

Apoyo público a proyectos cooperativos de investigación: sugerencias de un modelo teórico.

Juan Acosta Ballesteros (Departamento de Análisis Económico, Universidad de La Laguna)

1. Introducción.

El establecimiento de vínculos formales e informales entre las empresas y las universidades y organismos públicos de investigación desempeña un papel importante para que el trabajo de los investigadores académicos impulse la innovación empresarial (Gibbons y Johnston (1974), Senker y Faulkner (1992), Faulkner y Senker (1994)). Por ello, la existencia de obstáculos a las relaciones entre empresas y centros públicos de investigación (CPI) justifica la intervención pública. Entre estos obstáculos se encuentran las barreras culturales, la disparidad en la orientación de la investigación, la percepción en las empresas de que los investigadores de las universidades no comprenden las necesidades de la industria o carecen de las capacidades adecuadas, las políticas de patentes y la protección del derecho a la publicación (Dean (1981), Azároff (1982), Fowler (1984), Höglund y Persson (1987), Van Dierdonck et al. (1990)).

En España, existen diversos instrumentos de política científica y tecnológica que pretenden facilitar la vinculación entre empresas y CPI. Los proyectos concertados, que proporcionan financiación sin interés a proyectos de investigación en los que una empresa colabora con investigadores de CPI, es uno de ellos. En otros trabajos (Acosta y Modrego 1997 y 1998) se ha analizado su funcionamiento con la finalidad de dilucidar el modo en que la agencia pública encargada de administrar estas ayudas las ha concedido y ha

determinado su cuantía. Un resultado que se ha obtenido es que no existe evidencia sobre una actuación que tienda a favorecer a determinados colectivos de empresas o proyectos ni en la concesión de estos créditos ni en la determinación de su cuantía. En otras palabras, el incentivo que las empresas tienen para solicitar estas ayudas procede de sus propias características y no de estímulos provenientes de una actuación pública dirigida a determinados grupos de empresas y de proyectos.

De inmediato surge la cuestión de si esta forma de actuar es adecuada. Por ello, parece interesante diseñar un modelo¹ que recoja algunas de las características de la actuación pública en los proyectos concertados y que permita extraer algunas consideraciones sobre ella. El modelo se plantea desde el punto de vista de una agencia pública que tiene como objetivo lograr que empresas y CPI cooperen. Se pretende explicar el efecto que una ayuda pública constante en el tiempo e independiente de la empresa que lo recibe puede tener sobre la generación de cooperación sostenida, esto es, sobre el número de empresas que realizan proyectos de investigación en colaboración sin necesidad de apoyo público. La actuación pública no tiene carácter indefinido, sino que la agencia determina, junto a la cuantía de la ayuda que proporciona, su duración.

En el modelo, existe un conjunto de empresas que realizan proyectos de I+D. Puesto que todas las empresas son igualmente prioritarias para la agencia pública, se supone que se diferencian sólo por su valoración de la cooperación². En concreto,

¹ En la literatura que ha estudiado las decisiones de gasto en I+D de las empresas (Pérez-Castrillo (1990), Beath et al. (1995)) y la formación de alianzas entre empresas para investigar (por ejemplo: d'Aspremont y Jacquemin (1988), Katsoulacos y Ulph (1998)) ocupan un lugar central los aspectos relativos a la competencia entre las empresas. Por simplicidad, este trabajo no los analiza, ya que los aspectos competitivos no parecen tan importantes en los proyectos concertados, que son ayudas concedidas a un conjunto de sectores productivos amplio -no a una única industria- y que, además, se dirigen a proyectos precompetitivos, esto es, apoyan la investigación que no da frutos directamente sino que requiere desarrollo posterior.

² Las empresas no tienen que ser iguales, lo que ocurre es que, como no se está permitiendo que tomen ninguna decisión excepto solicitar la ayuda pública, no parece necesario especificar estas diferencias.

inicialmente parte de las empresas colabora habitualmente mientras que el resto considera preferible desarrollar sus proyectos de investigación en solitario. En ausencia de intervención pública, las empresas que cooperan generan una externalidad que conduce a que el resto valore mejor la participación de los CPI en sus proyectos. Por ello, con el transcurso del tiempo las empresas se deciden a cooperar. La efectividad de estas ayudas se apoya precisamente en que, aunque existan problemas en las relaciones entre empresas y CPI, la colaboración resulta positiva en términos generales para las empresas³ y, de hecho, tiende a ser cada vez más valiosa tanto para las empresas que cooperan como para el resto.

Las ayudas públicas pueden consistir en subsidios que compensan la apreciación negativa de las empresas. Cuando se logra que una empresa coopere, su valoración mejora y lo hace más rápidamente que si estuviera empujada por la externalidad. Además, la cooperación de esta empresa contribuye a la externalidad que afecta al resto. De todos modos, la intervención también puede instrumentarse mediante la concesión de créditos en condiciones de mercado que permiten financiar los proyectos y que pueden llevar asociado un subsidio que mejora las condiciones de estos créditos (convirtiéndolos, por ejemplo, en créditos blandos o sin intereses). Esta forma de actuación tiene efectos más estimulantes sobre la cooperación cuanto mayor sea la dificultad de las empresas para financiar sus actividades de I+D. La razón es que, en este caso, la decisión de las empresas no consiste en aceptar la ayuda y cooperar cuando ésta les compensa por las desventajas de la cooperación -como ocurre con el subsidio-, sino en plantearse si prefieren realizar el proyecto aunque tengan que soportar los problemas de compartir su desarrollo con el CPI o bien posponerlo o, tal vez, no llevarlo a cabo.

³ Ver COTEC (1999) para un análisis de las relaciones entre empresas y CPI en España.

El esquema de este trabajo es el siguiente. En el apartado segundo, se comienza describiendo la estructura del modelo y se explica brevemente la evolución del número de empresas que cooperan en cada momento en ausencia de intervención pública y cuando ésta tiene lugar. En el tercer apartado se define el problema de la agencia pública, que desea elegir el periodo de tiempo durante el que la ayuda estará vigente y la cuantía de la misma. En el cuarto apartado se realizan simulaciones sobre el resultado de la actuación óptima en diferentes escenarios para poder encontrar sus rasgos más característicos. En el quinto apartado, se amplía el modelo en dos direcciones: en la primera, se analiza si es preferible para la agencia que concede las ayudas seleccionar a las empresas que las reciben o bien determinar la importancia de las dificultades para financiar actividades de I+D a la que se enfrentan las empresas; en la segunda extensión, la importancia de las restricciones financieras que afronta cada empresa está directamente relacionada con la valoración que hace inicialmente de la cooperación con CPI. Por último, en el sexto apartado se ofrecen algunas conclusiones.

2. El modelo.

Existe un conjunto de empresas que realizan actividades de I+D y que se diferencian sólo por su valoración de las ganancias que les proporciona cooperar con centros públicos de investigación (CPI). En concreto, existe un grupo de $n(0)$ empresas que desde el momento inicial ($t=0$) colaboran habitualmente porque lo consideran conveniente, es decir, obtienen un beneficio mayor contando con la participación de investigadores del sector público en sus proyectos de investigación que desarrollándolos en solitario. También existe un continuo $[0,H]$ de empresas que, en el momento inicial, consideran más beneficioso investigar en solitario. El beneficio $V(q,0)$ que una de estas empresas (q)

percibe que puede obtener por cooperar en el instante 0 es negativo o, en el mejor de los casos, cero. Esta evaluación inicial viene dada por la expresión [1],

$$V(q,0) = -q \quad > 0 \quad [1]$$

que sugiere que las empresas están ordenadas de acuerdo a su interés por la cooperación y, de hecho, que su desinterés crece a un ritmo constante, que queda recogido por el parámetro .

La percepción de las ventajas de colaborar se ve alterada con el paso del tiempo, ya que el trabajo conjunto de las empresas con los CPI genera un proceso de aprendizaje en estos últimos que hace más valiosa su cooperación posterior. Este aprendizaje se refiere a la mejora tanto en sus habilidades y conocimientos científicos y tecnológicos, como en su práctica en el desarrollo de proyectos cooperativos. Las empresas que cooperan son, por su vinculación directa con los CPI, las más beneficiadas, sin embargo el resto se ve favorecido por una externalidad positiva que se debe a que pueden aprovechar parte de las mayores capacidades de los CPI⁴.

En concreto, la valoración de la cooperación para las empresas que cooperan crece en cada momento del tiempo en una cuantía , mientras que la de las que no colaboran mejora en $n(t)$, siendo $n(t)$ el número de empresas que cooperaron en ese instante t y un parámetro que recoge la magnitud de la externalidad que cualquiera de las empresas que

⁴ La valoración del beneficio que reporta la cooperación la realizan las propias empresas por lo que puede no ser totalmente acertada, sea porque la falta de experiencia en cooperación inhabilita a la empresa para valorar adecuadamente la ganancia esperada o porque existen barreras culturales o de otro tipo al establecimiento de estos vínculos. Por ello, la mejora en la percepción de la valoración en el caso de las empresas que colaboran también se puede justificar porque el trabajo conjunto genera que la reticencia que pueden tener las empresas a entablar relaciones con organismos que se rigen por diferentes motivaciones se diluya gradualmente y que las empresas se acostumbren a este tipo de relaciones (por ejemplo, desarrollen métodos de gestión de proyectos cooperativos). Siguiendo esa argumentación, el cambio de conducta del resto de las empresas puede venir motivado por un efecto demostración que afecta a su percepción acerca de las ventajas e inconvenientes del trabajo conjunto con CPI.

cooperan proporciona a cada una de las que no lo hacen. Debe observarse que el modelo se plantea de forma que la externalidad sólo afecta a las empresas que no cooperan. Este supuesto se aplica porque simplifica mucho la resolución del problema de la agencia pública sin afectar a su esencia. En cualquier caso, se supone que el efecto para las que cooperan es mucho mayor que para el resto, es decir, $\partial V / \partial n > \partial V / \partial m > 0$, lo que significa que la mejora en la valoración para una empresa que coopera supera a la que obtiene una que no lo hace incluso en una economía en la que todas las demás empresas colaboran con CPI.

En los dos próximos subapartados se describe la evolución en el tiempo del número de empresas que coopera cuando no hay intervención y cuando ésta tiene lugar.

2.1 La generación de cooperación en ausencia de intervención pública.

Si la agencia pública no actúa, en el momento inicial sólo colaboran $n(0)$ empresas, que generan una externalidad sobre las demás⁵ que incrementa su valoración de la cooperación y, en consecuencia, conduce a que más empresas desarrollen investigación conjunta con CPI. A partir de ese instante, el crecimiento de la valoración para las empresas que no cooperan⁶ depende del número total de empresas que sí lo hacen, es decir, $n(0)+m(t)$, siendo $m(t)$ el número de cooperantes que ha aparecido desde el momento inicial hasta t .

$$\dot{V}(q, t) = \frac{\partial V(q, t)}{\partial t} = \frac{\partial V(q, t)}{\partial (n(0) + m(t))}$$

⁵ Aunque estas $n(0)$ empresas pueden experimentar un aumento –posiblemente limitado– en las ganancias que les supone la cooperación, su consideración no tiene transcendencia en este modelo.

⁶ En todo el artículo, el punto encima de una función denota su derivada respecto al tiempo.

Esta evolución de la valoración de la cooperación conduce a que el número de empresas que cooperan crezca exponencialmente según la expresión [2].

$$m(t) = n(0)e^{-t} - n(0) \quad t_H \geq t \geq 0 \quad [2]$$

El modelo, por tanto, explica cómo inicialmente cooperan sólo $n(0)$ empresas y, paulatinamente, se va generando un acercamiento cada vez más rápido del resto a los CPI hasta el momento (t_H) en que todas cooperan.

2.2 Efecto de la intervención pública sobre la cooperación.

La agencia pública puede proporcionar una ayuda a las empresas que cooperen entre el momento inicial y un momento T ($T > 0$) elegido por ella. La ayuda puede instrumentarse de dos formas. En primer lugar, puede consistir en un subsidio s ($s > 0$) que conseguirá que la empresa coopere si le compensa la pérdida que considera le va a reportar la participación de investigadores del sector público. En segundo lugar, la intervención puede materializarse en un crédito en condiciones de mercado que financia la totalidad del proyecto y que puede incorporar un subsidio s (por ejemplo, ligado a la reducción o exención de intereses). Esta segunda forma de actuar tiene un importante efecto estimulante sobre la cooperación en aquellos casos en los que la empresa tiene dificultad para financiar sus actividades de I+D. El motivo es que en estas situaciones la empresa puede estar dispuesta a llevar a cabo el proyecto en cooperación aunque ello le parezca peor opción que desarrollarlo en solitario, ya que la alternativa es no poder realizarlo y perder todos los beneficios potenciales del mismo.

En el modelo se incluye un parámetro B , general para todas las empresas y que no puede ser negativo. Si la ayuda consiste en créditos, B recoge la escasez de fondos a la que se enfrentan las empresas, esto es, mide lo negativa que puede llegar a ser la valoración de

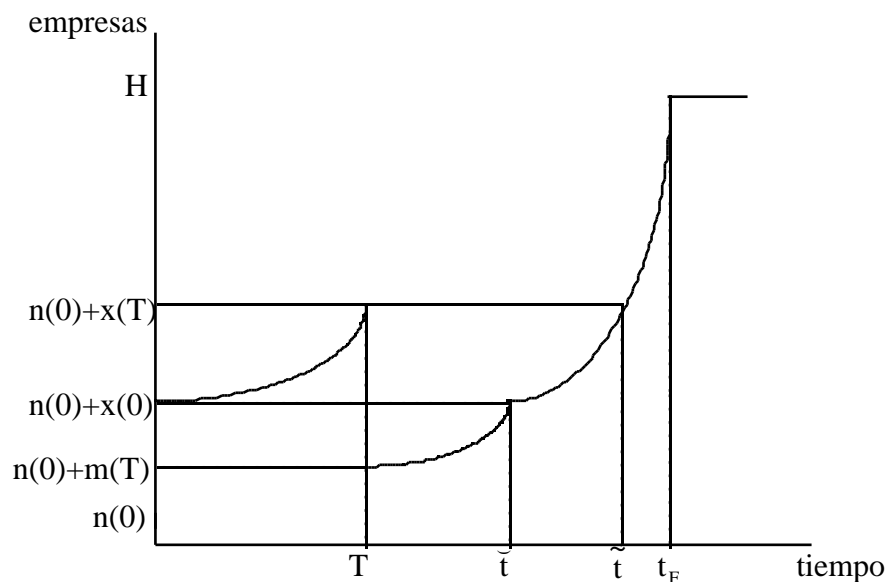
la cooperación para una empresa que solicita a la agencia pública un crédito a tipo de interés de mercado ($s=0$) con la obligación de desarrollar el proyecto cooperativo. Si la ayuda pública se instrumenta en forma de subsidios, el parámetro B toma valor cero.

La evolución del número de empresas que cooperan cuando existe apoyo público se muestra en el gráfico 1 y se explica a continuación⁷.

- Inicialmente, ($t=0$), solicitan el subsidio o el crédito (además de las $n(0)$ empresas que ya cooperaban) aquellas empresas para las cuales es positiva la suma de su valoración de la cooperación al subsidio que lleva incorporado la ayuda y al parámetro B . La ayuda conduce a la aparición de $x(0)$ nuevas cooperantes⁸, tal y como se indica en [3].

$$x(0) = \min \frac{s + B}{H}, H \quad [3]$$

Gráfico 1: Evolución del número de empresas que cooperan cuando la agencia interviene.



⁷ La resolución detallada del modelo se proporciona en Acosta (2000).

⁸ Debe notarse que $x(0)$ depende de una variable de decisión de la agencia pública, esto es, s . Por ello, realmente debería expresarse como $x(0,s)$. El motivo para obviar el último argumento es simplificar la notación. Lo mismo ocurre con $x(t)$, $m(t)$, \tilde{t} , \tilde{t} y t_F que son funciones que dependen de s y de T .

- Durante el periodo que está vigente la intervención pública, el número de empresas que reciben la ayuda y cooperan $x(t)$ (además de las $n(0)$ que lo harían incluso sin apoyo) es creciente en el tiempo de forma exponencial, según la ecuación [4], que es similar a la expresión [2] que surge en ausencia de intervención. La diferencia es que al cooperar más empresas la valoración de la cooperación mejora más rápido.

$$x(t) = \text{Min} [n(0) + x(0)]e^{-t} - n(0), H \quad T \leq t < \infty \quad [4]$$

- En el momento en que se retira la ayuda (T), siguen cooperando $m(T)$ empresas, lo que implica (posiblemente) que parte de las empresas que cooperaban deciden dejar de hacerlo porque su valoración es aún negativa. Esto, además, motiva un ralentizamiento en el ritmo de nuevas incorporaciones, ya que la magnitud de la externalidad se reduce. A partir del momento T , gradualmente se produce la colaboración con CPI, primero, de las empresas que ya habían recibido la ayuda y, después, la del resto.

Aunque cualitativamente este proceso es similar al que se produce cuando no existe intervención (apartado 2.1), requiere tomar en consideración que la intervención pública ha apoyado a $x(0)$ empresas desde el principio, $m(T)-x(0)$ se incorporaron posteriormente y, por último, $H-m(T)$ nunca cooperaron. El primero de estos grupos ha mejorado su valoración de la cooperación a un ritmo α , mientras que el tercero lo ha hecho sólo empujado por la externalidad (menor que α). Sin embargo, en el caso del segundo grupo, cada empresa cooperó durante parte del periodo de intervención (evoluciona a un ritmo α) y fue arrastrada por la externalidad durante el resto. Esta desigual participación en las ayudas públicas tiene como consecuencia que la valoración de cada una de estas empresas ha evolucionado de forma diferente. De hecho, la diferencia en la valoración que hacen dos

empresas viene dada por la mejora que ha experimentado la valoración de la que cooperó primero durante el tiempo en que la que lo hizo más tarde sólo se movió arrastrada por la externalidad y, por tanto, no es constante.

Existen distintas posibilidades de evolución del número de cooperantes $m(t)$ –aparte de las $n(0)$ iniciales- que se pueden resumir en dos. La primera surge cuando en el momento en que se retira el apoyo público deja de cooperar parte de las empresas que recibieron la ayuda desde el principio (esto es, $m(T) < x(0)$) y la segunda en el caso contrario. La primera, que es la más complicada, se compone de tres tramos⁹, que se representan en el gráfico 1 y vienen recogidos por la ecuación [5].

$$m(t) = \begin{cases} (n(0) + m(T))e^{-(t-T)} - n(0) & \text{si } \tilde{t} \leq t < T \\ -n(0) - \frac{n(0) + x(0)}{[n(0) + x(0)]^2 (t - \tilde{t}) - 1} & \text{si } \tilde{t} \leq t \leq \tilde{t} \\ H [n(0) + x(T)]e^{-(t-\tilde{t})} - n(0) & \text{si } t_F \leq t \leq \tilde{t} \\ & \text{si } t \leq t_F \end{cases} \quad [5]$$

En primer lugar, partiendo de las $n(0)+m(T)$ empresas que siguen cooperando, se produce el acercamiento hacia la cooperación de las $x(0)-m(T)$ empresas que recibieron la ayuda desde el principio. La incorporación se produce de forma similar a la explicada en el apartado 2.1. y finaliza cuando todas estas empresas cooperan en el momento \tilde{t} .

En segundo lugar, se producirá la incorporación de las $x(T)-x(0)$ empresas que se fueron incorporando posteriormente al programa de ayudas públicas. Puesto que, como se ha explicado, la distancia que existe entre ellas depende del momento en que cada empresa

⁹ En el otro caso, como las $x(0)$ empresas que recibieron apoyo público desde el momento inicial continúan cooperando cuando éste se retira, la dinámica del modelo no requiere el periodo comprendido entre T y \tilde{t} .

comenzó a recibir la ayuda, la expresión que representa el periodo comprendido entre \tilde{t} y \tilde{t} es más complicada que la que surge en los otros casos.

En tercer lugar, se incorpora el resto de empresas siguiendo una evolución similar a la explicada cuando no existe intervención. A partir del momento t_H , todas las empresas valoran positivamente la cooperación.

3. Actuación de la agencia pública.

Conociendo la evolución en el tiempo del número de empresas que cooperan para valores dados de s y T , es posible plantear la elección óptima del subsidio (sea directo o sea integrado en el crédito) y del periodo de vigencia del mismo. La intervención de la agencia pública persigue adelantar al máximo la cooperación de las empresas, aunque se encuentra con el obstáculo que impone el pago del subsidio.

Las decisiones de la agencia se adoptan maximizando una función objetivo que refleja las siguientes características:

- La agencia pública obtiene un beneficio (>0) en cada instante del tiempo por cada empresa que colabora, aunque, sin pérdida de generalidad, no se incluye a las $n(0)$ empresas que lo hacen desde el principio sin necesidad de intervención. Estos beneficios se suman desde el momento inicial hasta el infinito.

- La agencia aplica una tasa de descuento r ($r>0$).

- En la exposición que sigue se supone que la agencia no es capaz de determinar cuáles son las empresas que necesitan la ayuda para cooperar. Por eso, la concede a todas las que la solicitan. En cualquier caso, este supuesto será relajado más adelante, cuando se discutan los resultados del modelo.

Al plantear la función objetivo $G(s,T)$ hay que tener en cuenta que está definida en intervalos según los valores de los parámetros del modelo y, en especial, de la actuación pública (s y T). De acuerdo a lo descrito en el apartado anterior, viene dada por:

$$G(s,T) = \int_0^T x(t)e^{-rt} dt - \int_0^T s[n(0) + x(t)]e^{-rt} dt + \int_T^{t_F} m(t)e^{-rt} dt + \int_{t_F}^{\infty} H e^{-rt} dt$$

La primera integral considera los beneficios actualizados para la agencia pública de la cooperación de las $x(t)$ empresas durante el periodo en que interviene. La segunda descuenta los costes –también actualizados– que supone la ayuda a las $n(0)+x(t)$ empresas que la reciben¹⁰. La tercera integral recoge la suma de los beneficios para la agencia de la cooperación en el periodo que media entre el momento T en que cesa la intervención y aquel en que las H empresas cooperan por sí mismas. Esta tercera expresión expresa de forma sintética las dos posibles alternativas descritas en el apartado 2.2. Cada una de ellas se obtiene evaluando la integral en intervalos más pequeños para cada uno de los tramos en que se define la función $m(t)$ (el ejemplo es la expresión [5]). El último sumando cuantifica los beneficios para la agencia a partir de t_F .

La obtención de la conducta óptima de la agencia pública requiere maximizar la función objetivo respecto a las dos variables de decisión del gobierno teniendo en cuenta que s y T deben ser no negativas. Además, la ganancia del gobierno debe superar la que alcanzaría en ausencia de intervención, que es $\frac{1}{r}H(n(0)/H)^r$, y no incorporará un subsidio mayor del que consigue que las H empresas cooperen desde el primer momento, ni se mantendrá durante más tiempo del necesario para que todas ellas valoren positivamente la colaboración.

¹⁰ No se toman en consideración los costes de gestión de la ayuda.

Las condiciones de primer orden del problema de maximización de la función objetivo de la agencia pública son difícilmente tratables, aunque se transforme la función objetivo para facilitar los cálculos. Por ello, se ha optado por obtener, utilizando el programa *Mathematica*, el máximo de la función objetivo por métodos numéricos¹¹ para una multiplicidad de escenarios en los que quepa plantear la actuación pública.

¹¹ Además de la complejidad de las condiciones de primer orden, existe otro motivo que impide la resolución analítica del problema de la agencia pública. Este es que la integral de la ganancia actualizada que obtiene la agencia a medida que se va produciendo la incorporación a la cooperación de empresas que habían sido apoyadas previamente no tiene primitiva elemental. Por este motivo, la integral de los beneficios que obtiene la agencia en el periodo “en el que las empresas están desigualmente separadas” ha sido calculada numéricamente.

4. Resultados: selección de empresas y disponibilidad de recursos financieros.

El estudio de la actuación óptima de la agencia pública se hace de la siguiente forma: en primer lugar, se plantea su comportamiento cuando la externalidad carece de importancia, lo que permite interpretar intuitivamente la elección pública. En segundo lugar, se analiza el efecto de la intervención consistente en un subsidio y se compara con el que se obtiene cuando la agencia conoce cuáles son las necesidades de financiación de las empresas e instrumenta su actuación mediante la concesión de créditos a tipo de interés de mercado que pueden estar acompañados por subsidios.

En ambos casos, se consideran tres hipótesis sobre la forma en que la agencia pública concede la ayuda: a) La primera posibilidad es que la proporcione a todas las empresas que cooperan, es decir, no realiza selección, que es la alternativa expuesta en el apartado 3. b) Una segunda opción, que se denomina selección parcial, consiste en que sólo la otorgue a las que cooperan a partir del periodo 0, de forma que excluye a las $n(0)$ empresas que valoraban positivamente la colaboración con CPI desde el principio.

c) La tercera alternativa es que apoye sólo a las empresas que no cooperarían sin la ayuda. En este caso, la agencia pública conoce perfectamente cuáles necesitan su apoyo y realiza una selección perfecta.

4.1 Cuando la externalidad no existe.

El caso más sencillo de analizar es aquel en el que la magnitud de la externalidad es nula, ya que sólo la actuación pública puede lograr que las empresas comiencen a cooperar.

En el cuadro 1 se exponen como ejemplo los resultados que se obtienen cuando los parámetros son: $H=100$; $\beta=1$; $\alpha=10$; $r=0,15$; $\delta=25$; $n(0)=10$. Las dificultades de las

empresas para financiar sus actividades de I+D quedan recogidas por el parámetro B , para el que se consideran los valores 0; 10 y 20.

La intervención pública óptima consiste proporcionar una ayuda que incluye un subsidio óptimo s^* que hace que cooperen $x(0)=(s^*+B)/$ empresas y mantenerla hasta un momento $T^*=(s+B)/$ en el que las $m(T^*)=x(0)$ empresas entienden que el trabajo de los CPI tiene efectos positivos. La actuación pública consiste, por tanto, en escoger a un grupo de empresas y apoyarlo hasta que coopere por sí mismo¹². La justificación para este proceder es que si la actuación pública cesase antes, estas empresas dejarían de cooperar y no lo harían nunca, por lo que el efecto de la intervención sería transitorio.

Los peores resultados para la agencia se logran cuando proporciona subsidios o cuando el crédito se dirige a empresas que no encuentran obstáculos para financiar sus proyectos de investigación (en ambos casos, $B=0$). Si proporciona créditos, la agencia concede un subsidio más bajo cuanto mayor es B , pero el mayor atractivo del crédito logra que cooperen más empresas. Así, por ejemplo, cuando la agencia no realiza selección, las empresas que acceden a la ayuda en el momento inicial son 23,3; 27,4 y 31,8 cuando B toma valor 0; 10 y 20, respectivamente.

¹² Si no fuese exactamente cero, en el momento T^* habrían accedido a la ayuda $x(T^*)$ empresas, un número ligeramente mayor que $x(0)$, pero, como consecuencia del reducido efecto de la externalidad, debería pasar mucho tiempo para que estas empresas llegasen a cooperar.

Cuadro 1: Actuación óptima de la agencia pública en ausencia de externalidad.

No hay selección	G*	s*	T*	Coste*
B=0	2357	23,3	2,33	1535
B=10	3104	17,4	2,74	1468
B=20	4052	11,8	3,18	1255
Selección parcial	G*	s*	T*	Coste*
B=0	2881	26,8	2,68	1590
B=10	3553	20,7	3,07	1565
B=20	4403	14,9	3,49	1421
Selección perfecta	G*	s*	T*	Coste*
B=0	4045	37,5	3,75	2211
B=10	4689	31,3	3,13	2198
B=20	5454	25,3	4,53	2110

También se observa que, a medida que la capacidad discriminatoria de la agencia pública aumenta, la importancia del subsidio y su duración es mayor, lo que conduce a que el colectivo de empresas que llega a desear colaborar con CPI al finalizar la actuación pública crezca. Por ejemplo, cuando $B=10$, $m(T^*)$ es 27,4 si la agencia no selecciona; 30,7 si no apoya a las $n(0)$ empresas y 41,3 si apoya sólo a las empresas que lo necesitan. El gasto de la agencia –que se recoge en la columna $coste^*$ del cuadro 1- también es mayor, pero lo dirige a las empresas que lo necesitan.

4.2 Cuando la externalidad tiene importancia.

A continuación se analizan los resultados de la actuación pública cuando la externalidad existe. En los cuadros 2, 3 y 4, figuran las decisiones óptimas de la agencia pública para los diferentes valores de $n(0)$ y las diversas posibilidades de selección de las empresas que acceden a las ayudas públicas. Los valores de los parámetros empleados son los mismos que en el caso en el que la externalidad no existe, aunque ahora $\alpha=0,05$ y el número de empresas que coopera desde el principio adopta valores $n(0)= 10; 25$ y 50 . Las

dificultades de las empresas para financiar sus actividades de I+D quedan recogidas por el parámetro B, que toma los valores 0; 5; 10; 20 y 30.

El primer resultado que se observa es que, para cada uno de los tipos de selección, el subsidio asociado a la concesión de un crédito es preferible al subsidio solo. La razón es simplemente que la agencia consigue que la empresa coopere incurriendo en gastos menores. Así, por una parte, si la agencia toma en cuenta los problemas de las empresas para financiarse (es decir, conoce B), un mayor valor de B permite proporcionar subsidios menores manteniéndolos durante más tiempo. En cualquier caso, el subsidio unido a la escasez de fondos para financiar actividades de I+D motiva que el número de empresas que cooperan crezca y, de esa forma, la función objetivo es mayor en el punto óptimo. En otras palabras, la escasez de recursos financieros puede ser explotada ventajosamente por la agencia con la finalidad de incentivar la cooperación. Por otra parte, el subsidio logra los mismos resultados que el crédito cuando las empresas no tienen dificultades para financiar el proyecto. En este último caso, por tanto, es indiferente la forma en que se instrumente la intervención.

El efecto de la capacidad discriminadora de la agencia pública es el siguiente:

- Cuando la agencia pública apoya a quienes lo solicitan, la ayuda pública hace que $x(0)=(s^*+B)/$ empresas cooperen y, antes de que lleguen a estar dispuestas a colaborar por sí mismas, cesa. El motivo de esta retirada aparentemente prematura es que, a medida que pasa el tiempo crece el número de empresas que reciben la ayuda, pero que cooperarían de cualquier modo, lo que resulta un gasto inútil para la agencia.

Cuadro 2: Actuación óptima de la agencia pública en función de B. n(0)=10

No hay selección	G*	s*	T*	Coste*
B=0	2998	26,3	2,05	1779
B=5	3360	23,0	2,27	1789
B=10	3775	19,9	2,51	1767
B=20	5647	0	30,16	0
B=30	7892	0	23,38	0
Selección parcial	G*	s*	T*	Coste*
B=0	3522	29,3	2,37	1852
B=5	3859	26,0	2,58	1874
B=10	4244	22,8	2,80	1872
B=20	5647	0	30,16	0
B=30	7892	0	23,38	0
Selección perfecta	G*	s*	T*	Coste*
B=0	4556	36,4	3,64	2455
B=5	4910	33,3	3,83	2480
B=10	5301	30,3	4,03	2486
B=20	6204	24,5	4,45	2430
B=30	7892	0	23,38	0

- Si no se concede la ayuda a las n(0) empresas que cooperaban desde antes del inicio de la intervención, la actuación pública es similar, aunque, en este caso, los subsidios son mayores y se proporcionan durante más tiempo, lo que permite que la agencia logre mejores resultados.

Cuadro 3: Actuación óptima de la agencia pública en función de B. $n(0)=25$

No hay selección	G*	s*	T*	Coste*
B=0	3044	21,7	1,47	1393
B=5	3398	18,4	1,75	1433
B=10	4354	0	28,39	0
B=20	6897	0	22,73	0
B=30	8696	0	19,79	0
Selección parcial	G*	s*	T*	Coste*
B=0	4056	28,6	2,24	1720
B=5	4379	25,3	2,46	1755
B=10	4752	22,0	2,71	1765
B=20	6597	0	22,73	0
B=30	8696	0	19,79	0
Selección perfecta	G*	s*	T*	Coste*
B=0	4999	35,2	3,52	2339
B=5	5349	32,1	3,71	2371
B=10	5738	29,2	3,92	2383
B=20	6641	23,4	4,34	2334
B=30	8696	0	19,79	0

- Cuando la agencia es capaz de limitar el acceso a las ayudas a todas las empresas que cooperan motu proprio, la intervención es aún más prolongada e intensa que en los casos anteriores. Además, la intervención es del tipo “escoger” un grupo y llevarlo hasta la cooperación, igual que sucede cuando la externalidad carece de importancia. La razón es que, como la agencia sólo proporciona ayudas a las empresas que lo necesitan, a medida que parte de las $x(0)$ empresas apoyadas inicialmente dejan de requerir la intervención, la agencia tiene que favorecer sólo a las restantes, por lo que se mantiene la ayuda el tiempo suficiente para que las $x(0)$ empresas cooperen tras el cese de su actuación.

Cuadro 4: Actuación óptima de la agencia pública en función de B. $n(0)=50$

No hay selección	G*	s*	T*	Coste*
B=0	3874	13,5	0,64	537
B=5	4800	0	20,97	0
B=10	5866	0	19,33	0
B=20	7896	0	17,26	0
B=30	9770	0	15,76	0
Selección parcial	G*	s*	T*	Coste*
B=0	5047	26,5	2,04	1419
B=5	5340	23,1	2,31	1480
B=10	5866	0	19,33	0
B=20	7896	0	17,26	0
B=30	9770	0	15,76	0
Selección perfecta	G*	s*	T*	Coste*
B=0	5829	32,7	3,26	2046
B=5	6162	29,7	3,47	2098
B=10	6535	26,9	3,69	2127
B=20	7896	0	17,26	0
B=30	9770	0	15,76	0

Como se ha comentado, cuanto mayor es la escasez de fondos para I+D, la agencia es capaz de conducir a más empresas hacia la cooperación. De todos modos, llega un momento, cuando B es suficientemente alto, en que la agencia encuentra preferible conceder créditos a tipos de interés de mercado ($s^*=0$, es decir, sin coste para la agencia) durante periodos de tiempo largos (de hecho, hasta que todas las empresas cooperen por sí mismas). El valor de B que lleva a esta forma de actuar está influido por $n(0)$, ya que cuantas más empresas cooperen desde el principio, subsidiar supone un gasto más alto para la agencia. Por eso, si la agencia no realiza selección, cuando $n(0)=50$ basta que $B=5$ para que le interese proporcionar créditos a tipo de interés de mercado, mientras que si $n(0)=10$, no le compensa hasta que $B=20$. Si la agencia puede seleccionar, la intervención mediante créditos con tipos de interés de mercado también aparece -cuando la agencia prefiere

reducir a cero el subsidio y alargar el periodo de intervención hasta que todas las empresas hayan accedido al crédito- , aunque en este caso la importancia de las restricciones financieras debe ser mayor, sobre todo si la selección es perfecta.

5. Extensiones del modelo.

5.1 Selección de empresas versus valoración de las necesidades de financiación.

De la exposición llevada a cabo hasta el momento se deduce con facilidad que los mejores resultados para la agencia pública se obtienen si sólo concede ayudas cuando son efectivas (selección perfecta) y éstas consisten en créditos que tienen en cuenta la escasez de fondos para financiar proyectos. No obstante, parece interesante discutir la mejor estrategia de una agencia que no dispone de tanta información y debe elegir entre discriminar a las empresas adecuadamente o dedicar sus esfuerzos a conocer las necesidades de financiación de las empresas (determinar el verdadero valor de B).

En el cuadro 5, se muestran los resultados en términos del valor de la función objetivo de la agencia pública y del coste de la intervención pública cuando $n(0)=10$, aunque los resultados son similares para otros valores de $n(0)$. Se compara la alternativa en la que no selecciona, pero conoce la importancia de los problemas financieros de las empresas con las tres que surgen cuando la agencia pública no selecciona, selecciona parcialmente o perfectamente y no es capaz de apreciar la importancia de las dificultades que deben afrontar las empresas para financiar sus actividades de I+D.

En general, se observa que en los tres casos en los que la agencia supone que $B=0$, a medida que B aumenta, el valor de la función objetivo de la agencia tiende a crecer mucho más despacio (e incluso llega a disminuir en ocasiones) respecto al caso en que la agencia elige la ayuda conociendo el valor correcto de B. Además, cuando B es

suficientemente alto, se consiguen mejores resultados determinando correctamente B que discriminando a las empresas que no necesitan ayudas para cooperar.

Cuadro 5: Resultados de la actuación pública según la agencia determine B o seleccione a las empresas.

	No selecciona, pero conoce B		No selecciona y supone B=0		Selección parcial y supone B=0		Selección Perfecta y supone B=0	
	G*	Coste*	G*	Coste*	G*	Coste*	G*	Coste*
B=0	2998	1779	2998	1779	3522	1852	4556	2455
B=5	3360	1789	3267	2023	3771	2162	4862	3012
B=10	3775	1767	3438	2268	3924	2473	4943	3570
B=20	5647	0	3624	2758	4068	3093	4981	4684
B=30	7892	0	3706	3248	4099	3713	4848	5798

En definitiva, si las dificultades para financiar actividades de I+D no son importantes, la agencia debe concentrar sus esfuerzos en seleccionar a las empresas de la mejor forma posible, pero si el acceso a recursos para investigar es complicado, lo mejor que puede hacer es tenerlo en cuenta a la hora de decidir su actuación.

5.2 La dificultad para financiar actividades de I+D es específica a cada empresa.

El modelo ha sido ampliado para que tenga en cuenta que las empresas pueden diferenciarse no sólo por su valoración inicial de lo que supone la cooperación, sino también por su dificultad de acceso al crédito. En concreto se ha considerado¹³ que las empresas están ordenadas de forma creciente tanto con relación a la reticencia como a las restricciones financieras que afrontan:

$$B(q) = \mu_0 + \mu_1 q \quad \mu_0 > 0 \quad > \mu_1 > 0 \quad q \in [0, H]$$

¹³ Si μ_1 fuese mayor o igual que μ_0 , todas las empresas cooperarían desde el principio con sólo conceder un crédito con tipo de interés de mercado.

Una justificación para este planteamiento puede ser que el indicador q esté relacionado con la dimensión empresarial, de manera que a medida que q crece las empresas sean más pequeñas, valoren menos la cooperación con CPI y tengan más dificultades para financiar sus actividades de I+D.

El modelo es similar al descrito en los apartados 2 y 3. Si la ayuda consiste en un crédito, durante el tiempo que dure la intervención es como si las empresas estuvieran separadas sólo por una distancia $-\mu_1 > 0$, por lo que el número de empresas que solicitan las ayudas crece más rápidamente. Una vez cesa la intervención, la separación entre las empresas vuelve a ser μ_0 , excepto para las empresas que hubiesen recibido la ayuda después del momento inicial, que se encuentran separadas por una distancia variable que depende de μ_1 .

Las simulaciones realizadas están en la misma línea que las anteriores. Tanto los aumentos en μ_1 como en μ_0 conducen a que la cuantía del subsidio se reduzca, pero que se proporcione durante más tiempo. Además, llega un momento en que la agencia pública prefiere proporcionar créditos a tipo de interés de mercado durante el tiempo necesario para que las H empresas deseen cooperar.

Un resultado nuevo es que, a diferencia de los aumentos en μ_0 , que no afectan prácticamente al coste de la intervención sino sólo a su composición (menor subsidio proporcionado durante más tiempo), al elevar μ_1 (que cuantifica lo rápido que crecen las dificultades financieras) el gasto público óptimo crece. La explicación es que cuando μ_1 crece, la agencia pública encuentra interesante elevar el subsidio para atraer a empresas que, aunque son más reticentes a cooperar, lo harán porque necesitan acceder a los

recursos financieros que concede la agencia. Así, las dificultades financieras son aprovechadas por la agencia para promover la cooperación.

6. Conclusiones.

La existencia de empresas que no desean cooperar con centros públicos de investigación (CPI) unida al hecho de que su conducta puede cambiar si ellas mismas u otras empresas experimentan esta colaboración, da motivos para que a una agencia pública que desee promover la cooperación estable entre empresas y CPI le interese intervenir con el fin de incentivar este tipo de vínculos.

En principio, la agencia puede proporcionar subsidios que compensen a las empresas de los inconvenientes que esperan sufrir por cooperar. Sin embargo, si las empresas se enfrentan a dificultades para financiar sus actividades de I+D es preferible, como se ha puesto de manifiesto en las simulaciones realizadas, que las ayudas públicas se instrumenten mediante créditos que hagan posible a las empresas que los reciben desarrollar el proyecto de investigación, y que pueden llevar asociado un subsidio (se trataría, por ejemplo, de créditos con tipos de interés privilegiado o sin intereses). En cualquier caso, cuando la escasez de recursos financieros es suficientemente importante, la agencia pública obtiene mejores resultados instrumentando su intervención mediante créditos en condiciones de mercado concedidos durante periodos dilatados de tiempo.

El modelo planteado no sólo permite determinar la cuantía del subsidio óptimo sino también la duración de la intervención pública. Un resultado general que se ha obtenido es que si el subsidio que otorga la agencia es positivo (es decir, el crédito es más barato para la empresa que un crédito en condiciones de mercado), la intervención debe cesar como mucho en el momento en que todas las empresas que obtuvieron la ayuda en el momento

inicial cooperen por sí mismas. En otras palabras, la intervención consiste en elegir un grupo de empresas y llevarlo (o, al menos, aproximarlo) a la cooperación estable con CPI.

En este trabajo también se ha analizado el efecto sobre las políticas óptimas de que la agencia pública tenga diferentes capacidades para seleccionar a las empresas que solicitan la ayuda. Se ha detectado que, cuando la agencia es capaz de excluir a las $n(0)$ empresas que estaban convencidas de las ventajas de la cooperación desde el principio, el subsidio óptimo tiende a crecer y se proporciona durante más tiempo. Esto permite que el resultado de la agencia mejore y, de hecho, que cuando $n(0)$ sea grande se reduzca el coste de la intervención. Cuando la ayuda sólo se otorga a las empresas que no cooperarían sin ella, las consecuencias son más positivas aún y la duración de la intervención es aquella que conduce a que las empresas que la recibieron desde el principio cooperen por sí mismas.

Otra cuestión que se ha discutido es si la agencia pública debe dedicar sus esfuerzos a seleccionar adecuadamente a las empresas o a determinar la importancia de las restricciones crediticias a las que se enfrentan. Las simulaciones realizadas sugieren que la estrategia preferible consiste en no apoyar a las empresas que desean cooperar, excepto si los problemas para financiar actividades de I+D son importantes, cuando es mejor proporcionar créditos en condiciones de mercado.

También se ha considerado que la relevancia de las restricciones financieras que afrontan las empresas y el menor deseo de cooperar pueden ir unidos. En este caso, los resultados son similares a los que se obtienen en el modelo básico, apreciándose que mayores dificultades financieras tienden a reducir la cuantía del subsidio y a alargar la duración del mismo. Sin embargo, cuando esta mayor dificultad es específica a la empresa, la reducción es más débil, lo que permite que el grupo elegido inicialmente sea más grande

a cambio de que el coste de la intervención pública crezca. Dicho de otro modo, la agencia obtiene mejores resultados aplicando una ayuda que atraiga a empresas que están alejadas de la cooperación con CPI, pero se muestran dispuestas a cooperar con la finalidad de conseguir financiación.

Para finalizar, las conclusiones obtenidas pueden ser aprovechadas para proporcionar una valoración sobre el funcionamiento de los proyectos concertados, que son el instrumento de política tecnológica que ha inspirado este modelo. Puesto que las dificultades para financiar actividades de I+D parecen existir en España, la elección de créditos como forma de actuación parece adecuada. Además, tampoco es criticable que la duración de esta actuación sea dilatada en el tiempo, sobre todo si se toma en consideración que el subsidio aparejado a estas ayudas se ha reducido considerablemente con la rápida caída de tipos de interés que se ha producido en España en los últimos años. La actuación pública puede ser mejorable en lo que se refiere al proceso de selección de las empresas que acceden a los proyectos concertados, ya que, posiblemente, parte de los recursos públicos se están dirigiendo a empresas que consideran que la cooperación con CPI les beneficia.

Referencias

Acosta, J. (2000): Apoyo público óptimo a proyectos cooperativos de investigación, Documento de Trabajo nº 2000-03, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de La Laguna.

Acosta, J. y A. Modrego (1997): “La colaboración entre empresas y centros públicos de investigación españoles a través de los proyectos concertados del Plan Nacional de I+D”, Memorias del VII Seminario Latinoamericano de Gestión Tecnológica, pp. 271-288.

- Acosta, J. y A. Modrego (1998): La financiación pública de proyectos de I+D cooperativos en España: los proyectos concertados del Plan Nacional de I+D, Documento de Trabajo nº 97/98-15, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de La Laguna.
- Azároff, L.V. (1982): "Industry-university coloboration: how to make it work", *Research Management*, 3, pp. 31-34.
- Beath, J.; Katsoulacos, Y. y D. Ulph (1995): "Game theoretic approaches to the modelling of technological change" en Stoneman, P. (ed.) *Handbook of the economics of innovation and technological change*, Blackwell, Oxford, pp. 132-181.
- COTEC (1999): *Relaciones de la empresa con el sistema público de I+D*, Fundación COTEC, Madrid.
- D'Aspremont, C. y Jacquemin, A. (1988): "Cooperative and non-cooperative R&D in a duopoly with spillovers", *American Economic Review*, vol.78, nº5, pp.1133-1137.
- Dean, C.W. (1981): "A study of university/small business interaction for technology transfer", *Technovation*, 1, pp. 109-123.
- Faulkner, W. y Senker, J. (1994): "Making sense of diversity: public-private sector research linkage in three technologies", *Research Policy*, 23, pp. 673-695.
- Fowler, D.R. (1984): "University-industry research relationships", *Research Management*, 1, pp. 35-41.
- Gibbons, M. y R. Johnston (1974): "The roles of science in technological innovation", *Research Policy*, 3, pp. 220-242.
- Höglund, L. y O. Persson (1987): "Communication within a national R&D-system: A study of iron and steel in Sweeden", *Research Policy*, 16, pp. 29-37.
- Katsoulacos, Y. y D. Ulph (1998): "Endogenous spillovers and the performance of research joint ventures", *Journal of Industrial Economics*, 46, nº3, pp. 333-357.

Pérez Castrillo, J.D. (1990): “Procesos de I+D y estructura industrial: un panorama de modelos teóricos”, *Economía Pública*, nº6, pp. 171-213.

Senker, J. y W. Faulkner (1992): “Industrial use of public sector research in advanced technologies: a comparison of biotechnology and ceramics”, *R&D Management*, 22, pp. 157-175.

Van Dierdonk, R.V., Debackere, K. y B. Engelen (1990): “University-industry relationships: How does the Belgian academic community feel about it?”, *Research Policy*, 19, pp. 551-566.