña zona inicial en la que la I+D es convexa (ver, por ejemplo, Dasgupta-Stiglitz [1980 b]). Por el contrario, cuando la tecnología de I+D es siempre, o en gran parte, no cóncava con respecto a los costes fijos y variables, entonces la solución natural del juego es un oligopolio. Siempre es posible encontrar un número de empresas  $n$  suficientemente importante tal que un equilibrio verificando la propiedad de libre entrada exista, y además podemos elegirlo para que no exista un equilibrio para  $(n + 1)$  empresas. Como casos extremos, existen configuraciones de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  para las que la situación resultante es un monopolio natural, o incluso tales que los procesos no sean rentables y por lo tanto no exista investigación.

La segunda pregunta a la que queríamos responder con este modelo concierne la comparación de los efectos contradictorios encontrados en Loury (1979) y Lee-Wilde (1980) en cuanto a la reacción de una empresa frente a un aumento de las inversiones rivales. La comparación es pertinente, especialmente si tenemos en cuenta que mientras que el resultado más intuitivo es el obtenido

(22) Decimos que un equilibrio verifica la propiedad de libre entrada cuando, en el caso en que las empresas desarrollen sus estrategias de equilibrio, ninguna empresa exterior tiene interés en entrar en el mercado (en nuestro caso, en invertir en I+D).

en el modelo con inversiones fijas (la inversión individual disminuye cuando la competencia aumenta), los trabajos posteriores han tenido una clara tendencia a utilizar la visión de inversiones variables, ya que se considera el tiempo como una variable muy importante.

*Resultado.* Si un equilibrio simétrico con  $n$  empresas invirtiendo  $x^s$  existe y si  $n \geq 3$ , entonces

$$\frac{\partial x^s}{\partial n} < 0, \text{ con } \frac{\partial (nx^s)}{\partial n} > 0$$

La integración de los dos tipos de coste parece por tanto dar resultados más cercanos a los obtenidos por Loury que los correspondientes de Lee-Wilde, excepto quizás cuando el número de empresas en competición es muy pequeño.

Algunos de los comentarios que nos permiten los modelos anteriores, que presentan procesos no deterministas sin memoria, son los siguientes. En primer lugar, la forma en que se desarrolla la competición entre las empresas marca estrechamente el resultado de dicha competición. Al igual que ya lo habíamos señalado en el análisis de los modelos deterministas, el hecho de que las empresas privadas estén menos incitadas de lo que un gobierno pueda estarlo no implica necesariamente que el nivel de inversión privado sea inferior al óptimo social. El problema de las externalidades negativas no tenidas en cuenta por una empresa a la hora de invertir (el «common pool problem») puede llevar incluso a la sobreinversión privada (23). En segundo lugar, con respecto a la discusión sobre la persistencia de los monopolios tras el proceso de investigación, los resultados alcanzados llevan a poner un interrogante en la afirmación de que son los monopolios establecidos quienes descubren la innovación, manteniendo así su posición. La incertidumbre de los procesos de I+D puede llevar no sólo a que algunas veces sean entrantes en el mercado quienes alcancen la innovación, sino incluso a señalar que un grado de incertidumbre elevado puede desembocar en que los entrantes realicen más inversiones y consigan entonces la innovación con más probabilidad que el monopolio establecido.

Por último, los modelos presentados en esta sección permiten una reflexión sobre la estructura natural de una carrera por la patente. ¿Habrá pocas o muchas empresas en la búsqueda de la innovación? ¿De qué variables depende? ¿Cómo reacciona el nivel de inversión a un aumento de la competencia? El número de empresas que compiten para alcanzar un descubrimiento no es una variable exógena, sino que está determinado endógenamente. Cuando la tecnología de I+D presenta rendimientos de escala decrecientes, encontraremos una industria muy competitiva. Por el contrario, si aparecen rendimientos de escala crecientes, entonces el número de empresas que invertirán en I+D será reducido. Ellas competirán en un mercado oligopolístico. Si por cualquier razón, el número de empresas en competición aumentase, o si alguna

(23) Señalemos que esta conclusión es cierta aunque nos situemos en un caso en el que la situación de referencia no fuese el comportamiento de un monopolio público, sino aquella en la que el gobierno controla las empresas en la industria, llevando a cada una al nivel de inversión que él desea.

de las empresas aumentase su inversión (por ejemplo porque su gobierno la subvenciona), entonces el resto de los competidores disminuirá su esfuerzo investigador, excepto quizás si el oligopolio está formado por un número muy pequeño de empresas (24).

## 7. MODELOS NO DETERMINISTAS CON MEMORIA

La comparación entre los trabajos que consideran que la tecnología de I+D puede ser esquematizada mediante procesos deterministas y aquellos que sugieren todo lo contrario, es decir que hay que suponer una enorme incertidumbre para reflejar fielmente la naturaleza de los procesos, nos ha permitido comprobar hasta qué punto la forma de la tecnología determina la naturaleza de la competición, la estructura de la industria formada por las empresas investigadoras y las conclusiones normativas sobre la optimalidad o no del nivel de inversión privado.

El paso siguiente del análisis debe ser entonces ver qué ocurre en los casos intermedios. Se trata de saber si considerar procesos no deterministas, pero en los que la acumulación de *experiencia* aumenta las posibilidades de éxito para una misma inversión instantánea, aporta ideas nuevas sobre la estructura industrial o sobre el tipo de juego que se plantea entre las empresas.

La dificultad del análisis ha provocado que sólo un reducido número de artículos hayan abordado este problema. De entre ellos, únicamente vamos a tratar dos modelos presentados en Fudenberg-Gilbert-Stiglitz-Tirole (1983). El hecho de no analizar los otros dos trabajos que, en nuestra opinión, estudian este tema, a saber Harris-Vickers (1987) y Grossman-Shapiro (1987), es debido a que estos autores se interesan sobre todo en la forma temporal en la que las inversiones se realizan cuando dos empresas compiten por alcanzar una innovación y esta temática no entra en la problemática que centra nuestro interés.

El objetivo principal de los modelos de Fudenberg *et al.* (1983) es identificar la relación inversa que se constata entre la existencia de *disuasión* (en el sentido de la palabra «preemption»), es decir que una empresa consiga evitar que los rivales entren en competición, y la posibilidad para una empresa de *adelantar* a su rival (25). Este concepto pretende introducir la posibilidad para una empresa mal situada en una carrera por la patente de colocarse por delante del rival. Evidentemente, este concepto no tenía sentido en los modelos deterministas, debido a la ausencia de hecho de una carrera por la patente.

En el primer modelo, se presenta una situación en la que adelantar al líder durante la competición es imposible. Ello lleva a que, en el único equilibrio perfecto del juego, la única empresa que invierte sea la primera en tener la posibilidad de hacerlo. En el segundo modelo, la empresa peor situada tiene la posibilidad de adelantar al líder durante el desarrollo de la investigación. A pesar de que las hipótesis sobre los beneficios de los participantes son similares a las del modelo anterior, en este caso encontramos muchas ocasiones en las que las dos empresas compiten por la obtención de la patente.

(24) Esta propiedad ha sido muy utilizada en análisis recomendando políticas de subvención o de imposición a la I+D.

(25) La palabra utilizada por los autores es «leapfrogging», que corresponde a la imagen del «juego de la pídola», del «salto del burro», o de «saltar por encima».

Definamos en primer lugar el concepto de experiencia (memoria) que será utilizado. Suponemos que una empresa A (respectivamente B) (26) debe en cada instante  $t$  elegir entre continuar en competición realizando un esfuerzo  $a(t) = 1$  (respectivamente  $b(t) = 1$ ) o abandonar la carrera para siempre. Nos limitamos por tanto a procesos de I+D en los que la intensidad investigadora es constante. Si la empresa A invierte desde el instante  $t^A$ , su experiencia en  $t$  se mide por la variable  $w^A(t)$ :

$$w^A(t) = \int_{t^A}^t a(\tau) d\tau = t - t^A$$

y su probabilidad instantánea de descubrimiento viene dada por  $\mu(w^A(t)) = \mu(t - t^A) \equiv \mu^A(t)$  (resp.  $\mu(w^B(t)) = \mu(t - t^B) \equiv \mu^B(t)$ ), que supondremos función continua y estrictamente creciente de la experiencia. Señalemos que si una empresa tiene acumulada más experiencia que su rival en un instante  $t^0$ , y si las dos continúan en competición a partir de entonces, la situación de mayor experiencia se mantendrá para cualquier  $t \geq t^0$ . Por último, supondremos que la valoración  $V$  de la patente es la misma para las dos empresas.

Vayamos con el primer modelo, que llamaremos modelo de una etapa. Sea  $c$  el coste de la I+D por unidad de tiempo. El beneficio esperado instantáneo para la empresa  $I$  ( $I = A, B$ ) en el período  $t$ , condicionado a que ningún competidor haya conseguido la patente hasta entonces, es  $[\mu^I(t) V - c]$  donde  $c$  es el coste de seguir en competición, y la probabilidad de que ninguna empresa haya descubierto la innovación es:

$$\exp \left[ - \int_0^t [\mu^A(\tau) + \mu^B(\tau)] d\tau \right]$$

Luego, si el tipo de descuento es  $r$  y la fecha de entrada en la competición de la empresa  $I$  es  $t^I$ , el beneficio esperado de esta empresa es:

$$\Pi^I = \int_{t^I}^{\infty} \exp \left[ - \int_0^t [\mu^A(\tau) + \mu^B(\tau)] d\tau \right] [\mu^I(t) V - c] dt$$

*Resultado.* Bajo la hipótesis de que la I+D es una actividad beneficiosa para un monopolio y de que no lo es para un duopolio que invierta continuamente, tenemos que si  $t^A < t^B$  (es decir, si la empresa A tiene la oportunidad de comenzar la investigación antes que B), entonces existe un único equilibrio perfecto y es tal que la empresa A invierte en I+D mientras que B no se incorpora a la carrera.

El resultado es intuitivo, ya que si la innovación es beneficiosa únicamente para una empresa parece lógico pensar que debe ser la primera en tener

(26) Consideraremos que la competición se desarrolla entre dos empresas.

la ocasión de invertir quien debe entrar en la competición. La unicidad del equilibrio no es, sin embargo, inmediata; es debida a la exigencia de perfección. Sin ella, podemos imaginar fácilmente una situación de equilibrio en la que la primera empresa no entra por miedo a que la otra lo haga desde el instante en que tenga oportunidad.

Veamos si el resultado se mantiene si modificamos el marco anterior, introduciendo una componente aleatoria en la relación entre el esfuerzo dedicado a la I+D y la acumulación de experiencia. Abordamos el modelo con varias etapas.

Consideramos que la experiencia está determinada por dos factores: el tiempo pasado en cada etapa influye positivamente sobre el éxito, y completar etapas reduce el camino que hay que recorrer (27). Este último efecto ofrece a una empresa que está mal situada en la carrera (por ejemplo, porque ha empezado posteriormente) la oportunidad de adelantar a la otra y situarse como líder en la competición por la patente. Para construir un modelo sencillo, supongamos dos etapas y, como antes, dos empresas A y B. Esta última comienza con un cierto retraso exógeno  $\tau^B > 0$  (es decir, consideramos  $\tau^A = 0$ ). Supongamos, al igual que en el modelo anterior, que la carrera es rentable para un monopolio, pero que la esperanza de beneficios es negativa si las dos empresas compiten hasta la obtención de la innovación por una de ellas.

Para alcanzar la innovación, hay que tener éxito en dos etapas. En la primera de ellas, el coste de mantenerse en la competición es de  $C_1$  y la probabilidad instantánea de que la empresa I haga este descubrimiento preliminar en la fecha  $t$  es  $\mu(w_1^I(t))$ , donde  $w_1^I(t)$  representa la experiencia adquirida en esta fase. Para considerar un caso sencilla, la segunda etapa será un proceso sin memoria, como los analizados en Lee-Wilde (1980). Veamos cómo varían las conclusiones con relación al resultado derivado del modelo anterior.

*Resultado.* Bajo las hipótesis anteriores, el único equilibrio perfecto del juego tiene las características siguientes:

a) La empresa A invierte siempre en I+D, excepto si B alcanza el descubrimiento preliminar antes de una cierta fecha  $\tau^B$ .

b) En función de los parámetros del problema, pueden ocurrir tres situaciones: la empresa B, o bien (i) no comienza las inversiones, (ii) invierte en I+D hasta el instante  $\tau^B$  para abandonar la competición si en ese momento aún no ha conseguido el descubrimiento preliminar, o (iii) invierte en I+D siempre, excepto si el líder llega al descubrimiento preliminar antes de la fecha  $\tau^A + \tau^B$ .

Hay que señalar que la *ausencia de disuasión* puede ser obtenida a partir de otras consideraciones distintas sobre los procesos. Por ejemplo:

*Resultado.* Si la probabilidad de descubrimiento es constante con relación a la experiencia durante la etapa preliminar y creciente durante la segunda, entonces el único equilibrio perfecto es el siguiente: las dos empresas partici-

(27) Podemos pensar en la existencia de dos fases distintas en el proceso de I+D. La forma más sencilla de verlo es considerar una primera fase de Investigación y otra posterior de Desarrollo, donde ambas serían no deterministas y donde ninguna patente de uso exclusivo es posible para la fase de Innovación, sino que hay que completar todo el proceso para tener derecho a patentar.

parán en la carrera en la primera fase pero, desde que una de ellas consigue el descubrimiento preliminar, la otra abandona; este abandono puede darse, o bien inmediatamente, o bien después de un cierto tiempo si no consigue pasar a la segunda etapa.

La influencia de la posibilidad de «adelantar» sobre la existencia de disuasión total está así demostrada. Las empresas en posición desfavorable en una carrera por la patente pueden intentar cambiar su situación. Si el cambio no se consigue en un intervalo de tiempo prudencial, entonces dejarán en general de invertir. Ello corresponde a la imagen de apariciones más o menos rápidas de empresas en un mercado donde una empresa está en posición fuerte, con el único objetivo de «sorprenderla», de conseguir una innovación o una buena posición rápida. Competir durante mucho tiempo no les es beneficioso, pero pueden conseguir un beneficio esperado positivo del mercado gracias a «inversiones esporádicas». El efecto de dichas inversiones esporádicas sobre la fecha esperada de introducción de la innovación en la industria es el provocar una mayor rapidez en la obtención de la innovación, tanto por su efecto directo (los entrantes eventuales pueden obtener la innovación), como por la competencia que inducen en las empresas establecidas (aunque este último efecto no se refleja en el modelo).

Como conclusión principal de estos modelos, e intentando enlazar con las discusiones de las secciones anteriores, dos puntos aparecen como más significativos. En primer lugar, y como era de esperar, los resultados de la consideración de hipótesis a medio camino entre el determinismo y el no determinismo extremo están también a medio camino entre los resultados de ambos marcos. Ni obtenemos ausencia de competición como en los primeros, ni competición que destrona en general a las empresas establecidas como en los segundos. A veces, una empresa suficientemente fuerte (podemos pensar en un monopolio establecido) impone completamente su ley y consigue evitar todas las entradas eventuales. Otras veces, deberá sufrir la competencia de otras empresas, al menos durante ciertas fases de la carrera. En segundo lugar, aparece una nueva idea en relación a la posibilidad para un monopolio de evitar los competidores. Es muy importante saber si los procesos de I+D permiten o no cambios de «liderazgo» entre las empresas compitiendo por una innovación. Cuanto mayor sea la posibilidad de adelantar al líder y colocarse en cabeza de la competición, menor será la posibilidad de que una empresa evite la entrada de competidores.

## 8. CONCLUSION

En este trabajo, hemos abordado la relación entre la forma del proceso de Investigación y Desarrollo, la estructura industrial existente en el mercado y el nivel de inversiones en I+D de las empresas en la industria. Hemos tratado de dar una visión amplia de los resultados obtenidos, haciendo especial hincapié en los argumentos que los sostienen, manteniéndonos dentro del marco de la literatura teórica que estudia los procesos de I+D.

La conclusión más relevante es que tanto la cantidad de empresas que invierten en investigación como el nivel y la forma de dichas inversiones dependen estrechamente del tipo de proceso de I+D que se trate. No podemos por tanto decidir sobre, por ejemplo, la optimalidad de las inversiones, la política de subvención adecuada, la eficiencia de los programas de inversión conjunta, etc., sin saber antes el tipo de proceso al que van dirigidas nuestras miras. Y no hay ninguna razón para pensar que todos los procesos industriales tiene características similares, sino más bien todo lo contrario.

Una de las preguntas más importantes a la que hemos tratado de responder es si una industria en la que hay muchas oportunidades tecnológicas estará dominada por una empresa que irá adquiriendo, de forma más o menos rápida, las distintas innovaciones que vayan apareciendo, o si por el contrario encontraremos más bien empresas distintas que se van sucediendo unas a otras, en un proceso continuo de «destrucción creativa» de monopolios.

Si el proceso de I+D es determinista, es decir si existe una relación directa y conocida entre las inversiones de I+D efectuadas y el instante en que una empresa consigue la innovación, entonces estamos seguros de que una sola empresa dedicará recursos para conseguirla. Si la situación de partida es monopolística, entonces será en general el mismo monopolio existente quien invertirá, no debido a que él tiene más interés en conseguir la innovación, sino a que es quien está más interesado en que ninguna otra empresa lo haga. Nos encontramos con un monopolio que se sustituye a sí mismo. Sin embargo, el ritmo de inversión no viene marcado por la segunda motivación sino por la primera, con lo que se produce una sub-inversión con respecto al óptimo social, debido a que los incentivos de un monopolio son inferiores a los óptimos. Excepto por problemas de retraso en la percepción de la información sobre las eventuales inversiones rivales, el monopolio se aprovecha de que estaría dispuesto a «invertir tan rápido como fuese necesario», para de hecho hacerlo más lentamente.

Cuando el proceso de I+D es incierto, entonces la amenaza anterior no tiene tanto sentido. Ni el monopolio ni los competidores eventuales están seguros de que invirtiendo más se alcance la innovación, con lo que los segundos pueden tener interés en invertir a pesar de que el monopolio «amenace». Si el proceso es muy incierto, por ejemplo si se trata de un proceso no determinista sin memoria, entonces las amenazas no son en absoluto creíbles y lo que contará a la hora de decidir el nivel de inversiones es el interés en alcanzar la innovación y no el interés en evitar que otro lo haga (ante la imposibilidad de ver realizado el segundo objetivo). Por lo tanto, si la innovación es suficientemente importante, por ejemplo si es drástica, los competidores de un monopolio tendrán más incentivos en conseguir el descubrimiento que la empresa ya establecida, con lo que invertirán más y conseguirán la innovación con mayor probabilidad. Esta situación refleja la imagen de una industria con líderes continuamente cambiantes.

Cuando el proceso no es ni tan determinista ni tan incierto, encontramos situaciones a medio camino entre las dos presentadas anteriormente. Algu-

nas veces el monopolio puede evitar la inversión de otras empresas, mientras que en otras ocasiones tiene que hacer frente a la competencia. Una idea que aparece entonces es la de si una empresa que se encuentre en una situación atrasada en una carrera por la patente (en el sentido de que sus probabilidades son menores para el mismo nivel de inversión) debido a que ha tenido menos tiempo para adquirir experiencia, tiene la posibilidad de adelantar a la empresa mejor situada y colocarse en la posición de líder. Cuando esta posibilidad existe, entonces es más fácil que la competición se plantee, aunque esto no ocurra en todo momento. Podemos encontrar empresas que entran en competición con la esperanza de adquirir experiencia muy rápidamente, y si no lo consiguen dejan el proceso.

No es únicamente el grado de incertidumbre lo que determina la estructura de la competición tecnológica. Las características de la función de probabilidad, en cuanto al tipo de rendimientos que presenta, influye también de forma importante sobre el tipo de competencia. Por ejemplo, si el proceso de I+D es no determinista sin memoria y admite inversiones tanto fijas como variables, entonces dos casos polares aparecen: si la función de probabilidad instantánea presenta rendimientos de escala decrecientes, entonces la carrera por la patente estará abierta a toda empresa y tendremos una industria competitiva, mientras que cuando la función presenta rendimientos de escala crecientes, entonces una estructura oligopolística emerge.

Señalemos finalmente que el gobierno puede intervenir en los procesos de I+D para tratar de acercar el esfuerzo de inversión privada al óptimo social, en caso de que ambos niveles sean distintos. Muchas veces, el gobierno puede concretar el óptimo social gracias a una subvención, bien destinada a cubrir parte de los costes del proceso, bien dirigida a aumentar el valor de la patente. Sin embargo, hay casos en los que alcanzar el óptimo no es posible. Ello es debido a que una empresa que empieza a invertir en un proyecto no rentable a corto plazo, pero en el que obtendría beneficios a largo si se le permitiese continuarlo ella sola, no puede apropiarse de las «externalidades en cuanto al aprendizaje» que sus primeras inversiones provocan.<sup>12</sup>

## REFERENCIAS

- ARROW, K.J., 1962, Economic Welfare and the Allocation Resources for Inventions, en *The Rate and Direction of Incentive Activity: Economic and Social Factors*. R.R. Nelson (ed.), NBER, Princeton University Press.
- BEATH, J., Y. KATSOULACOS y D. ULPH, 1987, Sequential Product Innovation and Industry Evolution, *The Economic Journal* 97, 32-43.
- BEATH, J., Y. KATSOULACOS y D. ULPH, 1989, Strategic R&D Policy, *The Economic Journal* 99, 74-83.
- CABALLERO-SANZ, F. y A. URBANO-SALVADOR, 1989, The analytical Structure of Sequential Models of Innovation and Market Evolution, mimeo.
- DASGUPTA, P., 1986, The Theory of Technological Competition, en Stiglitz, J.E. y G.F. Mathewson, *New Developments in the Analysis of Market Structure*, London: Macmillan.
- DASGUPTA, P., R. GILBERT y J. STIGLITZ, 1982, Invention and Innovation under Alternative Market Structures: The Case of Natural Resources, *Review of Economic Studies* 49, 567-582.
- DASGUPTA, P., E. MASKIN, 1987, The Simple Economics of Research Portfolios, *The Economic Journal* 97, 581-595.
- DASGUPTA, P. y J. STIGLITZ, 1980 a, Industrial Structure and the Nature of Innovative Activity, *The Economic Journal* 90, 266-293.
- DASGUPTA, P. y J. STIGLITZ, 1980 b, Uncertainty, Industrial Structure and the Speed of R&D, *Bell Journal of Economics* 11, 1-28.
- DIXIT, A.K., 1988, A General Model of R&D Competition and Policy, *Rand Journal of Economics* 19, 317-326.
- FREEMAN, C., 1974, *The Economics of Industrial Innovation*, Penguin. (Ed. en castellano en Alianza Universidad).
- FUDENBERG, D., R. GILBERT, J. STIGLITZ y J. TIROLE, 1983, Preemption, Leapfrogging and Competition in Patents Races, *European Economic Review* 22, 3-31.
- GALBRAITH, J.K., 1952, *American Capitalism*, Boston: Houghton Mifflin.
- GALLINI, N.T. y Y. KOTOWITZ, 1985, Optimal R&D Processes and Competition, *Economica* 52, 321-334.
- GILBERT, R. J. y D. NEWBERY, 1982, Preemptive Patenting and the Persistence of Monopoly, *The American Economic Review* 72 (3), 514-526.
- GILBERT, R.J. y D. NEWBERY, 1984, Uncertain Innovation and the Persistence of Monopoly: Comments, *The American Economic Review* 74 (1), 238-242.
- GROSSMAN, G. y C. SHAPIRO, 1986, Optimal Dynamic R&D Programs, *Rand Journal of Economics* 17, 581-593.
- GROSSMAN, G. y C. SHAPIRO, 1987, Dynamic R&D Competition, *The Economic Journal* 97, 372-387.
- GUESNERIE, R. y J. TIROLE, 1985, L'Economie de la Recherche-Développement, *Revue Economique* 36, 843-870.
- HARRIS, C. y J. VICKERS, 1985 a, Perfect Equilibrium in a Model of a Race, *Review of Economic Studies* 52, 193-209.
- HARRIS, C. y J. VICKERS, 1985 b, Patent Races and the Persistence of Monopoly, *Journal of Industrial Economics* 33 (4), 461-483.
- HARRIS, C. y J. VICKERS, 1987, Racing with Uncertainty, *Review of Economic Studies* 54, 1-21.
- KAMIEN M. y N.L. SCHWARTZ, 1972, Timing of Innovations Under Rivalry, *Econometrica* 40 (1), 43-60.

- KAMIEN M. y N.L. SCHWARTZ, 1975, Market Structure and Innovation: A Survey, *Journal of Economic Literature* 13, 18-32.
- KAMIEN M. y N.L. SCHWARTZ, 1976, On the Degree of Rivalry for Maximum Innovative Activity, *Quarterly Journal of Economics* 90, 245-260.
- KAMIEN M. y N.L. SCHWARTZ, 1982, *Market Structure and Innovation*, Cambridge University Press (Ed. en castellano en Alianza Economía y Finanzas).
- KATZ, M.L., y C. SHAPIRO, 1985, On the Licensing of Innovations, *Bell Journal of Economics* 16, 504-520.
- KATZ, M.L., y C. SHAPIRO, 1987, R&D Rivalry with Licensing or Imitation, *The American Economic Review* 77 (3), 402-420.
- KREPS, D. y R. WILSON, 1982, Sequential Equilibrium, *Econometrica* 50, 863-894.
- LEE, T. y L. WILDE, 1980, Market Structure and Innovation: A Reformulation, *Quarterly Journal of Economics* 94 (2), 429-436.
- LIPPMAN, S.A. y K.F. McCARDLE, 1988, Preemption in R&D Races, *European Economic Review* 94 (2), 429-436.
- LOURY, G., 1979, Market Structure and Innovation, *Quarterly Journal of Economics* 93 (3), 395-409.
- NELSON, R.R. y S.G. WINTER, 1982, *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press.
- PEREZ-CASTRILLO, J.D. y T. VERDIER, 1988, The Industrial Structure of a Patent Race with Fixed and Variable Costs, doc. L.E.P. n.º 161.
- PEREZ-CASTRILLO, J.D. y T. VERDIER, 1989, On subsidizing R&D, doc. DELTA n.º 89-08.
- REINGANUM, J.F., 1981, Dynamic Games of Innovation, *Journal of Economic Theory* 25, 21-41.
- REINGANUM, J.F., 1982, A Dynamic Game of R&D: Patent Protection and Competitive Behaviour, *Econometrica* 50 (3), 671-688.
- REINGANUM, J.F., 1983, Uncertain Innovation and the Persistence of Monopoly, *The American Economic Review* 73 (4), 741-748.
- REINGANUM, J.F., 1984 a, Uncertain Innovation and the Persistence of Monopoly: Reply, *The American Economic Review* 74(1), 243-246.
- REINGANUM, J.F., 1984 b, Practical Implications of the Game Theoretic Models of R&D, *The American Economic Review* 74, 61-66.
- REINGANUM, J.F., 1985, Innovation and Industry Evolution, *Quarterly Journal of Economics* 99, 81-99.
- REINGANUM, J.F., 1989, The Timing of Innovation: Research, Development and Diffusion, *Handbook of Industrial Organization*, ed. por R. Schmalensee y R.D. Willing, North-Holland.
- SCHERER, F.M., 1986, *Innovation and Growth: Schumpeterian Perspectives*, M.I.T. Press, Cambridge.
- SCHUMPETER, J., 1934, *The Theory of Economic Development*, Harvard University Press. (Ed. en castellano en Fondo de Cultura Económica).
- SCHUMPETER, J., 1942, *Capitalism, Socialism and Democracy*, Harper Brothers.
- SELTEN, R., 1975, Reexamination of the Perfectness Concept for Equilibrium Points in Extensive Games, *Internacional Journal of Game Theory* 4, 25-55.
- SHAPIRO, C., 1983, Patent Licensing and R&D Rivalry, *The American Economic Review* 73 (papers and proceedings), 23-30.
- STONEMAN, P., 1983, *The Economic Analysis of Technological Change*, Oxford University Press.
- TIOLE, J., 1987, *The Theory of Industrial Organization*, M.I.T. Press Cambridge.
- VICKERS, J., 1986, The Evolution of Market Structure when There is a Sequence of Innovations, *The Journal of Industrial Economics* 35 (1), 1-12.