

# INTEGRACION ECONOMICA Y POLITICAS DE DIFUSION DE TECNOLOGIA

Eugenio J. Miravete (\*)

Department of Economics  
Northwestern University

*Resumen* En este trabajo se presenta un modelo de regulación óptima de las trayectorias de difusión de innovaciones y se aplica posteriormente en el ámbito internacional. Las trayectorias de difusión son la solución «open-loop» de un juego simétrico entre los productores de la innovación que toman como dada las expectativas de los usuarios. Se demuestra que con una definición general de la demanda de innovaciones, el papel de las expectativas no es relevante y se obtienen las políticas de regulación óptima cuando usuarios y productores no se ubican en el mismo país. Bajo los supuestos del modelo, podemos comprobar que las políticas de difusión pueden diferir considerablemente dependiendo de qué nivel de gobierno lleve a cabo la regulación.

*Abstract* In this paper we develop a model of optimal regulation of innovation's diffusion paths, and we extend it to the international framework. Given innovation user' expectations, the diffusion path is the open-loop solution of a symmetric game among producers. We can show that users' expectations are not of interest for the optimal regulation policy with a general enough specification of demand function. We obtain the optimal regulation policies for different cases where users and producers do not reside in the same country. We show that there may be important differences in policy depending on which administrative level authority carries out the regulation.

## 1. INTRODUCCION

La internacionalización creciente de la economía pone de relieve la importancia de las políticas tecnológicas como un instrumento que permite mantener o alcanzar una posición favorable en la división internacional del trabajo. Los elementos que atraen la atención a nivel europeo, con el proceso de integración en marcha, son la definición del tipo de política tecnológica a desarrollar, fundamentalmente básica o aplicada (Hartley, 1984); la cooperación de distintos gobiernos y empresas en el desarrollo de programas comunitarios como el EUREKA (Peterson, 1991), o la articulación de estos programas comunitarios junto con una política regional que permita el acceso de las distintas regiones de Europa a un nivel tecnológico semejante (Wäldchen, 1988). Pero aún en un marco común, las políticas tecnológicas tienen una orientación bastante distinta, de acuerdo con las características propias de cada país (1). Se puede afirmar que existe un grupo de países como Estados Unidos, Gran Bretaña y Francia, donde la política tecno-

---

(\*) Este artículo está basado en el capítulo quinto de mi tesis doctoral: «Difusión Internacional de tecnología a nivel industrial», dirigida por Francisco Caballero Sanz y Dulce Contreras Bayarri, y defendida en la Universitat de València en diciembre de 1992. Deseo agradecer los comentarios de A. M. Rodríguez y de X. Vilá a una versión preliminar de este trabajo, así como los de los evaluadores anónimos de esta revista que han permitido mejorar considerablemente la presentación del mismo. En cualquier caso, y como de costumbre, los errores que subsistan son responsabilidad exclusiva del autor. La investigación se ha beneficiado de la financiación recibida de Bancaja y de la Fundación Ramón Areces.

(1) La idea de que en cada país, debido al entorno (condicionantes institucionales), se consigan resultados muy distintos con las mismas políticas tecnológicas se ha hecho muy popular. El trabajo de Ergas (1987) analiza las diferencias de los dos modelos básicos de política tecnológica que ahora comentamos.

lógica está orientada hacia la investigación básica, programada y planificada generalmente por alguna agencia estatal. La política de investigación está bastante asociada a la defensa y pasado este nivel, no existe otra planificación, de modo que se deja ejercer al mercado en todo lo que a difusión de la tecnología se refiere. Por el contrario en otro grupo de países como Alemania, Suecia o Suiza, el Estado no se encarga de la provisión de tecnología, sino que facilita su adquisición a las empresas que en general son más pequeñas que las beneficiarias de los grandes programas de investigación y desarrollo de los otros países. En este segundo caso, se trata de economías abiertas y, de acuerdo con Ergas (1987), el efecto de la política se deja notar bastante rápidamente en tanto que se mejora de inmediato la estructura productiva. En un proceso tan descentralizado como éste la política tecnológica consiste en el establecimiento de unos cauces institucionales que favorezcan determinadas actuaciones individuales. Este segundo tipo de política tecnológica presta mayor importancia a la difusión tecnológica, dejándola en menor medida a los arbitrios del mercado pero sin eliminar un sistema de incentivos que aseguren la correcta asignación de recursos. Un elemento que se revela de especial importancia para el éxito de la difusión de tecnologías es la calidad del capital humano de los trabajadores a fin de que se pueda asimilar lo más rápidamente posible el progreso técnico. El otro y más importante es la constante conexión entre centros de investigación y empresas para solucionar problemas concretos. De este modo se consigue que la rentabilidad de las innovaciones se asegure y lo que es más importante, que el progreso técnico tenga una amplia difusión (no necesariamente óptima) entre las empresas del país.

Uno de los elementos que tradicionalmente han confundido a los gestores de política tecnológica ha sido la idea de asociar una mayor difusión de las innovaciones con una situación socialmente preferible. Este planteamiento ha sido discutido en distintos trabajos por Stoneman y otros autores, haciendo énfasis en el coste de generación de las innovaciones como un elemento importante a tener en cuenta a la hora de diseñar las políticas de incentivos que ha de favorecer la difusión de innovaciones. El marco teórico básico que aborda estos temas ha sido desarrollado por Ireland y Stoneman (1986) y por Stoneman y David (1986). De estos trabajos se desprende que el papel de las expectativas de los agentes es un elemento fundamental que condiciona el diseño de políticas óptimas, por lo que retendremos este elemento en nuestros desarrollos. Uno de los objetivos de este trabajo consiste en desarrollar este marco teórico para analizar las políticas de regulación óptima en presencia de difusión internacional de tecnologías. Esto se va a hacer al mismo tiempo que se considera un proceso de aprendizaje más general que el utilizado por estos autores, que sólo incorporan progreso técnico exógeno en la industria de bienes de capital, productora de las innovaciones. El modelo nos va a permitir diseñar políticas óptimas de incentivos a la difusión de innovaciones dependiendo de las expectativas de los compradores y de la estructura de mercado de la industria productora de bienes de capital. Este marco teórico puede ser utilizado, como veremos, para diseñar políticas óptimas cuando la producción y utilización de las innovaciones no tiene lugar en el mismo territorio.

Partiendo de la formulación de los modelos de Ireland y Stoneman (1986) y de Stoneman y David (1986), en este trabajo se relajan los supuestos de evolución de los costes de las empresas productoras de bienes de capital y la especificación de la demanda de innovaciones. En este último caso, la demanda de bienes duraderos va a ser modelada en función del conjunto de innovaciones vendidas con anterioridad y no sólo dependiendo del tiempo. Por tanto lo que tenemos es una función de demanda que depende de un stock, lo que junto con el supuesto de separabilidad en sus argumentos permite demos-

trar que el papel de las expectativas de los consumidores es menos relevante de lo que los modelos citados anteriormente concluían, basados en una especificación muy restrictiva de la demanda. El efecto del aprendizaje es tan sólo el de modificar la cuantía de los subsidios o impuestos óptimos que han de aplicarse en cada momento, lo que no carece de interés puesto que dependiendo del efecto relativo entre la variación de precio que genera una innovación adicional vendida y la reducción de costes que ello provoca, podemos obtener signos contrarios a lo que los modelos anteriores predicen.

La estructura del artículo es la siguiente. En primer lugar presentaremos el marco de referencia básico para una economía cerrada. En el desarrollo de este apartado se obtiene uno de los resultados de este trabajo: la política de difusión de tecnología es en gran medida dependiente de la especificación de la función de demanda de las mismas, y en particular la distinción sobre el tipo de expectativas de los usuarios potenciales de la innovación carece de interés si consideramos una función stock de demanda, esto es donde el precio viene determinado por el volumen de innovaciones en uso en cada momento. A continuación analizaremos cuál es la política óptima de un gobierno en cuyo país no se producen innovaciones, y éstas deben ser importadas. Posteriormente analizaremos el otro caso extremo en el que en el país donde se producen las innovaciones no existe demanda de éstas, debiendo exportarse la producción en su totalidad. Por último estudiaremos el caso de dos economías perfectamente integradas pero con gobiernos propios que deciden qué política es óptima dependiendo de si son exportadores o importadores de tecnología y del tamaño relativo de sus industrias de bienes de capital. En el último apartado se reúnen las conclusiones y se señalan las limitaciones de este análisis.

## **2. UN MODELO GENERAL DE DIFUSION CON DISTINTOS REGIMENES DE EXPECTATIVAS Y APRENDIZAJE**

Uno de los puntos, a nuestro entender, más débiles del planteamiento de los trabajos citados anteriormente es la definición de la función de costes. En estos modelos se utiliza una función de costes medios y marginales constantes para cualquier nivel de producción, aunque dependientes del tiempo. Esta variable es la única que permite incorporar el efecto del progreso técnico exógeno en la industria de bienes de capital. Sin embargo, desde el trabajo de Arrow (1962), es común considerar que una forma más adecuada de incorporar los efectos del aprendizaje es a través de la producción acumulada de las empresas; de este modo la producción ha de considerarse en parte una decisión de inversión, y los costes de producción de las empresas en períodos futuros vienen determinados al menos en parte de forma endógena (2). Si además incorporamos la producción corriente como elemento determinante del nivel de costes de las empresas, nuestro marco teórico se hace más rico, permitiendo analizar una dinámica más compleja. En los modelos de Ireland y Stoneman (1986) y de Stoneman y David (1986), la trayectoria de producción óptima tiene en cuenta la posible evolución de los costes en el tiempo, pero

---

(2) Véase Spence (1981) y Fudenberg y Tirole (1983) donde además se analizan los efectos sobre el bienestar de comportamientos estratégicos del aprendizaje en la interacción de las empresas bajo distintas estructuras de mercado. Nosotros dejamos al margen los efectos externos que el aprendizaje de una empresa tiene sobre el resto, suponiendo que no existen, lo que viene justificado por el concepto de solución simétrica que utilizamos.

con nuestro enfoque, como la evolución, al margen del progreso técnico exógeno en la industria de bienes de capital, está determinada por las empresas, la trayectoria de difusión tendrá en cuenta que un aumento en la producción en un instante determinado genera unos costes que deben ser compensados, en equilibrio, por los beneficios generados por la posterior reducción de costes debida al simple paso del tiempo y por efecto del aumento en la producción acumulada. Es en este sentido que nuestro modelo ha de entenderse como general. La inclusión de variables de estado también se realiza en el lado de la demanda. El supuesto habitual de que la demanda sólo depende del tiempo transcurrido desde que la innovación fue adoptada por primera vez es bastante restrictivo. Consideramos que la evolución del valor de la innovación que tiene para una empresa potencial usuaria no cambia exclusivamente con el tiempo sino que la rentabilidad de la innovación viene determinada básicamente por el número de empresas que están utilizando la innovación previamente, tal y como se supone en los trabajos de Reinganum (1981a y 1981b) y Quirmbach (1986). Nuestro punto de partida es el trabajo de Ireland y Stoneman (1983), y aunque pretendiendo un planteamiento general, necesitamos llevar a cabo multitud de supuestos que permitan hacer manejable el problema. Intentaremos justificar cada uno de ellos en el siguiente subapartado. A lo largo de todo este apartado supondremos que analizamos una economía cerrada.

## 2.1. Supuestos del modelo

S.1) Cada comprador necesita sólo una unidad de capital para adquirir completamente la innovación. De este modo se conecta fácilmente el total de las ventas de la industria de bienes de capital con la proporción de empresas de la industria usuaria que ha adoptado la innovación y se obvia el proceso de difusión a nivel de empresa.

S.2) El número de compradores es fijo. No hay por tanto la posibilidad de entrada o salida de empresas en esta industria. Tampoco la hay en la industria productora de bienes de capital. Su tamaño,  $n$ , se tomará como un dato. Podemos entender que estamos analizando una situación donde hay grandes barreras de entrada y salida en ambas industrias o bien que realizamos un análisis de corto plazo, entendiéndolo que el tiempo necesario para que se modifique el tamaño de cualquiera de las industrias es superior al tiempo que dura la difusión de la innovación.

S.3) No existe depreciación de los bienes de capital hasta la obsolescencia de los mismos. De este modo las empresas que adoptan la innovación reciben un flujo constante de servicios productivos del capital instalado hasta la obsolescencia. Esto se traduce en un aumento constante en el flujo de beneficios esperados al adoptar la innovación. Este supuesto es especialmente cuestionable si el número de empresas que son compradores potenciales es muy pequeño puesto que fácilmente la adopción de la innovación por parte de una empresa tiene efectos sobre los beneficios de las demás empresas de la industria usuaria de estos bienes de capital a través de la reducción en el precio de mercado del bien que se produce al aumentar una de las empresas su oferta a un menor precio, dado que se dispone de una tecnología superior que permite reducir los costes de producción.

S.4) La variable que determina el volumen y distribución de los beneficios de la adopción de la innovación es el orden en el que una empresa pasa a ser usuaria de la misma en la industria. Suponemos que en primer lugar adoptan aquellas empresas que obtienen beneficios más elevados y que por tanto están caracterizadas por un índice  $X$ ,

menor. Sea  $X$  un índice definido en el continuo  $[0, 1]$  que distingue a cada empresa por el orden en el que pasa a ser usuaria de la innovación. Sea  $g(X)$  los beneficios asociados a la adopción en términos de este índice. Entonces, de nuestra argumentación se deduce que:

$$g(X) > 0; \quad g_X(X) < 0$$

S.5) Una vez que los bienes de capital se vuelven obsoletos, los beneficios de adopción son nulos. Entendemos por obsolescencia el momento a partir del cual no es rentable seguir utilizando determinada generación de capital porque es mayor la rentabilidad obtenida si se utiliza una generación más moderna. Esto no quiere decir que en el mismo momento de aparición de una nueva generación ésta vuelva totalmente obsoleta a las anteriores generaciones que todavía se pudieran estar utilizando en la industria, puesto que sus propietarios intentarán rentabilizar todas las inversiones realizadas hasta el momento; tanto las que se efectuaron en la compra de la tecnología que hoy es anticuada como en inversiones complementarias o la experiencia obtenida de su utilización. A partir del instante  $t = T$  lo que ocurre es que ya no se fabrica la antigua generación, y sólo se produce la nueva porque ya no es rentable seguir dedicando recursos a fin de reducir de costes si todavía se utiliza la generación antigua (3).

S.6) Simetría. Suponemos que la industria de bienes de capital está compuesta por un conjunto de  $n$  empresas idénticas que maximizan beneficios y para ello utilizan el nivel de producción como variable de control. Este supuesto de simetría se traduce en que en el óptimo, la producción de cada empresa será la misma. Este es un supuesto fundamental. Con un planteamiento más general, y también más complicado, tendríamos que considerar que las empresas de la industria de bienes de capital no acceden a la tecnología de igual modo; que se establece de nuevo un orden en el acceso a la tecnología que les caracteriza como esencialmente diferentes a unas de otras, en tanto que la experiencia, medida en este caso como producción acumulada de innovaciones, no es la misma dado que no todas acceden a la tecnología de producción de innovaciones en el mismo instante, y por tanto sus costes diferirán. Nosotros, por el contrario, vamos a realizar un análisis de equilibrio parcial, y por lo tanto nos centraremos en analizar qué ocurre en el mercado de bienes de capital donde se incorpora la innovación. Definamos un conjunto de variables que van a repetirse sucesivamente en nuestro análisis:  $X$ , producción total acumulada de bienes de capital en la industria;  $Y$ , producción total acumulada de bienes de capital de la industria exceptuando una empresa;  $Z = X - Y = X/n$ , producción total acumulada de bienes de capital de una empresa cualquiera;  $D$ , operador «derivada respecto del tiempo»;  $DX = Q = nq$ , ventas, en un período, de la industria;  $DZ = q$ , ventas, en un período, de una empresa. De este modo, el supuesto de simetría se puede expresar como:

$$\frac{Y}{n-1} = \frac{X}{n}$$

(3) Obviamos aquí todo lo referente a la probabilidad condicional de que la obsolescencia se produzca en un momento determinado. Tomar en consideración este hecho tan sólo permite redefinir la tasa de descuento. De este modo Ireland y Stoneman (1986) demuestran que innovaciones sometidas a una fuerte obsolescencia tienen una menor difusión bajo cualquier régimen de expectativas, confirmando la proposición de Rosenberg (1976). Este resultado también puede demostrarse con nuestra formulación, aunque queda un poco al margen de nuestro objeto de estudio. Tan sólo nos gustaría señalar que la existencia de depreciación también elevaría la tasa de descuento, mientras que la posibilidad de que se obtengan beneficios con generaciones de capital ya obsoletas elevaría los beneficios actualizados de la innovación.

S.7) Suponemos que los costes de producción de los bienes de capital que incluyen la innovación dependen del tiempo, de la producción en cada período y de la producción acumulada. En este punto nos distanciamos de la formulación de Ireland y Stoneman (1983) a fin de captar los efectos que la existencia de aprendizaje induce en el cálculo de los impuestos o subsidios óptimos. Para simplificar, supondremos que las empresas tienen rendimientos a escala constantes en cada instante:

$$C(Z, q, t) = c(Z, t)q$$

Estamos considerando que los costes unitarios de producción de la innovación se reducen con el paso del tiempo como consecuencia del progreso técnico exógeno que tiene lugar en la industria de bienes de capital. Sin embargo, este proceso de reducción de costes no es continuo, y a partir de un determinado momento los costes de producción aumentan con el tiempo. Esto puede explicarse porque el envejecimiento de las instalaciones compensan este progreso técnico exógeno, o porque la existencia, a partir de un instante, de una innovación más moderna no hace rentable seguir invirtiendo en la producción de la antigua. De este modo:

$$Dc(Z, t) \geq 0 \quad \text{si } t \geq t^*$$

La experiencia de las empresas, medida como su producción acumulada, tiene el efecto de reducir los costes unitarios de producción a una tasa decreciente (4):

$$c_z(Z, t) < 0; \quad c_{zz}(Z, t) > 0$$

S.8) La función inversa de demanda de innovaciones depende del tiempo y del volumen de bienes de capital que se han vendido hasta un momento dado. Este supuesto representa la diferencia fundamental entre nuestro modelo y el de Ireland y Stoneman (1983) y que repercutirá en el papel de las expectativas en el modelo. Vamos a suponer que tanto con el paso del tiempo como con el número de bienes de capital producidos anteriormente, las empresas están dispuestas a pagar un precio más bajo. Para simplificar supondremos que estos efectos son independientes entre sí. La función inversa de demanda de innovaciones se supone aditivamente separable en sus argumentos y queda caracterizada del siguiente modo:

$$P = P(X, t); \quad P_X < 0; \quad DP = P_t < 0; \quad \frac{\partial^2 P(X, t)}{\partial X \partial t} = 0$$

S.9) La adquisición de la innovación se hace de una vez para siempre. No existe un mercado secundario de bienes de capital o cualquier otra alternativa para deshacerse de la innovación. Dado que el precio de adquisición de la misma cambia con el tiempo y la producción acumulada de innovaciones, es posible que sea rentable retrasar la adopción en tanto que la reducción del coste de adquisición supere los beneficios que de otra forma las empresas usuarias habrían obtenido comprando a un precio mayor. La expectativa de beneficio de la empresa  $X$ -ésima en el instante  $t$ , cuando todavía no se ha producido la obsolescencia de la innovación es:

(4) Este último supuesto no es estrictamente necesario para el desarrollo formal del modelo pero ayuda a comprender por qué los costes de producción pueden terminar elevándose como consecuencia del agotamiento del proceso de aprendizaje y envejecimiento del capital.

$$E[\Pi(X, t)] = -P(X, t) + \int_t^{\infty} g(X) e^{-r(\tau-t)} d\tau = P(X, t) + \frac{g(X)}{r}$$

En el momento de la obsolescencia  $t = T$ , las empresas productoras dejan de fabricar las innovaciones, y las usuarias están dispuestas a pagar como máximo el valor presente de los beneficios que genera la adopción en ese instante. Esto nos proporciona la condición terminal, que no es otra cosa que la condición de rentabilidad en el instante  $T$ :

$$P(X_T, T) = \frac{g(X_T)}{r}$$

S.10) Vamos a suponer que existen dos regímenes extremos de expectativas de las empresas usuarias de las innovaciones. Podemos escribir el valor presente de la expectativa que en cada momento tienen las empresas de los beneficios actualizados; haciendo  $t_0 = 0$ :

$$E[\Pi(X)] = \left[ -P(X, t) + \frac{g(X)}{r} \right] e^{-rt}$$

Para descontar la posibilidad de un aumento de beneficios debidos a la espera del comprador, es necesario, si éste es un agente neutral al riesgo, que esta expresión no sea creciente en el tiempo. Las empresas estarán maximizando beneficios cuando:

$$\frac{\partial E[\Pi(X)]}{\partial t} = [rP(X, t) - g(X)] e^{-rt} + E[-DP(X, t)] e^{-rt} = 0$$

Por tanto, en el límite, una empresa adoptará la innovación cuando (*condición de rentabilidad*):

$$-P(X, t) + \frac{g(X)}{r} = 0$$

Además, para que se dé la adopción de la innovación en un instante determinado, su rentabilidad no debe aumentar con el paso del tiempo; el valor presente neto de los beneficios de la adquisición debe superar al valor presente de la reducción esperada de los costes de adquisición (*condición de arbitraje*):

$$rP(X, t) - g(X) + E[-DP(X, t)] = 0$$

*Miopía:* Las empresas usuarias de bienes de capital suponen que el precio actual de la innovación va a permanecer para siempre. Estas empresas no conocen cómo evoluciona dicho precio, ni de qué depende, y por lo tanto la mejor expectativa de su nivel futuro es el actual. Por tanto  $E[DP] = 0$ , lo que implica que sólo la condición de rentabilidad determina la adopción de innovaciones:

$$rP(X, t) - g(X) = 0$$

Sumando a esta expresión su diferencial total podemos obtener la tasa de cambio del valor presente del precio de adquisición de la innovación en términos del número de innovaciones que se han vendido:

$$rDP + rP_X DX - g_X(X)DX = 0$$

$$rP - DP = g(X) - \frac{1}{r} g_X(X)DX + P_X DX \quad [1]$$

*Previsión perfecta:* Las empresas usuarias conocen la evolución del coste de la innovación o de aquello de lo que ésta depende. Si además ocurre que los precios disminuyen con el paso del tiempo, entonces es la condición de arbitraje la que determina la adopción de las innovaciones. Por tanto, si  $E[DP] = DP$ , la tasa de variación del valor presente del precio de adquisición es exactamente el aumento de beneficios corrientes de las empresas que adquieren en un instante:

$$rP - DP = g(X) \quad [2]$$

S.11) Las empresas productoras de bienes de capital maximizan el valor presente de los beneficios esperados de la venta de innovaciones dependiendo de los regímenes de expectativas de las empresas usuarias. Los beneficios esperados y actualizados de las empresas productoras de bienes de capital son:

$$E[\Pi^s] = \int_0^T [P(X, t) - c(Z, t)] q e^{-rt} dt$$

Integrando por partes:

$$E[\Pi^s] = [P(X_T, T) - c(Z_T, T)] Z_T e^{-rT} + \int_0^T [rP - DP - P_X DX + Dc - rc + c_Z DZ] Z e^{-rt} dt \quad [3]$$

La solución, esto es la trayectoria de difusión de la innovación, se obtiene de maximizar esta expresión sustituyendo la tasa de variación del valor presente del precio de adquisición de la innovación por las expresiones [1] o [2], dependiendo de que consideremos que las empresas usuarias tienen un régimen de expectativas miópicas o perfectas. Tomar en consideración el supuesto de simetría implica en este caso que:

$$DX = Q = nq; \quad DZ = q$$

Bajo un régimen de previsión perfecta este problema queda caracterizado por el siguiente hamiltoniano que hay que maximizar:

$$H = [g(X) + Dc - rc] Z e^{-rt} + \left[ \frac{c_Z}{n} - P_X \right] Q Z e^{-rt} + \lambda Q$$

Las condiciones de primer orden son:

$$H_Q = \left[ \frac{c_Z}{n} - P_X \right] Z e^{-rt} + \lambda = 0$$



$$H_X = \left[ g_X(X) + c_{tZ} \frac{\partial Z}{\partial X} - rc_Z \frac{\partial Z}{\partial X} \right] Ze^{-rt} + \left[ \frac{c_{ZZ}}{n} \frac{\partial Z}{\partial X} - P_{XX} \right] QZe^{-rt} + \\ + [g(X) + Dc - rc] e^{-rt} + \left[ \frac{c_Z}{n} - P_X \right] Qe^{-rt} = -D\lambda$$

Para obtener la trayectoria de equilibrio obtenemos  $-D\lambda$  derivando la primera condición necesaria e igualando el resultado con la segunda.

$$-D\lambda = \left[ \frac{c_{Zt}}{n} + \frac{c_{ZZ}}{n} \frac{\partial Z}{\partial X} DX - P_{XX} DX \right] Ze^{-rt} + \left[ \frac{c_Z}{n} - P_X \right] DZe^{-rt} + \\ + \left[ rP_X - \frac{r}{n} c_Z \right] Ze^{-rt}$$

Para terminar de caracterizar la solución debemos de tener en cuenta la condición terminal dada por el *Supuesto 9*. Puesto que el valor de la función objetivo está determinado a priori, en el óptimo, por el principio del máximo (5) debe cumplirse que:

$$\lambda(T) = \frac{\partial E[\Pi^s]}{\partial X_T} = \frac{\partial [(P(X_T, T) - c(Z_T, T)) Z_T e^{-rT}]}{\partial X_T}$$

La condición terminal se obtiene sustituyendo el precio máximo que las empresas usuarias están dispuestas a pagar en el instante en el que la innovación se vuelve obsoleta e igualando con la expresión del multiplicador que se deriva de la primera condición necesaria:

$$\lambda(T) = \frac{\partial \left[ \left( \frac{g(X_T)}{r} - c(Z_T, T) \right) Z_T e^{-rT} \right]}{\partial X_T} = \left[ \frac{g_X(X_T)}{r} - c_Z(Z_T, T) \frac{\partial Z_T}{\partial X} \right] Z_T e^{-rT} + \\ + \left[ \frac{g(X_T)}{r} - c(Z_T, T) \right] e^{-rT} = \left[ \frac{-c_Z(Z_T, T)}{n} + P_X(X_T, T) \right] Z_T e^{-rT}$$

Por tanto, la trayectoria de equilibrio y condición terminal que caracterizan la difusión de una innovación cuando los compradores de la misma conocen perfectamente cuál va a ser la evolución de su precio son:

$$g(X) = rc - Dc + \left[ P_X - \frac{c_Z}{n} \right] \frac{n-1}{n} Q + [rP_X - g_X(X)] \frac{X}{n} \quad [4]$$

$$g(X_T) = rc(Z_T, T) + [rP_X(X_T, T) - g_X(X_T)] \frac{X_T}{n} \quad [5]$$

(5) Véase Takayama (1985), sección 8.c.

De la misma forma podemos determinar las condiciones de equilibrio en un mercado donde los compradores creen que el precio de las innovaciones va a permanecer constante. Sustituimos ahora la ecuación [1] en vez de la [2] en la función objetivo. En este caso, la trayectoria de equilibrio y condición terminal son:

$$g(X) = rc - Dc + \left[ \frac{g_X(X)}{r} - \frac{c_Z}{n} \right] \frac{n-1}{n} Q \quad [6]$$

$$g(X_T) = rc(Z_T, T) \quad [7]$$

Estas condiciones incluyen los casos estudiados por Ireland y Stoneman (1986) y otros no contemplados por ellos. Tendremos ocasión de comentar algunos de estos resultados con relación a una economía abierta en el próximo apartado. Por el momento estamos en condiciones de establecer la principal diferencia entre nuestro modelo y el de Ireland y Stoneman (1983).

*Proposición 1.* Si la función inversa de demanda de innovaciones es aditivamente separable en el volumen acumulado de innovaciones y el tiempo, las trayectorias de difusión y condiciones terminales son las mismas bajo un régimen de expectativas perfectas o de miopía.

*Demostración:* Diferenciando la ecuación [2] respecto de  $X$  obtenemos que  $rP_X dX = g_X(X)dX$  de modo que el último término entre paréntesis de las ecuaciones [4]-[5] se anula. Finalmente, como la adopción bajo miopía viene determinada por la condición de rentabilidad, se cumple que  $P_X = g_X(X)/r$  de modo que las ecuaciones [4]-[5] son idénticas a las ecuaciones [6]-[7].

Hay que interpretar este resultado como que bajo expectativas perfectas, la variación en la valoración de la innovación cuando se vende una unidad adicional del bien de capital que la incorpora es exactamente la variación en el valor presente de los beneficios que genera la innovación, lo que por otra parte parece bastante intuitivo. De este modo podemos concluir que las expectativas no juegan ningún papel relevante cuando la demanda de la innovación viene determinada, como parece razonable, por el número de innovaciones que se han vendido.

## 2.2. Regulación óptima

Ahora vamos a obtener la solución de equilibrio que conseguiría un planificador que pretendiese maximizar el bienestar social, que del modo habitual definimos como el valor presente del excedente del consumidor (compradores de las innovaciones) menos los costes de producción de los bienes de capital. No consideramos los posibles efectos de distribución que puedan tener lugar en el proceso de difusión y estamos suponiendo además que no existen efectos de repercusión importantes sobre el bienestar de consumidores de otros mercados, en concreto de los que compran los bienes que se producen con la innovación cuya difusión estudiamos.

$$W = \int_0^T \left[ \frac{g(X)}{r} DX - nc(Z, t) q \right] e^{-rt} dt = \int_0^T \left[ \frac{g(X)}{r} - c(Z, t) \right] Q e^{-rt} dt$$

En la función de bienestar social se sustituye el precio de la innovación por el valor presente de los beneficios que genera la innovación en cada momento, computándose de este modo el excedente del consumidor. A esto se le resta el coste de producción de tantas empresas como existan en la economía. A partir de aquí, la mecánica que hemos expuesto anteriormente nos permite caracterizar la trayectoria de difusión socialmente óptima:

$$g(X) = rc - Dc \quad [8]$$

$$g(X_T) = rc(Z_T, T) \quad [9]$$

Evidentemente, no en todos los casos las soluciones a las que llegamos son socialmente óptimas. Este marco teórico permite definir un impuesto ( $v(t) > 0$ ) o subsidio ( $v(t) < 0$ ) a la innovación que haga factible que se alcance el óptimo social de forma descentralizada. Incluyendo este impuesto/subsidio, que va a depender exclusivamente del tiempo, en la función de costes de las empresas, los beneficios esperados de las empresas productoras son:

$$E[II^s] = \int_0^T [P(X, t) - (c(Z, t) + v(t))] q e^{-rt} dt$$

Integrando de nuevo por partes y desarrollando los correspondientes programas de optimización dinámica, las trayectorias óptimas vienen caracterizadas por:

#### PREVISION PERFECTA

$$g(X) = rc - Dc + rv - Dv + \left[ P_X - \frac{c_Z}{n} \right] \frac{n-1}{n} Q + [rP_X - g_X(X)] \frac{X}{n} \quad [10]$$

$$g(X_T) = rc(Z_T, T) + rv(T) + [rP_X(X_T, T) - g_X(X_T)] \frac{X_T}{n} \quad [11]$$

#### MIOPIA

$$g(X) = rc - Dc + rv - Dv + \left[ \frac{g_X(X)}{r} - \frac{c_Z}{n} \right] \frac{n-1}{n} Q \quad [12]$$

$$g(X_T) = rc(Z_T, T) + rv(T) \quad [13]$$

Comparando estas ecuaciones con las condiciones [8]-[9], podemos obtener los impuestos/subsidios que permiten que la economía alcance una situación de óptimo.

Básicamente es esto lo que vamos a hacer en el siguiente apartado con referencia al marco internacional. Es evidente que el resultado de la *Proposición 1* también se aplica a estas ecuaciones, pero sin embargo mantenemos la formulación para facilitar el análisis de los otros casos en los que la distinción en el régimen de expectativas sea relevante.

El resultado de la *Proposición 1* nos parece interesante porque creemos que señala claramente que el análisis de Ireland y Stoneman (1983) es un caso muy particular en el que se puede alcanzar el óptimo social, sin ningún tipo de regulación, en situaciones tan dispares como una estructura de mercado de monopolio en la industria de bienes de capital y expectativas miópicas o de competencia y expectativas perfectas (6). En nuestro modelo, la regulación óptima viene dada por:

$$Dv - rv = \left[ P_X - \frac{c_Z}{n} \right] \frac{n-1}{n} Q; \quad v(T) = 0 \quad [14]$$

La solución de esta ecuación diferencial es:

$$v^c(t) = -e^{r(T-t)} \int_t^T \left[ P_X(X, \tau) - \frac{1}{n} c_Z(Z, \tau) \right] \frac{n-1}{n} Q(\tau) e^{-r(t-\tau)} d\tau \quad [15]$$

*Proposición 2.* Dependiendo de que, en valor absoluto, la tasa de reducción de costes debida al aprendizaje corregida por el número de empresas productoras de la innovación sea mayor o menor que la reducción en el precio que genera una unidad adicional de bienes de capital vendidos, la política óptima consiste en establecer un subsidio específico o un impuesto específico a la adopción de innovaciones decreciente en el tiempo, de modo que se anule en el momento en el que la innovación se vuelve obsoleta.

*Demostración:* Evidente a partir de [14] y [15], dados los signos de  $P_X$  y  $c_Z$ . ■

De este modo se compensa la divergencia entre la difusión óptima de una innovación dada por la ecuación [8] y la tasa de difusión que se determina mediante toma de decisión descentralizada [6]. Puesto que la ecuación [14] debe cumplirse en todo momento, en el instante final tenemos que:

$$Dv(T) = \left[ P_X - \frac{c_Z}{n} \right] \frac{n-1}{n} Q$$

El signo de esta expresión depende de nuevo de la relación que mantengan entre sí el efecto de aprendizaje y la reducción del precio de demanda debido a la producción acumulada. Cuando el efecto de aprendizaje es mayor que el efecto precio (esto es, cuando se necesita de un subsidio), esta expresión es positiva. Lo contrario ocurre cuando se necesita de un impuesto, lo que confirma que la cuantía del impuesto o subsidio continúa decreciendo incluso en el instante de obsolescencia  $T$ . Supongamos por ejemplo que la reducción de costes por aprendizaje es inferior (en valor absoluto) a la reducción de pre-

(6) Estos resultados pueden obtenerse en nuestro modelo haciendo  $P_X = c_Z = 0$ .

cios (o que no existe tal efecto de aprendizaje). En tal caso hay que establecer un impuesto decreciente en el tiempo que compense el hecho de que las empresas usuarias sobrevaloran la reducción de beneficios que obtendrían si retrasaran la adopción, lo que no les permite beneficiarse de los precios futuros, más bajos. Lo contrario ocurre si el efecto de aprendizaje es más fuerte; puesto que los costes van reduciéndose con la utilización de la innovación, en este caso hay una tendencia a infravalorar la posible reducción de precios de la innovación que conlleva la propia difusión de la misma, y las empresas usuarias retrasan la adopción, de modo que hay que establecer un subsidio a fin de que la utilización de la misma alcance el óptimo social.

### 2.3. Estructura de mercado y políticas de difusión óptimas

En último lugar queda por comentar qué ocurre con la estructura de mercado en la industria productora de bienes de capital. Dos son los resultados principales que se pueden obtener de este modelo:

*Proposición 3.* Si la industria de bienes de capital es un monopolio, automáticamente se alcanza el óptimo social.

*Demostración:* Sustitúyase  $n = 1$  en [15], lo que implica  $v^c(t) = 0 \forall t$ . ■

*Proposición 4.* En una solución simétrica, el impuesto alcanza su valor máximo si la industria de bienes de capital es competitiva.

*Demostración:* Para un valor elevado de  $n$  el efecto de aprendizaje es despreciable de modo que:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} v^c(t) = -e^{r(T-t)} \int_t^T P_X(X, \tau) Q(\tau) e^{-r(t-\tau)} d\tau > 0$$

Puesto que  $P_X$  y  $c_Z$  son negativos, esta expresión es siempre mayor que [15]  $\forall n < \infty$ . ■

Estos resultados se explican porque el monopolista puede interiorizar todas las ganancias de la reducción de los costes debida a la producción, mientras que éstas son despreciables cuando el número de productores es muy elevado de modo que el impuesto que ha de establecerse cuando las empresas usuarias descuentan en exceso la reducción de precios debida a una gran competencia en el sector de bienes de capital, alcanza su valor máximo. En el trabajo de Ireland y Stoneman (1983) la solución de monopolio sólo es socialmente óptima cuando los usuarios de la innovación son miopes o bajo un régimen de competencia perfecta y expectativas perfectas. En nuestro modelo, la distinción entre regímenes de expectativas es nula, de modo que el resultado de la *Proposición 3* es aplicable en cualquier caso. El segundo resultado de Ireland y Stoneman es producto de su formulación de la demanda; si ésta sólo depende del tiempo,  $P_X = 0$  y de la *Proposición 4* se sigue que el impuesto máximo es cero, con lo que se alcanza la solución de óptimo social.

Estos resultados contrastan con los otros comúnmente diversos de esta literatura como el de David y Olsen (1984) para los que siempre es necesario el establecimiento de un subsidio al productor de la innovación, bien sea para contrarrestar su poder de mercado o su escasa capacidad de reducción de costes. Quirnbach (1986), en un modelo en el que los comportamientos estratégicos entre los usuarios de la innovación no son relevantes, indica por el contrario que la tasa de difusión de una innovación producida por un monopolista o en un régimen de competencia es siempre más elevada que la socialmente óptima.

### 3. POLITICAS DE DIFUSION DE TECNOLOGIA EN ECONOMIAS ABIERTAS

#### 3.1. Difusión y regulación óptima: país importador de tecnología

Supongamos ahora que nos encontramos en una economía que ha de importar todos los bienes de capital que incorporan la innovación. El planificador social tendrá interés en favorecer la adopción de la misma en tanto que esto mejore la capacidad productiva del país, permitiendo de este modo que se produzcan bienes, de consumo o de producción, de forma más eficiente, lo que repercute o bien en un aumento general de la productividad si lo que se produce con nuestra innovación son bienes de producción, o una mejora del bienestar de forma más directa vía aumento o abaratamiento de los bienes de consumo. Sin embargo la importación de bienes de capital requiere que la producción de algunos bienes se destinen a financiar la compra en el exterior de las innovaciones. De este modo, y de acuerdo con Stoneman (1987), la función de bienestar social para este gobierno sería la siguiente:

$$W^S = \int_0^T \left[ \frac{g(X)}{r} - P(t) \right] Qe^{-rt} dt$$

En la función de bienestar social del país importador de tecnología ( $S = Sur$ ), se sustituye el coste unitario de producción de la innovación por el precio que se ha de pagar por la importación de cada unidad de la misma. Ha de entenderse que  $g(X)$  representa los beneficios que genera la innovación en cada momento en este país, y que la variable  $X$  es el número de empresas de este país que utilizan la innovación (importaciones acumuladas). Vamos a suponer que éste es un país pequeño en el mercado de producción de innovaciones. Esto nos permite considerar que el efecto de reducción de los precios internacionales debidos a la adopción de las innovaciones en este país es despreciable (7). Aplicando el método utilizado en el apartado anterior, la trayectoria de equilibrio y condición terminal son:

$$g(X) = rP - DP \quad [16]$$

(7) Obsérvese que estamos suponiendo que las externalidades que genera la difusión (reducción de precios, aprendizaje, reducción de beneficios de la adopción) son específicas de la industria en unos casos y del país importador en otros. Para ser estrictos, podemos considerar que los beneficios de la adopción se reducen con las importaciones acumuladas siempre que el mercado de los bienes que se producen con la innovación esté relativamente aislado del exterior de modo que la industria del país importador no sufra la competencia de empresas extranjeras que utilicen la innovación.

$$g(X_T) = rP(T) \quad [17]$$

De este modo, el valor presente de los beneficios generados por la innovación debe igualarse a la tasa de cambio del valor presente de los precios de adquisición de la misma. Puesto que ahora la evolución del precio de la innovación depende exclusivamente del tiempo, las expectativas de los usuarios juegan un papel relevante a la hora de diseñar la política óptima.

*Proposición 5.* Una economía importadora de innovaciones alcanza el óptimo social sin necesidad de intervención si las expectativas de las empresas usuarias ubicadas en ella son perfectas.

*Demostración:* Si las empresas usuarias tienen expectativas perfectas, la adopción de innovaciones viene determinada por la ecuación [2] de modo que siempre se cumplen las ecuaciones [16]-[17]. Por tanto no es necesaria ninguna medida reguladora para alcanzar el óptimo social puesto que la solución descentralizada bajo expectativas perfectas coincide con ella. ■

*Proposición 6.* Si las empresas usuarias de innovaciones importadas son miopes respecto de la evolución futura de su precio, es necesario el establecimiento de un impuesto (arancel) decreciente en el tiempo para alcanzar el óptimo social.

*Demostración:* Teniendo en cuenta que  $P_X = 0$ , a partir de la ecuación [1] podemos escribir la trayectoria de difusión bajo miopía como:

$$g(X) = rP - DP + g_X(X) \frac{Q}{r} + rv - Dv \quad [18]$$

$$g(X_T) = rP(T) + g_X(X_T) \frac{Q_T}{r} + rv(T) \quad [19]$$

Procediendo del mismo modo que en el caso general se obtiene que la política óptima debe cumplir:

$$Dv - rv = g_X(X) \frac{Q}{r} < 0; \quad v(T) = -g_X(X_T) \frac{Q_T}{r^2} > 0 \quad [20]$$

$$v^p(t) = -e^{r(T-t)} \left[ g_X(X_T) \frac{Q_T}{r^2} e^{-r(T-t)} + \int_t^T g_X(X) Q(\tau) e^{-r(\tau-t)} d\tau \right] > 0 \quad [21]$$

El efecto del impuesto consiste en corregir el hecho de que las empresas no igualan la tasa de reducción del valor presente del precio de la innovación con los beneficios que genera ésta, sino que ajustan estos descontándoles el valor presente de la reducción de beneficios que proporciona la innovación cuando se adopta una unidad adicional de la misma. Esto da lugar a una difusión de las innovaciones por encima de lo socialmente

óptimo, aumentando en exceso la cantidad de recursos que se destinan a financiar las importaciones.

*Proposición 7.* El impuesto óptimo en una economía importadora de innovaciones con agentes miopes es independiente de la estructura de mercado de la industria productora de innovaciones y además no se anula cuando la innovación se vuelve obsoleta.

*Demostración:* Inmediata a partir de [20] y [21].

Existe un caso extremo que puede ser interesante analizar. Si nuestro país alberga a todas las empresas usuarias de una determinada innovación, ya no es posible seguir asumiendo que las importaciones (acumuladas) no afectan al precio de las innovaciones cuando los agentes tienen expectativas miópicas.

*Proposición 8.* Si las empresas usuarias de la innovación importada constituyen un monopsonio: a) la solución bajo expectativas perfectas es socialmente óptima, b) el óptimo social se restablece con un impuesto si las empresas son miopes, y c) el impuesto es mayor que en el caso en el que el país es pequeño en el mercado de innovaciones.

*Demostración:* Las condiciones de óptimo social [16]-[17] no sufren alteración, pero ahora el precio de la innovación es función de  $X$  así como de  $t$ . Puesto que las premisas de la *Proposición 5* y *Proposición 6* se mantienen, la solución bajo expectativas perfectas sigue siendo socialmente óptima mientras que bajo miopía debemos introducir un impuesto. Bajo miopía, la trayectoria de equilibrio viene representada ahora por:

$$g(X) = rP - DP + \left[ \frac{g_X(X)}{r} + P_X \right] Q + rv - Dv \quad [22]$$

$$g(X_T) = rP(T) + \left[ \frac{g_X(X_T)}{r} + P_X \right] Q_T + rv(T) \quad [23]$$

$$Dv - rv = \left[ \frac{g_X(X)}{r} + P_X \right] Q < 0; \quad v(T) = - \left[ \frac{g_X(X_T)}{r} + P_X \right] \frac{Q_T}{r} > 0 \quad [24]$$

$$\begin{aligned} v^s(t) &= -e^{r(T-t)} \left[ \left( \frac{g_X(X_T)}{r} + P_X(X_T, T) \right) \frac{Q(T)}{r} e^{-r(T-t)} + \right. \\ &\quad \left. + \int_t^T \left( \frac{g_X(X)}{r} + P_X(X, \tau) \right) Q(\tau) e^{-r(\tau-t)} d\tau \right] = \\ &= v^p(t) - e^{r(T-t)} \left[ P_X(X_T, T) \frac{Q_T}{r} e^{-r(T-t)} + \int_t^T P_X(X, \tau) Q(\tau) e^{-r(\tau-t)} d\tau \right] > v^p(t) > 0 \end{aligned} \quad [25]$$

La única diferencia con el caso anterior es que ahora (a través de la ecuación [1]), las empresas usuarias descuentan la reducción de precio que tendrá lugar de un aumento en



las importaciones. Esto hace que la difusión de la tecnología supere la socialmente óptima en una cuantía mayor, por lo que hay que establecer un impuesto más elevado. ■

### 3.2. Difusión y regulación óptima: país exportador de tecnología

Analizaremos ahora el caso de un país «desarrollado» ( $N = Norte$ ), que produce bienes de capital, pero que exporta la totalidad de la producción. Considérese a modo ilustrativo el caso de países que exportan bienes de capital de generaciones ya anticuadas para rentabilizar la inversión que se hizo en el desarrollo de estos productos o de procesos productivos que requieren una escala de producción muy por encima de las que puede absorber el mercado nacional, que para simplificar suponemos inexistente. En este caso el planificador social pretende maximizar el valor presente de las exportaciones menos el coste de producción de las empresas; esto es sus beneficios actualizados.

$$W^N = \int_0^T [P(X, t) DX - nc(Z, t) q] e^{-rt} dt = \int_0^T [P(X, t) - c(Z, t)] Qe^{-rt} dt$$

Ahora, la trayectoria de equilibrio y condición terminal son:

$$rP - DP = rc - Dc \quad [26]$$

$$P(X_T, T) = c(Z_T, T) \quad [27]$$

Se comprueba fácilmente que la solución no cambia en absoluto si la demanda no depende del total de innovaciones exportadas. Las expectativas de los usuarios no juegan ningún papel en tanto que los consumidores se ubican en el exterior en su totalidad.

*Proposición 9.* Cuando una industria exporta toda la producción de innovaciones, alcanza el óptimo social directamente si es un monopolio o si los efectos de la reducción de costes dependen de la producción de la industria y no de cada empresa en particular. En cualquier otra solución simétrica, será necesario el establecimiento de un subsidio.

*Demostración:* En el caso de un monopolio, la función objetivo coincide con la del planificador social, de modo que la solución es óptima. Si la reducción de costes depende de la producción de la industria, todas las empresas alcanzarán el mismo nivel de costes que habría alcanzado un monopolista, de modo que la solución sigue siendo óptima. Si por el contrario el efecto de aprendizaje es particular para cada empresa, la reducción de costes de cada una de ellas no será lo suficientemente elevada como para igualar la que conseguiría un monopolista si las empresas de la industria se reparten las ventas equitativamente, de modo que es necesario el establecimiento de un subsidio que restaure las condiciones [26]-[27]. ■

### 3.3. Difusión y regulación óptima: economías integradas

El último caso que vamos a considerar es el de dos economías perfectamente integradas entre las que se establece un comercio de tecnología, si bien ambos producen y

consumen bienes de capital. Mantendremos nuestro enfoque de equilibrio parcial. De este modo vamos a concentrar nuestra atención en lo que ocurre en el mercado de innovaciones de tecnología, olvidando el resto. Esto es importante porque vamos a suponer que existen empresas productoras de bienes de capital ubicadas en ambos países y que uno de estos países es exportador neto de tecnología. Sin embargo esto no ocurre porque exista ninguna ventaja de coste en la producción de tecnología dado que suponemos que las empresas de producción de bienes de capital disponen de los mismos métodos de producción. Recuérdese que estas dos economías están perfectamente integradas y que por tanto no podemos suponer la existencia de ningún tipo de barreras a la transferencia internacional de tecnología. Por tanto, los costes unitarios de producción de innovaciones son los mismos para todas las empresas y puesto que tampoco les suponemos una capacidad de aprendizaje distinta a ninguna empresa en particular por motivo de su ubicación, la solución vuelve a ser absolutamente simétrica en la producción de innovaciones; todas las empresas de la industria de bienes de capital producen exactamente lo mismo, independientemente de donde estén, y el comercio de tecnología entre países se debe a la distinta distribución geográfica de la demanda y al «corto plazo» del análisis que supone que no hay entrada o salida de empresas en la industria ni movimientos geográficos de las mismas en tanto que dure el proceso de difusión.

Lo único que distingue a estas dos economías, en lo que al mercado de innovaciones se refiere, es la existencia de autoridades económicas distintas en cada uno de los territorios con potestad para fijar normas que han de ser cumplidas por las empresas bajo su jurisdicción. Con todos estos supuestos pretendemos analizar en qué medida difieren las políticas óptimas dependiendo de que las establezca el gobierno del país importador, el gobierno del país exportador o una autoridad económica supranacional (8). El objetivo de este apartado consiste en comprobar en qué difieren las políticas de difusión cuando son llevadas a cabo por cada una de estas autoridades en un horizonte de corto plazo impuesto por la propia naturaleza de la innovación, que dura menos de lo que permitiría la entrada o salida de empresas en la industria.

Suponemos que hay perfecta movilidad de mercancías, pero no así de todos los factores, esto es, que hay barreras a la movilidad geográfica de las empresas, al menos en el período de tiempo en el que tiene lugar el proceso de difusión. De este modo el número de empresas es fijo en cada uno de los países. Existe una relación de cambio fija que por simplicidad igualamos a la unidad. Las implicaciones de una perfecta integración económica de estos dos mercados pueden resumirse como sigue: denominamos  $N$  al país exportador neto de tecnología y  $S$  al importador. El supuesto de simetría en la producción implica que:

$$X - Y = X^S - Y^S = X^N - Y^N$$

Y en términos de la producción acumulada:

$$DX = Q = nq = (n^N + n^S)q = DX^N + DX^S$$

(8) Quizá no sea necesario sugerir que tenemos en mente un marco similar al de la CEE, donde existen distintas autoridades nacionales y un organismo superior, que en distintas instancias diseñan políticas industriales que pueden ser contradictorias o no dependiendo de los objetivos de cada agente regulador.

Definimos  $H$  como el volumen de exportaciones acumuladas de tecnología del país  $N$  al país  $S$ . En tal caso,  $\alpha$ , el porcentaje de exportaciones sobre la producción del país «desarrollado» es:

$$\alpha = \frac{DH}{DX^N} = \frac{n}{n^N} \frac{DH}{DX}$$

Vamos a definir  $\theta = n^N/n$  como la proporción de empresas de la industria que se ubican en el país exportador de tecnología. Podemos considerar que la proporción en la que se exporta la tecnología depende positivamente de la diferencia de valoración marginal de la innovación producida en cada uno de los países:

$$\alpha(X) = \alpha[g(X^S) - g(X^N)] = \alpha \left[ g\left(X \frac{n^S}{n}\right) - g\left(X \frac{n^N}{n}\right) \right]$$

Obsérvese que  $\partial\alpha(X)/\partial X > 0$  sólo si:

$$\frac{g_X(X^S)}{g_X(X^N)} > \frac{n^N}{n^S}$$

Por último, la integración impone la condición de que los beneficios que genera la innovación, y que están en función del orden de adopción en la economía común de estos dos países, son los mismos para cada uno de ellos; esto es:

$$g(X) = g^S(X^S + H) = g^N(X^N - H)$$

Con todas estas relaciones adicionales, podemos analizar el diseño de políticas óptimas. Comencemos con el país importador de tecnología:

$$\begin{aligned} W^S &= \int_0^T \left[ \frac{g(X^S + H)}{r} DX - n^S c^S(Z^S, t)DX^S - P(X, t)DH \right] e^{-rt} dt = \\ &= \int_0^T \left[ \frac{g(X)}{r} DX - c(Z, t)(1 - \theta)DX - P(X, t)\alpha(X)\theta DX \right] e^{-rt} dt \end{aligned}$$

El valor de la función de bienestar social de esta economía está medido como la suma actualizada de los beneficios de la adopción a las empresas que innovan, menos los costes de generación de éstas, bien sean costes de producción o de importación. De este modo, la solución del problema queda caracterizada por las siguientes ecuaciones:

$$g(X) = (rc - Dc) \frac{n^S}{n} + (rP - DP) \alpha \frac{n^N}{n} \quad [28]$$

$$g(X_T) = rc(Z_T, T) \frac{n^S}{n} + rP(X_T, T) \alpha(X_T) \frac{n^N}{n} \quad [29]$$

Procediendo de forma semejante, la función de bienestar social del país exportador de tecnología incluye los beneficios de la adopción de las empresas ubicadas en su país y los ingresos por exportaciones, descontando los costes de generación de las innovaciones:

$$\begin{aligned} W^N &= \int_0^T \left[ \frac{g(X^N - H)}{r} DX - n^N c^N(Z^N, t)DX^N - P(X, t)DH \right] e^{-rt} dt = \\ &= \int_0^T \left[ \frac{g(X)}{r} DX - c(Z, t)\theta DX + P(X, t)\alpha(X)\theta DX \right] e^{-rt} dt \end{aligned}$$

Volviendo a resolver el correspondiente programa de optimización dinámica, la trayectoria y condición de equilibrio terminal son:

$$g(X) = (rc - Dc) \frac{n^N}{n} - (rP - DP) \alpha \frac{n^N}{n} \quad [30]$$

$$g(X_T) = rc(Z_T, T) \frac{n^N}{n} - rP(X_T, T) \alpha(X_T) \frac{n^N}{n} \quad [31]$$

Ahora podemos comparar las políticas óptimas de cada nivel de gobierno (9). Dado que estas economías están perfectamente integradas, las trayectorias de equilibrio de la solución descentralizada son las mismas que en el segundo apartado estudiamos para una economía cerrada; esto es, de forma general, las ecuaciones [10]-[13], dependiendo del tipo de expectativas y características del aprendizaje. Aquí vamos a suponer el modelo más general de aprendizaje, de modo que basta que prestemos atención a las ecuaciones [12]-[13], puesto que el papel de las expectativas es, como se vio, irrelevante en este caso.

Para obtener los impuestos o subsidios óptimos en cada caso, igualamos la trayectoria de equilibrio y la condición terminal [28]-[29] o [30]-[31], que caracterizan las trayectorias de difusión socialmente óptimas en cada caso, con las ecuaciones [12]-[13] que describen la difusión en una economía integrada bajo los supuestos anteriores. De este modo, la regulación óptima es en cada caso:

#### GOBIERNO DEL PAIS IMPORTADOR

$$V^i(t) = -e^{r(T-t)} \left[ (P(X_T, T) \alpha(X_T) - c(Z_T, T)) 2e^{-r(T-t)} - (P(X, t) \alpha(X) - c(Z, t)) \right] \theta + v^c(t) \quad [32]$$

(9) Obsérvese que las ecuaciones [28]-[29] y [30]-[31] incluyen, respectivamente, como caso particular, la de un país que no produce tecnología en absoluto, y que es el único demandante de este producto ( $n^N = n$ ,  $n^S = 0$ ,  $\alpha = 1$ ), y la de un país que exporta toda la producción ( $n^N = n$ ,  $\alpha = 1$ ,  $g(X) = 0$ ); casos que hemos estudiado anteriormente.

## GOBIERNO DEL PAIS EXPORTADOR

$$v^e(t) = -e^{r(T-t)} [(-P(X_T, T) \alpha(X_T) \theta - c(Z_T, T) (1 - \theta)) 2e^{-r(T-t)} + \quad [33]$$

$$+ (P(X, t) \alpha(X) \theta - c(Z, t) (1 - \theta))] + v^c(t)$$

Todos los comentarios y análisis de casos que se hicieron en el apartado 2.2 son válidos para el gobierno central, es decir, la agencia reguladora supranacional de estas dos economías integradas. Si comparamos el impuesto/subsidio óptimo de este organismo, [15], con estas ecuaciones, [32] y [33] que caracterizan las políticas óptimas de cada uno de los países podemos comprobar que si bien el gobierno central no tiene que establecer ningún tipo de impuesto o subsidio en el instante en el que la innovación se vuelve obsoleta, esto no ocurre así para cada gobierno por separado. A partir de estas dos expresiones, obtenemos los siguientes resultados que presentamos en forma de proposiciones:

*Proposición 10.* Siempre que el margen de beneficio unitario sea suficientemente elevado, el gobierno del país importador establecerá un impuesto a la importación de innovaciones en el instante de obsolescencia.

*Demostración:* Supongamos que las empresas productoras de innovaciones cargan un margen de beneficios sobre el coste unitario de producción:  $P = (1 + \beta)c$ . A partir de la ecuación [32] es inmediato comprobar que el gobierno del país importador establecerá un impuesto siempre que el margen de beneficios bruto unitario supere el inverso del porcentaje de exportaciones del país «desarrollado», es decir  $1 + \beta > \alpha^{-1}$ , para  $t = T$  puesto que  $v^c(T) = 0$  por la *Proposición 2*. ■

Lo que ocurre es que la demanda del país importador es tan elevada con respecto a la producción que tiene lugar en este país, que posibilita que se establezca un margen de beneficios excesivo. El establecimiento del impuesto tiene el efecto de reducir la rentabilidad inmediata de la innovación, y permitir, retrasando la adopción de innovaciones de algunas empresas usuarias, que éstas se beneficien en un futuro de la reducción de coste de producción de la innovación vía aprendizaje, e incluso opten por la compra de bienes de capital en el interior si se permite que la reducción de costes tenga lugar. Esta intuición nos proporciona el siguiente resultado:

*Proposición 11.* Dados los supuestos de la proposición anterior, el gobierno del país importador establecerá un impuesto en todo momento, no sólo en el instante de obsolescencia, siempre que el efecto de la producción acumulada sea mayor sobre la reducción de precios que sobre la reducción de costes y además este impuesto es mayor cuanto más elevado es el margen de beneficios unitario de las empresas, cuanto más elevada es la proporción de la producción del otro país que se importa y cuanto más elevada es la proporción de empresas de la industria de bienes de capital que se ubica en el extranjero. Estas variables tienen el mismo efecto sobre la cuantía del subsidio si la política óptima de la agencia supranacional fuese establecer un subsidio.

*Demostración:* De acuerdo con la *Proposición 2*, cuando el efecto precio es mayor en valor absoluto que el de aprendizaje,  $v^c(t) > 0 \forall t$  lo que asegura que  $v^i(t) > 0$  por la *Proposición 10* y viceversa cuando  $v^c(t) < 0$ . Los efectos sobre la cuantía del impuesto/subsidio se obtienen diferenciando la ecuación [32]. ■

*Proposición 12.* En el caso del país exportador siempre se establecerá un subsidio en el momento de obsolescencia, que de nuevo será mayor cuanto más elevado sea el porcentaje de exportaciones o la proporción de empresas de la industria ubicadas en el país (siempre que  $1 + \beta < \alpha^{-1}$ ), pero la evolución temporal dependerá de los efectos en el precio y en los costes de producción de la producción acumulada así como de la distribución de empresas entre los distintos países.

*Demostración:* Inmediata a partir de la *Proposición 2* y de [33].

#### 4. CONCLUSIONES

El ejercicio que se ha llevado a cabo consiste en la extensión al ámbito internacional de un modelo originariamente diseñado para una economía cerrada, a fin de explicar comportamientos de distintos gobiernos y su influencia en el comercio, en este caso de tecnología (10). El objetivo de este trabajo ha sido desarrollar un modelo sencillo con el que se pueda analizar las diferencias en las políticas de regulación de cada nivel de gobierno cuando dos países forman parte de una comunidad económica. Las diferencias en el diseño de estas políticas tienen su origen en la inclusión en la función de bienestar social de los ingresos obtenidos por exportaciones o de los recursos necesarios para importar la tecnología. Evidentemente, para la agencia supranacional, estos conceptos se cancelan de modo que el diseño de políticas óptimas a este nivel no tiene en cuenta el efecto de distribución del bienestar entre los países miembros. De este modo, por ejemplo, cuando para el gobierno central es óptimo el establecimiento de un subsidio decreciente en el tiempo (porque los efectos de la producción acumulada son inferiores en valor absoluto a la reducción de precio de la innovación que esto genera), puede ocurrir que para el país importador sea óptimo establecer un impuesto para compensar el exceso de recursos que ha de dedicarse a financiar la importación de estas innovaciones, mientras que el país exportador estaría dispuesto a establecer un subsidio aún mayor que el que establece el gobierno central.

La otra conclusión de relevancia consiste en matizar cuál es el papel de las expectativas de los usuarios de la innovación respecto de la evolución futura del precio de la misma en la definición de la trayectoria de difusión y en el diseño de la política de regulación óptima. Si bien es cierto que esta distinción tiene relevancia en algunos casos, no es menos cierto que parecen ser un poco limitados. Excepto en el caso de un país pequeño que importa la totalidad de la tecnología que consume, la demanda tiene que estar en función del stock de innovaciones vendidas en el mercado, con lo que el papel de las expectativas desaparece. Que los agentes tengan expectativas miópicas o perfectas respecto de la evolución del precio de la innovación está plenamente justificado cuando la demanda de la misma sólo depende del tiempo lo que obvia multitud de efectos del comportamiento del mercado de la innovación. El tiempo es un factor explicativo de la evolución de la demanda de innovaciones, pero no el único; la existencia de otras generacio-

(10) Esta es la práctica habitual en el desarrollo de los modelos de economía internacional y organización industrial. A modo de ejemplo y relacionado de algún modo con la transferencia de tecnología, véase Eaton y Grossman (1986), Krugman (1979) y Krugman (1986).

nes de capital que incorporan la innovación en distinta medida, la amplitud del mercado, el stock de innovaciones vendidas, etc. son variables que entran directamente en la demanda.

Son muchas las limitaciones del modelo puesto que en su planteamiento se han hecho supuestos que faciliten al máximo el desarrollo analítico del mismo y la obtención de resultados ilustrativos. Cabe señalar, a nuestro entender, dos limitaciones fundamentales que podrían ser objeto de una extensión de este trabajo. La primera consiste en que las trayectorias de difusión se obtienen como solución «open-loop» de un juego simétrico entre las empresas que conforman la industria de bienes de capital. Esto hace que puedan surgir problemas de consistencia temporal en las estrategias de los agentes que sustentan tal equilibrio. Una solución «closed-loop» con estrategias en tiempo continuo haría necesario el uso del equilibrio perfecto de Markov para obtener la solución del modelo. La segunda limitación fundamental de este modelo es el supuesto de simetría y el de que no existen unas condiciones de producción distintas en cada uno de los países. Es evidente que esto no es así y que por ello las implicaciones que hemos obtenido para una realidad institucional particular deben tomarse con reserva. Un posible desarrollo de este modelo creemos que puede realizarse en la línea del trabajo de Haning (1986). Relajar el supuesto de simetría y considerar distintos costes de producción de innovaciones obligaría a replantearnos todo el modelo y solucionar un juego diferencial entre empresas de distintos países, con distintos costes de producción, y sometidas a políticas de regulación diferentes. Es evidente que esta tarea no será posible sin una dosis considerable de otros supuestos simplificadores como funciones objetivo cuadráticas y dinámica lineal.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARROW, K. (1962): «Economic Welfare and the Allocation of Resources to Innovation», en R. Nelson (ed.): *The Rate and Nature of Inventive Activity*, Princeton University Press.
- DAVID, P. y OLSEN, T. (1984): *Anticipated Automation: A Rational Expectations Model of Technological Diffusion*, Centre for Economic Policy Research, Publication n.º 24 (CEPR, Technological Innovation Program Working Paper n.º 2), Stanford, California, USA.
- EATON, J. y GROSSMAN, G. M. (1986): «Optimal Trade and Industrial Policy Under Oligopoly», *Quarterly Journal of Economics*, pp. 383-406.
- ERGAS, H. (1987): «The Importance of Technology Policy», en P. Dasgupta y P. Stoneman: *Economic Policy and Technological Performance*, Cambridge University Press.
- FUDENBERG, D. y TIROLE, J. (1983): «Learning-by-Doing and Market Performance», *Bell Journal of Economics*, vol. 14, pp. 522-530.
- HANNING, M. (1986): *Differential Gaming Models of Oligopoly*, Ph. D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- HARTLEY, K. (1984): *The Implications of National and Community Commercial Policies for the Development of the EC's Technological Industries*, Centre for European Policy Studies, Working Document n.º 7.
- IRELAND, N. J. y STONEMAN, P. (1986): «Technological Diffusion, Expectations and Welfare», *Oxford Economic Papers*, vol. 38, pp. 283-304.
- KRUGMAN, P. R. (1979): «A Model of Innovation, Technology Transfer, and World Distribution of Income», *Journal of Political Economy*, vol. 87, pp. 253-266.
- KRUGMAN, P. R. (1986): «A "Technology Gap" Model of International Trade», en K. Jungenfelt y D. Hague (eds.): *Structural Adjustment in Advanced Economies*, Macmillan.
- PETERSON, J. (1991): «Technology Policy in Europe: Explaining the Framework Program and Eureka in Theory and Practice», *Journal of Common Market Studies*, vol. 29, pp. 269-290.
- QUIRMBACH, H. C. (1986): «The Diffusion of New Technology and the Market for an Innovation», *Rand Journal of Economics*, vol. 17, pp. 33-47.

- REINGANUM, J. F. (1981a): «On the Diffusion of New Technology: A Game Theoretic Approach», *Review of Economic Studies*, vol. 48, pp. 395-405.
- REINGANUM, J. F. (1981b): «Market Structure and the Diffusion of New Technology», *Bell Journal of Economics*, vol. 12, pp. 618-624.
- ROSENBERG, N. (1976): «On Technological Expectations», *Economic Journal*, vol. 86, pp. 523-535.
- SPENCE, A. M. (1981): «The Learning Curve and Competition», *Bell Journal of Economics*, vol. 12, pp. 49-70.
- STONEMAN, P. (1987): *The Economic Analysis of Technology Policy*, Oxford University Press.
- STONEMAN, P. y DAVID, P. A. (1986): «Adoption Subsidies vs Information Provision as Instruments of Technology Policy», *Economic Journal*, Supplement, vol. 96, pp. 142-150.
- TAKAYAMA, A. (1985): *Mathematical Economics*, 2.<sup>a</sup> ed., Cambridge University Press.
- WÄLDCHEN, P. (1988): «Industrial Change, New Technologies and EC Regional Policy», en K. Dyson: *Local Authorities and New Technologies. The European Dimension*, Croom Helm.