

Determinantes del crecimiento económico. La interrelación entre el capital humano y tecnológico en Aragón

Blanca Simón Fernández, *Universidad de Zaragoza*

José Aixala Pastó, *Universidad de Zaragoza*

Gregorio Giménez Esteban, *Universidad de Zaragoza*

Gema Fabro Esteban, *Universidad de Zaragoza*

Este documento de trabajo forma parte de la primera convocatoria de proyectos de investigación sobre economía aragonesa de FUNDEAR (2003).

Documento de Trabajo nº 7/04

Este trabajo puede consultarse en la página web de FUNDEAR:

<http://www.fundear.es>

Edita: Fundación Economía Aragonesa FUNDEAR

Impresión: INO Reproducciones S.A.

ISSN: 1696-5493

D.L.: Z-813-2003

© de la edición, Fundación Economía Aragonesa, 2004

© del texto, los autores, 2004

La serie Documentos de Trabajo que edita FUNDEAR, incluye avances y resultados de los trabajos de investigación elaborados como parte de los programas y proyectos en curso. Las opiniones vertidas son responsabilidad de los autores. Se autoriza la reproducción parcial para fines docentes o sin ánimo de lucro, siempre que se cite la fuente.

Resumen

El objeto de este trabajo es aportar evidencia empírica sobre la relación entre el capital humano y la tecnología, en el marco general de la teoría del crecimiento endógeno, así como sobre la contribución de estos dos factores al aumento de la productividad y del *output per capita*. El marco geográfico de análisis son las Comunidades Autónomas españolas, haciendo especial hincapié en la economía aragonesa. La metodología empleada es un modelo de datos de panel con efectos fijos, planteando un sistema de dos ecuaciones: una primera que hace depender el crecimiento económico de la inversión en capital físico, capital humano y tecnología, y una segunda que relaciona el capital humano y la tecnología como condicionantes de la capacidad de innovación, medida ésta a través de variables representativas de la estructura de apoyo a la innovación, del entorno innovador y de la vinculación entre ambos. Los resultados que se obtienen pueden resumirse en que, tanto el capital humano como el tecnológico presentan coeficientes positivos y significativos en la explicación del crecimiento de las Comunidades Autónomas españolas, en consonancia con lo que predicen las teorías del crecimiento económico. Por otra parte, al analizar la interrelación entre ambas variables para el conjunto de las Comunidades Autónomas, el capital humano y los gastos de I+D, tanto totales como ejecutados por las Universidades, presentan el signo positivo esperado y significativo para explicar la capacidad de innovación. Analizando cada Comunidad Autónoma individualmente, Aragón es la única para la que el capital humano y los gastos totales en I+D presentan conjuntamente signo positivo y significativo en la explicación del proceso de innovación, no resultando significativos los gastos en I+D ejecutados por la Universidad.

Palabras clave: capital humano, tecnología, crecimiento regional.

Código JEL: 015; 033, R11.

Abstract

This paper aims to provide empirical evidence on the relationship between human capital and technology by using endogenous growth theories. It also analyses the contribution of both technology and human capital to increases in productivity and output per capita. The geographical framework of the analysis is the Spanish autonomous regions with special emphasis on the Aragonese economy. The methodology used is a panel data model with fixed effects and two equations. The first equation relates economic growth with investments in physical and human capital and technology. The second one introduces human capital and technology as conditioning innovation capacity. The results show that both technology and human capital present positive and significant coefficients to explain the growth of Spanish regions. Furthermore, if we analyse the relationship between both variables for the Spanish autonomous regions, human capital and R+D expenditures -total and those made by university- present a positive and significant sign. When analysing those regions individually, Aragon is the only one for which total expenditure in human capital and R+D present positive and significant sign for explaining the innovation process, but R+D expenditures carried out by university are not significant.

Keywords: Human capital, technology, regional growth.

JEL Classification: 015; 033, R11.

ÍNDICE

Nº pág.

Introducción.....	7
1. El capital humano y la tecnología en el crecimiento económico	9
2. Desarrollo de un modelo teórico y aplicación empírica.....	15
3. Conclusiones.....	23
Bibliografía	27

Introducción

A partir de la segunda mitad de los años ochenta del siglo XX, empezó a surgir una renovada atención en la disciplina económica por la cuestión del crecimiento. Los recientes modelos de crecimiento endógeno desarrollados en los años ochenta y, sobre todo, en la década de los noventa, facilitaban nuevas perspectivas para comprender cómo y por qué las tasas de crecimiento cambian a lo largo del tiempo, así como para analizar las diferencias de productividad y desarrollo económico. Entre otras razones explicativas de estos fenómenos, tienen una importancia trascendental las diferencias existentes en la apropiabilidad y el acceso a la tecnología y la acumulación de capital humano. De este modo, uno de los principales elementos que incorporan los nuevos modelos es la consideración de la perspectiva endógena en el propio proceso de innovación tecnológica, viendo el desarrollo de la tecnología como un fenómeno privado cuyos resultados están sujetos a apropiación. Esto se consigue considerando que la inversión en investigación y desarrollo resulta rentable para las empresas, ya que éstas se pueden apropiar de los beneficios que sus descubrimientos generan.

Así, la endogenización del progreso técnico se puede lograr, como se apunta en Sala-i-Martin (1994), de dos maneras: bien considerando éste como un aumento en el número de bienes de capital disponibles como factores productivos o bien mediante el aumento en la calidad de los nuevos productos desarrollados. La primera idea apuntada implica la no existencia de rendimientos decrecientes en el número de bienes de capital. Además, la introducción de un marco de competencia imperfecta en el estudio del fenómeno de la innovación va a permitir que se generen suficientes recursos para desarrollar actividades de investigación y desarrollo. En torno a este fenómeno han trabajado economistas de gran renombre, entre ellos, se podría destacar la obra de Romer (1986) como la más significativa. La segunda idea está basada en el concepto schumpeteriano de escaleras de calidad. Destacan los modelos desarrollados por Grossman y Helpman (1991) y Aghion y Howitt (1992). En ellos, las empresas compiten entre sí involucradas en un proceso de creación destructiva, donde los nuevos descubrimientos dejan obsoletos y desplazan a los antiguos.

Otro factor de gran importancia para el crecimiento concentra, también, buena parte de los esfuerzos de un nutrido grupo de economistas: se trata del capital humano. Pese a que el concepto había sido desarrollado décadas antes, hubo que esperar hasta la aparición de los modelos de crecimiento endógeno –se puede considerar a los planteados por Romer (1986) y Lucas (1988) como los iniciales– para establecer la verdadera importancia del capital humano en el desarrollo económico. Será con los nuevos modelos, surgidos en estas últimas décadas, cuando empieza a darse en la literatura económica un creciente interés por el capital humano, al ver en él uno de los factores artífices del crecimiento. Algunos de los modelos más relevantes son el ya citado de Lucas (1988), Romer (1990), King y Rebelo (1990), Rebelo (1991), Young (1991), Lucas (1993), Parente (1994), Eicher

(1996) y Acemoglu (1997). En ellos, el capital humano permite aumentar la productividad del trabajo o actúa a través de la estimulación del cambio tecnológico. En cuanto a la evidencia empírica, entre los muchos trabajos recientes que constatan la conexión entre capital humano y crecimiento económico se pueden destacar los de Azariadis y Drazen (1990), Barro (1991), Levine y Renelt (1992), Mankiw, Romer, y Weil (1992), Kyriacou (1992), Barro y Lee (1994), Benhabib y Spiegel (1994, 1997), Krueger y Lindahl (1999) o De la Fuente y Doménech (2001).

En cuanto a la relación entre capital humano y desarrollo tecnológico, fue observada ya por Nelson y Phelps (1966). En su modelo se argumentaba que poseer una fuerza de trabajo mejor cualificada hacía más fácil para las empresas la adopción y adaptación de nuevas tecnologías, lo que se traduce en la existencia de una estrecha relación entre capital humano e innovación. Dicha relación se encuentra corroborada por diferentes trabajos empíricos, como los de Mincer y Higuchi (1988) y Gill (1989), los cuales encuentran –para el caso de Estados Unidos y Japón y para Estados Unidos, respectivamente- que en los sectores más avanzados tecnológicamente los trabajadores reciben una mayor tasa de rendimiento de su educación. De otro lado, Wolf (1994) halla una vinculación positiva entre el aumento en la capacitación de los trabajadores y varios indicadores de cambio técnico (considerando una muestra de cuarenta y tres países). En Pavitt (1980) se apunta que la mayor capacitación poseída por los científicos y los ingenieros ha sido esencial para el desarrollo de innovación. Benhabib y Spiegel (1994) modelizan el efecto que el capital humano tiene sobre la productividad a través de la innovación y la adopción de tecnologías foráneas. En Stoneman (1995) se aporta evidencia adicional sobre la importancia que los procesos acumulativos de aprendizaje poseen sobre los avances científicos y técnicos.

Dada la relevancia que estos factores productivos tienen para el crecimiento económico, el objetivo de este trabajo es presentar evidencia empírica acerca de las interrelaciones entre el capital humano y el tecnológico en el marco general de la teoría del crecimiento endógeno. Para ello, se desarrolla un modelo basado en un sistema de ecuaciones que trata de explicar dichas interrelaciones. De este modo, se establece como objetivo ofrecer prueba de la importancia que la inversión, el capital humano y la tecnología tienen en el crecimiento económico, por un lado, y mostrar la forma en que el capital humano y la inversión en tecnología condicionan el proceso de innovación, por otro. El contexto en que se muestra tal evidencia queda constituido por la economía española en su conjunto, así como por sus Comunidades Autónomas, prestando especial atención a los resultados en Aragón.

El análisis que se va a llevar a cabo parte de que capacidad de innovación de un país o región depende, en parte, de la sofisticación tecnológica de la economía en su conjunto y de su fuerza de trabajo, pero también, de la política de inversiones del gobierno y del sector privado. Las diferencias en la capacidad de innovación reflejan variaciones debidas a la geografía económica (por ejemplo, el impacto de conocimiento e innovación entre empresas próximas) y a la política de innovación (por ejemplo, el nivel de apoyo público para la investigación básica y protección de la propiedad intelectual). Siguiendo a Furman,

Porter y Stern (2002), los determinantes de la capacidad de innovación pueden agruparse en tres categorías: la infraestructura de apoyo a la innovación, por una parte, el entorno innovador, por otra, y los vínculos entre ambas parcelas.

Por lo que respecta a la infraestructura de apoyo a la innovación, la teoría del crecimiento endógeno plantea dos determinantes principales de la producción de ideas: el nivel agregado de sofisticación tecnológica y el volumen de *inputs* tecnológicos disponibles (capital humano y disponibilidad de científicos e ingenieros que pueden dedicarse a la producción de nuevas tecnologías, entre los más relevantes). La capacidad de innovación depende también del entorno microeconómico derivado de las interrelaciones entre empresas, debido a los efectos desbordamiento del conocimiento y otras posibles interrelaciones (los gastos en I+D totales serían una buena aproximación a este conjunto de factores que conforman el entorno innovador). Por último, la relación entre la infraestructura de apoyo a la innovación y el entorno innovador es recíproca: para un entorno innovador dado, el *output* de innovación tiende a crecer con una infraestructura de innovación sólida y viceversa. Los vínculos entre ambas pueden verse favorecidos por el papel que juegan determinadas instituciones como, por ejemplo, la Universidad, que pone al alcance de las empresas resultados de la investigación de forma más fácil que otros organismos públicos, facilita el intercambio de ideas entre investigadores y constituye un foro excepcional de diálogo (el gasto en I+D ejecutado por las Universidades en relación al gasto total refleja tal interrelación).

De acuerdo con este marco teórico, el trabajo se estructura de la siguiente manera: en primer lugar, se realiza una reflexión acerca del concepto y del papel que desempeñan los factores productivos capital humano y tecnológico en el crecimiento. En segundo término, se propone un análisis empírico de las interrelaciones del capital humano y la tecnología en España y sus Comunidades Autónomas, prestando especial atención a Aragón. Finalmente, se resaltan las conclusiones más relevantes.

1. El capital humano y la tecnología en el crecimiento económico

Los economistas han dedicado considerables energías a explicar el crecimiento económico, dada su importancia para el bienestar humano. Los de inspiración keynesiana, como Kaldor (1957), entre otros, centran su atención durante los años sesenta y setenta en el lado de la demanda y los efectos de escala, buscando activas políticas regionales de gasto público para ayudar a las regiones de menor crecimiento donde la demanda efectiva era deficiente. Los últimos años ochenta vieron como se desplazaba el interés de los economistas desde el ciclo económico hacia el crecimiento a largo plazo. Por un lado, porque importaba más la tendencia que el ciclo y, por otro, por la creciente insatisfacción con las predicciones del modelo neoclásico tradicional de Solow (1957). Un supuesto central de este modelo es que la relación entre los *stocks* de factores productivos y el producto nacional se puede aproximar mediante una función de producción agregada que presenta rendimientos constantes a escala en capital físico y trabajo y, por tanto, rendimientos decrecientes en el

capital. En ausencia de progreso técnico, este supuesto implica que la productividad marginal del capital disminuirá con el *stock* acumulado, reduciendo el incentivo a ahorrar y el ritmo de crecimiento. El modelo predice la convergencia en rentas *per cápita*, puesto que los países o las regiones más pobres tendrán una tasa de crecimiento más elevada, por lo que crecerán más rápidamente que los ricos.

Sin embargo, las demostraciones empíricas no mostraban tales predicciones: la desigualdad aumentaba con el tiempo, por lo que la búsqueda de alternativas a la explicación tradicional dio lugar a los modelos de crecimiento endógeno de Romer (1986) y Lucas (1988), entre otros. Las predicciones de estos modelos son inversas a las anteriores, especialmente a muy largo plazo. En primer lugar, si el rendimiento de la inversión es una función creciente del *stock* de capital, el crecimiento de las regiones ricas es mucho mayor, distanciándose de las regiones pobres y, en segundo lugar, mientras que según el modelo neoclásico tradicional no es necesaria la política regional puesto que el equilibrio es eficiente, los modelos de crecimiento endógeno postulan la intervención pública debido a la existencia de externalidades.

El pesimismo acerca de la política regional de los primeros modelos de crecimiento se ha tornado en una cierta confianza en utilizar políticas de oferta para reducir la dispersión de la renta regional, sobre todo actuando en la acumulación de los factores capital humano e infraestructuras y descendiendo a una política regional que actúe sobre los sectores productivos. Para Barro y Sala-i-Martin (1992) y, especialmente, Sala-i-Martin (1994), la estabilidad del coeficiente de convergencia entre las distintas muestras de países significaba la ineficacia de la política pública para acelerar el ritmo de convergencia. Sin embargo, el resto de modelos que amplían y matizan el modelo neoclásico observan que tal estabilidad, cuando ocurre, podría indicar que el esfuerzo redistributivo ha sido pequeño o que las políticas están mal diseñadas, pero no que la política regional sea inefectiva.

En cuanto a los factores productivos, capital humano y tecnología, el impacto que tenía la educación fue resaltado por la Ciencia Económica a partir del momento mismo de su nacimiento (Adam Smith ya incluyó en su obra *La riqueza de las naciones*, de 1776, las habilidades adquiridas por los ciudadanos de un país como una parte de los recursos que éste poseía). En la década de los sesenta se empiezan a publicar varios trabajos cruciales sobre el capital humano, entre los que se incluyen los de Becker (1962), Schultz (1961), Denison (1964) y Mincer (1996). Las obras de estos economistas revitalizaron el concepto de capital humano, desarrollando una teoría sobre el proceso de inversión en la adquisición del mismo, resaltando su importancia en la explicación de las diferencias salariales y valorando el papel que juega en el crecimiento económico.

De todas maneras, como ya se ha apuntado, hubo que esperar hasta la aparición de los modelos de crecimiento endógeno para establecer la verdadera importancia del capital humano en el desarrollo económico. Así, será con los nuevos modelos, surgidos en estas últimas décadas, cuando empieza a darse en la literatura económica un creciente interés por el capital humano, al ver en él uno de los factores artífices del crecimiento. Una de las

más importantes consecuencias que se derivan de estos trabajos es que la acumulación de capital humano permitirá a los países menos desarrollados converger más rápidamente hacia los niveles de renta de los países ricos, entre otros factores, a través de la absorción de tecnología.

Además del efecto reseñado, estrictamente económico, el capital humano también tiene una extraordinaria importancia en otros muchos ámbitos. Así, contribuye al desarrollo cultural e institucional, aumenta la cohesión social, posibilita la reducción de la delincuencia, favorece el interés por el cuidado del medioambiente, permite mejorar las condiciones de salubridad y refuerza la participación en la vida política, entre otras importantes contribuciones.

En cuanto al capital tecnológico, hasta principios de los años sesenta la tecnología era considerada como una variable exógena y determinante de la evolución económica y social. Ello ha suscitado muchas objeciones, de las cuales gran parte han sido integradas en la economía ortodoxa al asumir que tanto la tecnología como las instituciones son factores endógenos. Desde entonces se defiende un enfoque interdisciplinar que relacione la tecnología con la ciencia, la política y el cambio social, englobando no sólo los artefactos y conocimientos, sino también las personas y organizaciones (empresas) que influyen y se ven influidas por ese fenómeno.

En el tema de la tecnología aparecen ángulos no sencillos de abordar por dos motivos básicos: en primer lugar, porque el planteamiento teórico ortodoxo presenta múltiples matices que se están incorporando en los últimos años y, en segundo lugar, por la carencia de un sistema de información estadística que recoja adecuadamente la tecnología tal y como se entiende en la actualidad. En relación a esto último, es necesario plantear las relaciones entre el sistema productivo y la tecnología para concebir su complejidad. La tecnología es el conjunto de conocimientos teóricos y empíricos contenidos en los equipos, métodos, organización y "saber hacer" que se utilizan en las actividades de producción de bienes y servicios. Por tanto, la tecnología sólo adquiere existencia real cuando se emplea dentro de las unidades de producción: son conocimientos tecnológicos valorables económicamente. En consecuencia, la tecnología no es solamente información producida por las Universidades o las empresas de manera exógena al sistema productivo y transmitida linealmente a éste, como se concebía hace algunos años, sino que tiene una serie de características que le confieran gran singularidad. En primer lugar, una parte de la tecnología es tácita porque reside en las personas y en las organizaciones y se obtiene a través de la experiencia, ensayos de prueba y error y entrenamientos en el trabajo; en segundo lugar, es un conocimiento específico de productos y procesos y, en tercer lugar, es acumulativa puesto que lo que las empresas hagan tecnológicamente en el futuro depende de lo que han hecho en el pasado. Por tanto, adquirir tecnología no es fácil ni gratuito como se postulaba anteriormente, sino que es un proceso costoso en tiempo y recursos que necesita inversiones deliberadas por parte de las empresas que deseen tenerla o mejorarla.

La historia de la teoría del crecimiento en relación con el progreso técnico es, asimismo, tan larga como la historia del pensamiento económico. Ya los primeros clásicos, como Adam Smith, David Ricardo o Thomas Maltus, se preocupaban por las repercusiones de la especialización en el trabajo o por los rendimientos decrecientes de los diversos factores sobre el crecimiento. También existen teorías postkeynesianas que enfatizan la distribución macroeconómica de la renta como condicionante del crecimiento y consideran la demanda como verdadero motor de crecimiento. Sin embargo, el enfoque adoptado en este punto se basa en los conceptos desarrollados por los economistas neoclásicos y las extensiones de este enfoque en las llamadas teorías del crecimiento endógeno.

Para comprender las causas del crecimiento económico se utiliza el marco de referencia desarrollado por Robert Solow, cuyo punto de partida lo constituye una función de producción agregada donde la producción real de la economía se relaciona con la utilización de los factores productivos, capital y trabajo y con el estado de la tecnología que es considerada como una variable residual que implica, en palabras de Solow (1957) *"una expresión taquigráfica de cualquier tipo de desplazamiento de la función de producción. Así, los descensos de la actividad, los acelerones, las mejoras en la educación de la fuerza de trabajo y todo tipo de cosas, se consideraría como cambio técnico"*¹. Estableciendo correcciones por la cualidad de los *inputs*, en particular, por el nivel educativo, la contribución del factor residual se reduce pero sigue explicando una parte sustantiva del crecimiento económico.

Muchos economistas, sorprendidos ante la magnitud del factor residual e insatisfechos con la forma poco realista de concebir el progreso técnico, tratan de avanzar en dos líneas no excluyentes: por un lado, investigar las formas de penetración y difusión del progreso técnico en la actividad productiva como vías de acceso al progreso técnico y, por otro, tratar de incorporar la tecnología como una variable endógena en el modelo de crecimiento. En esta segunda senda se recurre a una función de producción abierta a la existencia de un factor con productividad marginal no decreciente y en cuya utilización y producción se generan economías externas. Entre la lista de posibles factores pueden señalarse la inversión en equipo o las infraestructuras pero, fundamentalmente, la atención se dirige hacia el conocimiento, el cual presenta propiedades muy interesantes: es transmisible, puede crecer sin límite y admite un uso no rival.

Las teorías del crecimiento endógeno concluyen, por tanto, que no se puede esperar necesariamente un acercamiento espontáneo de las rentas de los países o regiones en el futuro. Va a depender de la inversión en capital humano, en capital físico privado y en infraestructuras públicas, junto a la creación de instituciones eficaces que fomenten la productividad y los intercambios de información. También se podría añadir la apertura de la economía, la potenciación de las transacciones exteriores y la estabilidad macroeconómica. En definitiva, la capacidad para la convergencia o *catch-up* no es igual para todos los países o regiones, puesto que tienen distintas "capacidades sociales" que limitan sus

¹ Solow (1957), p. 312.

posibilidades de crecimiento. Estas capacidades para adoptar y aplicar nuevas tecnologías están relacionadas con el nivel del sistema laboral -empresarial, el grado de modernización social y la existencia de instituciones económicas adecuadas. En cuanto a esto, la capacidad para absorber nuevas tecnologías está relacionada con la "congruencia tecnológica" del país/región receptor con respecto al avanzado. Puesto que la tecnología adquiere forma en el contexto en el que se desarrolla, un país/región que difiera mucho del líder en cuanto a características tecnológicas, sin un soporte institucional adecuado, encontrará mayores dificultades para adquirir nuevas tecnologías. Por tanto, en todas estas actividades juega un papel importante la política económica de los países o regiones, en especial, las políticas a largo plazo.

Una vez apreciada la importancia del progreso técnico en el crecimiento económico, es necesario plantearse cómo se genera ese progreso; esto es, las vías de acceso al cambio técnico, situando el marco de análisis en el terreno microeconómico. El enfoque schumpeteriano ha guiado buena parte de estos estudios, produciendo un sesgo en favor de las innovaciones mayores (radicales), sin apenas entrar en la paulatina introducción de innovaciones menores (de proceso y de producto) donde el aprendizaje, la copia y la difusión desempeñan un papel sustancial para el crecimiento económico². Sin embargo, los teóricos del cambio tecnológico se dieron cuenta del conjunto de mejoras producidas por el aprendizaje durante la fabricación (*learning by doing*), aprendizaje por el uso (*learning by using*), aprendizaje del error previo (*learning by failure*) o aprendizaje gracias a la relación del productor con el usuario o con el proveedor (*learning by interacting*). La importancia de estas innovaciones menores es mayor en países, como España, donde no ha habido un flujo constante de generación de conocimientos técnicos y científicos, sino que la transferencia y la difusión de tecnologías desde los países más industrializados ha sido fundamental para su progreso técnico. Sin embargo, no puede haber importación de tecnología sin una base que la entienda y acoja y siga realizando pequeñas aportaciones.

La innovación tecnológica sitúa a la empresa en una posición de ventaja competitiva. La empresa que no innova se ve sometida a una gran presión por parte de las que sí lo hacen. Por ello, la empresa que no innova sólo puede sobrevivir a medio plazo en mercados protegidos. En mercados abiertos regidos por la libre competencia, la innovación es un recurso competitivo imprescindible para las empresas. El proceso de innovación tecnológica es, por otra parte, complejo y de difícil gestión debido al carácter multidisciplinar de los recursos necesarios, a la incertidumbre asociada a los resultados y la continua adaptación de la empresa al cambio que la innovación supone. La complejidad de este proceso innovador conduce a que no todas las empresas innoven de la misma forma. Mientras unas orientan sus innovaciones a crear nuevos productos, otras las orientan a mejorar los procesos productivos. El establecimiento de clasificaciones tipológicas de las empresas según sus patrones de innovación ha atraído el interés de numerosos investigadores, entre los que se encuentra Pavitt (1984).

² Una buena exposición del tratamiento microeconómico de la tecnología se encuentra en López García y Valdaliso (1997).

Con nuevas tecnologías, los requerimientos de cualificación ponen menos énfasis en la destreza y la experiencia y más en los conocimientos técnicos y la vigilancia. También en las cúpulas directivas se producen cambios ocupacionales. La gestión se hace más compleja y transparente al disponer de más datos y mayor capacidad para analizarlos. Ello implica que se exija también mayor cualificación a los directivos. Como consecuencia de ello, la estructura de ocupaciones tiende a abandonar la forma de pirámide clásica, de amplia base de empleos con baja cualificación, típica del taylorismo y de la producción en cadena, hacia una estructura de ocupaciones que tiende a adoptar la forma de una naranja como consecuencia del crecimiento de las ocupaciones de mayor nivel, la reducción de las de menor nivel y con una mayor cantidad de empleos en los niveles de media cualificación. Las nuevas tecnologías incrementan, por tanto, las ocupaciones y niveles de formación superior e intermedios. Ello, en principio es más observable en las ramas de alta tecnología pero se transmite, a largo plazo, a todo el conjunto del sistema económico.

Si las actividades tecnológicas son tan importantes para el sistema económico, deberá haber unos criterios claros para medirlas, comparar, ver su eficacia y tomar decisiones tanto empresariales como de política gubernamental. Los indicadores utilizados para medir la capacidad tecnológica de un país se pueden dividir en dos grupos: los que se refieren a los *inputs* (medios o recursos utilizados) y los que pretenden medir los *outputs* o los resultados tecnológicos. Su empleo tropieza con la dificultad de que ninguno de ellos comprende la totalidad de los elementos englobados en el proceso de la innovación, por lo que es preciso interpretarlos de forma conjunta. Entre los *inputs*, el gasto en I+D, los conocimientos humanos, las importaciones de tecnología y de bienes de equipo. Entre los *outputs*, las patentes registradas, publicaciones y la situación de la balanza tecnológica. En las economías industriales avanzadas, el gasto en I + D se interpreta como una verdadera inversión inmaterial que prepara la futura capacidad competitiva de los países y de las empresas.

El sistema de patentes de un país, más que un índice del *output*, es una institución que trabaja para fomentar el registro, el uso y la defensa de los derechos de propiedad del inventor. Las patentes son un buen indicador del *output* de algunas actividades científicas y técnicas, como la investigación aplicada y el desarrollo experimental, aunque no pueden pretender medir todo el *output*. Muchos inventos no se patentan por múltiples razones, como por ejemplo, cuando el inventor prefiere guardar el secreto porque le confiere más protección contra los imitadores que el uso de patentes o por el tiempo y el coste de los trámites de registro. Por otra parte, muchas de las invenciones registradas en la Oficina de Patentes nunca se convierten en innovaciones, mientras que un buen número de innovaciones no se patentan porque se originan como consecuencia de la experiencia en la empresa. A pesar de todas estas objeciones, las patentes están mucho más cerca del resultado innovador de las empresas que las publicaciones científicas o las exportaciones tecnológicas y, además, no discriminan contra el colectivo de PYMES, muy importante en España, que pueden acceder de igual manera al sistema de patentes (mientras que sí

discrimina la distribución de gastos en I+D, más concentrado en empresas grandes con departamentos encargados de este cometido).

Una vez vistas las relaciones del capital humano y la innovación con el crecimiento, procede reflexionar, finalmente, sobre la necesidad de llevar a cabo políticas públicas adecuadas en estos ámbitos. Las recomendaciones de los organismos internacionales, como la OCDE, consisten en que la investigación básica sea ayudada, en gran parte, con financiación y ejecución pública debido al alto riesgo que comporta y a la dificultad de patentar. En investigación aplicada y en desarrollo, conceder asimismo apoyos públicos, aunque en menor medida que a la investigación básica, puesto que existe menor incertidumbre, además de proteger la propiedad intelectual a través de patentes y fomentar acciones concertadas entre empresas, con el fin de difundir más la innovación y evitar superposición de esfuerzos en I+D buscando las misma innovación.

En cuanto a la política económica que incida sobre el capital humano, es recomendable aumentar su dotación por individuo debido a los importantes efectos externos que éste tiene. Dichos efectos externos presentan una importante interrelación con la tecnología, ya que una mejor cualificación del capital humano permite la absorción de tecnologías ya creadas y el desarrollo de tecnologías propias.

2. Desarrollo de un modelo teórico y aplicación empírica

En consonancia con el marco teórico planteado en la introducción y las reflexiones del segundo epígrafe, la formulación del modelo queda constituida por el siguiente sistema de ecuaciones:

$$DY_t = F (I_t, H_t, A_t)$$

$$A_t = F (H_t, I+D_t, IDU_t, PIN_t)$$

Siendo:

DY_t : tasa de crecimiento del producto interior bruto *per capita*. Fuente: INE

I_t : inversión como proporción del producto interior bruto. Fuente: FBBVA

H_t : capital humano aproximado por años medios de estudio. Fuente: IVIE

A_t : variable tecnológica aproximada por las patentes concedidas adelantadas tres periodos³. Fuente: Oficina española de patentes y marcas.

IDU_t : gasto en investigación y desarrollo ejecutado por las Universidades en proporción del gasto total en investigación y desarrollo. Fuente: INE

³ Se considera, siguiendo a Furman, Porter y Stern (2002), que los *inputs* de la función de tecnología tendrán impacto en la concesión de patentes materializada tres años después. Para mantener la coherencia del sistema se ha introducido la misma variable en la ecuación de crecimiento. Ello significa que las patentes concedidas dentro de tres años reflejan el estado actual de la tecnología como *input* tecnológico en la función de crecimiento.

$I+D_t$: gastos totales en investigación y desarrollo en proporción del producto interior bruto retrasados dos periodos⁴. Fuente: INE

PIN_t : investigadores dedicados a actividades de investigación y desarrollo en tanto por mil de la población activa. Fuente: INE

El modelo cuenta, por tanto, con dos ecuaciones: una ecuación de crecimiento y otra que explica el desarrollo tecnológico. Seguidamente, se ofrece una explicación de las mismas y se proporcionan referencias teóricas y empíricas relevantes que avalan el planteamiento de las relaciones expuestas.

La *ecuación de crecimiento* hace depender la evolución de la renta *per capita* de la inversión en capital físico, de las dotaciones de capital humano y tecnología. Cada factor influirá del modo siguiente:

1) La cantidad de renta destinada a inversión condicionará la dotación de capital físico por trabajador y, por tanto, la productividad. La relación entre inversión y crecimiento ha sido ampliamente estudiada desde la aparición del modelo de Solow-Swan. Para una justificación exhaustiva del empleo de esta variable en la elaboración del modelo se puede recurrir a DeLong y Summers (1991) y Temple (1998).

2) Una mayor dotación de capital humano también redundará en un aumento de la productividad. Esto será debido, en primer lugar, al mejor aprovechamiento de las dotaciones de capital físico. En segundo lugar, el capital humano constituirá un factor clave en el desarrollo de nuevas ideas innovadoras que permitan conseguir un mayor crecimiento. Entre los muchos modelos que avalan la inclusión de esta variable en la ecuación de crecimiento, baste citar los de Nelson y Phelps (1966), Romer (1990) –en los que el capital humano actúa a través de la estimulación del cambio tecnológico-, Lucas (1988) –para quien el capital humano, es el motor del crecimiento gracias a las importantes externalidades que produce-, King y Rebelo (1990) –que se centran en las implicaciones que las políticas públicas tienen en la acumulación de capital físico y humano, factores sobre los que sustentan el crecimiento de los países en el largo plazo- o Mankiw, Romer, y Weil (1992) –que utilizan el modelo de Solow aumentado incluyendo acumulación de capital físico y humano-.

3) El desarrollo de nuevas tecnologías facilitará que los recursos disponibles sean más productivos, al permitir nuevas formas más eficientes de combinar los recursos y los factores. Así, las nuevas tecnologías permiten alcanzar incrementos sucesivos en la intensidad del factor capital. Además, la inversión en tecnología genera incentivos a realizar inversiones complementarias en capital físico y humano, intensificando el efecto positivo sobre el crecimiento. Hay que señalar, también, que los procesos de innovación tienen

⁴ Se considera, al retrasar los gastos en I+D dos periodos, que los gastos en investigación ejecutados en el año presente tienen su reflejo en las patentes concedidas dentro de cinco periodos (puesto que las patentes están adelantadas tres años). Este supuesto se encuentra en consonancia con la hipótesis generalmente aceptada de que los gastos en I+D y la investigación básica, en general, necesitan un periodo de maduración habitualmente amplio hasta que se obtienen resultados que puedan ser patentados.

importantes efectos externos que, entre otras consecuencias, facilitarán, a su vez, nuevos descubrimientos. Además, las nuevas tecnologías permitirán ganar competitividad en el contexto internacional.

Los nuevos modelos de crecimiento planteados a lo largo de la última década inciden en la importancia que el factor tecnológico tiene sobre el crecimiento –se pueden destacar Romer (1990), Grossman y Helpman (1991) y Aghion y Howitt (1992, 1998)-. Uno de los propósitos de dichos modelos es hacer endógena la innovación tecnológica. Esto se consigue considerando que la inversión en investigación y desarrollo resulta rentable para las empresas, ya que éstas se pueden apropiar de al menos una parte de los beneficios que sus descubrimientos generan. Así, se introduce el hecho de que el mercado de tecnología no es perfectamente competitivo, lo que permite a las empresas recuperar los altos costes de desarrollo de tecnología. Estas aportaciones se complementan con la introducción en los modelos de otros conceptos, como el de creación destructiva o la presencia de externalidades y economías de escala derivadas del proceso innovador.

La *ecuación de desarrollo tecnológico*, siguiendo a Furman, Porter y Stern (2002), considera las dotaciones de capital humano y el personal investigador (ambos factores sugeridos por la teoría del crecimiento endógeno como elementos de apoyo a la infraestructura innovadora), los gastos en investigación y desarrollo en su doble faceta de gastos totales (como aproximación al entorno innovador) y gastos ejecutados por la Universidad (como aproximación a los vínculos entre el entorno innovador y la infraestructura de innovación). En relación a cada una de las variables utilizadas, se puede señalar lo siguiente:

1) La dotación media de capital humano y el personal investigador marcarán los conocimientos poseídos y, por tanto, la información necesaria para que los procesos de investigación y desarrollo conduzcan a resultados relevantes y positivos.

2) El esfuerzo inversor en la creación de nuevas tecnologías es medido a través del gasto en investigación y desarrollo y del gasto en investigación y desarrollo ejecutado por las Universidades. Como sustento teórico de la importancia que la inversión en investigación y desarrollo tiene en el proceso de innovación, basta citar el artículo de Romer (1990), que dio origen a la literatura moderna sobre gasto en investigación y desarrollo y crecimiento. En él, los inventores de los bienes de capital invierten los recursos disponibles con el propósito de crear nuevos productos. A lo largo de diversos modelos, recogidos en Aghion y Howitt (1998), la inversión en I+D también se apunta como un elemento de vital importancia para el proceso innovador. Finalmente, la teoría de Porter (1990) apoyaría también la utilización de variables referidas al entorno innovador, al sugerir que en la relación entre grupos empresariales se encuentra la base de la innovación tecnológica. Como enfatiza este autor, la investigación empresarial estaría condicionada por el entorno microeconómico en el cual compiten dichos grupos.

Una vez justificada teóricamente la especificación del sistema de ecuaciones, la metodología utilizada para resolver el modelo ha sido un panel de datos con efectos fijos. El

método de estimación ha sido el de mínimos cuadrados ponderados (WLS) con datos de las diecisiete Comunidades Autónomas durante la década de los noventa⁵. La justificación para la elección de este método se encuentra en que el mismo corrige la heterocedasticidad que presentan los datos⁶.

Se presentan, en primer lugar, los resultados empíricos obtenidos en la ecuación de crecimiento $[DY_t = F(I_t, H_t, A_t)]$ para, posteriormente, detallar la ecuación tecnológica $[A_t = F(H_t, I+D_t, IDU_t, PIN_t)]$. En relación a la primera ecuación, los coeficientes estimados para el agregado nacional con los *ratio t* de *Student* entre paréntesis son los siguientes:

$$DY_t = c_1i + 0,017 I_t + 0,001 H_t + 0,004 A_t$$

$$(1,65) \quad (2,75) \quad (3,47)$$

$$[R^2 \text{ ajustado} = 0,22]$$

Como cabía esperar a la luz de las consideraciones teóricas habituales de la teoría del crecimiento, tanto el capital humano como el capital tecnológico presentan coeficientes positivos y son altamente significativos en la explicación del crecimiento económico de las Comunidades Autónomas españolas en la década de los noventa⁷. En consecuencia, es relevante analizar ambas variables y sus interrelaciones, lo que se va a realizar tanto para todas las Comunidades Autónomas como para cada de ellas, haciendo especial hincapié en el caso aragonés. Por ello, este trabajo se va a centrar en la ecuación de los determinantes de la capacidad innovadora de una economía.

Para el conjunto de las Comunidades Autónomas, los resultados de la ecuación de tecnología son los detallados a continuación:

$$A_t = c_1i + 0,191 H_t + 0,416 I+D_t + 0,865 IDU_t + 0,093 PIN_t$$

$$(5,45) \quad (3,57) \quad (4,96) \quad (0,52)$$

$$[R^2 \text{ ajustado} = 0,85]$$

Todas las variables presentan, como se observa, el signo esperado positivo y son todas significativas, a excepción del personal investigador (PIN). Esta evidencia corrobora la teoría de que la capacidad innovadora depende de la infraestructura de apoyo a la investigación (aproximada por el capital humano, H), del entorno innovador (aproximado por los gastos totales en I+D) y de los vínculos entre ambas (aproximado por el gasto en I+D ejecutado por las Universidades, IDU). Una explicación para que el personal investigador (PIN) no resulte significativa se encuentra en que esta variable puede no recoger todo el potencial investigador, ya que muchas de las empresas que realizan labores de

⁵ El modelo se ha resuelto con 306 observaciones correspondientes a 17 Comunidades Autónomas, nueve años (1990-1998) y dos ecuaciones.

⁶ Se han repetido las estimaciones utilizando el método de Mínimos Cuadrados Ponderados en dos etapas (WTLS) mediante variables instrumentales al objeto de corregir, además de la heterocedasticidad, la posible endogeneidad que presenta el modelo. A este respecto, se puede señalar que los resultados obtenidos apenas sufren variaciones, ni en términos de coeficientes ni en términos de significatividad entre ambos métodos mencionados, lo que da muestras de la robustez de los resultados al método de estimación. Los instrumentos utilizados han sido el capital humano (H), el gasto en I+D ejecutado por las Universidades (IDU), la inversión (I), y el personal investigador (PIN), todas ellas retrasadas un periodo, y los gastos en investigación y desarrollo (I+D) retrasados tres periodos.

⁷ La variable inversión presenta también el signo positivo esperado, aunque un nivel menor de significatividad.

investigación no cuentan con departamentos especializados que desarrollan estas funciones y no adscriben a sus empleados como personal investigador.

El análisis se ha repetido permitiendo que difieran los coeficientes que acompañan a las variables para cada una de las Comunidades Autónomas, con el fin de poder obtener conclusiones para cada una de ellas, especialmente para el caso de Aragón⁸.

ANDALUCÍA:

$$A_t = -6,484 - 0,279 H_t + 0,660 I+D_t + 1,356 IDU_t + 2,662 PIN_t \quad (1)$$

(-1,49) (-0,89) (0,68) (1,87) (1,30)

[R² ajustado= 0,58]

ARAGÓN:

$$A_t = 1,031 + 0,364 H_t + 2,412 I+D_t - 0,462 IDU_t - 1,163 PIN_t \quad (2)$$

(0,35) (2,71) (2,42) (-0,55) (-0,94)

[R² ajustado= 0,76]

ASTURIAS:

$$A_t = -1,548 - 0,113 H_t + 0,064 I+D_t + 1,442 IDU_t + 0,896 PIN_t \quad (3)$$

(-1,63) (-1,20) (0,14) (5,07) (1,87)

[R² ajustado= 0,68]

BALEARES:

$$A_t = -1,281 + 0,170 H_t - 1,394 I+D_t + 1,889 IDU_t - 0,134 PIN_t \quad (4)$$

(-1,16) (0,61) (-0,50) (2,54) (-0,07)

[R² ajustado= 0,51]

CANARIAS:

$$A_t = 0,041 + 0,219 H_t + 1,328 I+D_t - 1,578 IDU_t - 0,183 PIN_t \quad (5)$$

(0,01) (0,73) (1,52) (-2,08) (-0,14)

[R² ajustado= 0,41]

CANTABRIA:

$$A_t = -2,765 + 0,445 H_t + 0,074 I+D_t + 1,333 IDU_t - 0,201 PIN_t \quad (6)$$

(-2,66) (1,98) (0,10) (3,75) (-0,44)

[R² ajustado= 0,57]

CATALUÑA:

$$A_t = 1,368 + 0,222 H_t + 1,451 I+D_t - 0,219 IDU_t - 0,827 PIN_t \quad (7)$$

(0,35) (0,55) (1,27) (-0,10) (-0,40)

[R² ajustado= 0,40]

CASTILLA-LEÓN:

$$A_t = -1,707 - 0,674 H_t - 0,358 I+D_t + 4,107 IDU_t + 1,914 PIN_t \quad (8)$$

(-1,66) (-3,92) (-0,86) (4,90) (3,57)

⁸ Es preciso tomar los resultados para las Comunidades Autónomas con cautela debido a las pocas observaciones disponibles para la ecuación propuesta.

[R² ajustado= 0,83]

CASTILLA-LA MANCHA:

$$A_t = -1,707 + 1,623 H_t - 2,139 I+D_t + 1,524 IDU_t - 3,492 PIN_t \quad (9)$$

(-1,05) (3,30) (-2,17) (1,30) (-2,05)

[R² ajustado= 0,59]

EXTREMADURA:

$$A_t = -2,994 - 0,045 H_t + 1,983 I+D_t + 0,304 IDU_t + 1,183 PIN_t \quad (10)$$

(-3,78) (-0,43) (1,98) (0,49) (2,70)

[R² ajustado= 0,70]

GALICIA:

$$A_t = 0,358 + 0,341 H_t + 2,563 I+D_t - 0,267 IDU_t - 0,889 PIN_t \quad (11)$$

(0,23) (1,12) (2,44) (-0,18) (-0,88)

[R² ajustado= 0,43]

LA RIOJA:

$$A_t = -1,616 + 0,158 H_t - 1,678 I+D_t + 1,618 IDU_t + 0,568 PIN_t \quad (12)$$

(-1,09) (0,78) (-1,16) (1,31) (2,28)

[R² ajustado= 0,48]

MADRID:

$$A_t = 14,251 - 0,044 H_t + 0,303 I+D_t + 6,397 IDU_t - 3,581 PIN_t \quad (13)$$

(1,57) (-0,29) (2,017) (2,92) (-1,65)

[R² ajustado= 0,67]

MURCIA:

$$A_t = -2,573 + 0,255 H_t + 0,180 I+D_t + 2,240 IDU_t + 0,173 PIN_t \quad (14)$$

(-0,51) (1,29) (0,11) (1,71) (0,07)

[R² ajustado= 0,18]

NAVARRA:

$$A_t = 2,767 - 0,082 H_t + 0,725 I+D_t - 2,613 IDU_t + 0,097 PIN_t \quad (15)$$

(0,96) (-0,26) (1,49) (-1,97) (0,21)

[R² ajustado= 0,53]

PAÍS VASCO:

$$A_t = 6,908 + 0,707 H_t - 0,010 I+D_t - 0,435 IDU_t - 3,362 PIN_t \quad (16)$$

(3,57) (6,36) (-0,02) (-0,25) (-4,61)

[R² ajustado= 0,79]

COMUNIDAD VALENCIANA:

$$A_t = 3,867 + 0,051 H_t + 2,646 I+D_t + 1,559 IDU_t - 1,495 PIN_t \quad (17)$$

(2,03) (0,80) (3,37) (3,89) (-2,03)

[R² ajustado= 0,85]

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que Aragón es la única Comunidad Autónoma para la cual la infraestructura de apoyo a la innovación [aproximada por la variable capital humano (H)] y el entorno innovador [aproximado por los gastos en Investigación y Desarrollo (I+D)] presentan coeficientes positivos (0,364 y 2,412, respectivamente) y altamente significativos (al 1 y al 5%, respectivamente). No obstante lo anterior, la otra variable que aproxima a la infraestructura de apoyo a la innovación, es decir, el personal investigador (PIN) no resulta significativa.

Acompañan a Aragón, en cuanto a la importancia del comportamiento esperado del capital humano, Castilla-La Mancha, País Vasco y Cantabria, por orden de magnitud de los coeficientes de la variable mencionada. Todas ellas con coeficientes más elevados que en el caso aragonés y, obviamente, junto con Aragón, superiores a la media nacional. Por lo que respecta a la I+D, aparecen de forma positiva y significativa, la Comunidad Valenciana, Galicia, Extremadura y Madrid, igualmente por orden de magnitud de coeficientes. Los de las dos primeras superan a Aragón, mientras que en las dos últimas se encuentran por debajo.

Por otra parte, en Aragón no resulta relevante el personal investigador en cuanto a su impacto en la concesión de patentes mientras que sí lo es, en cuanto a que presenta un signo positivo y significativo, en las siguientes regiones, enumeradas por orden de magnitud del término que acompaña a la variable mencionada: Castilla-León, Extremadura, Asturias y La Rioja.

Por lo que respecta a la variable que, según el modelo especificado, representa a los vínculos entre la infraestructura de apoyo a la infraestructura de innovación y el entorno innovador; esto es, la variable aproximada por los gastos ejecutados por la Universidad (IDU) presenta en Aragón un signo negativo y no significativo siendo, en cambio, positivo y significativo en varias Comunidades Autónomas como son, por orden de magnitud de coeficientes, Madrid, Castilla-León, Murcia, Baleares, Comunidad Valenciana, Asturias, Andalucía y Cantabria.

De todas formas, es de destacar que en ninguna Comunidad Autónoma se observan comportamientos adecuados con el modelo teórico en sus tres facetas de apoyo a la infraestructura de innovación, el entorno innovador y las interrelaciones entre ambas; esto es, las variables que las aproximan no son, todas a la vez, positivas y significativas en ninguna de las regiones analizadas.

Finalmente, se observa que el ajuste de las regresiones, representado por los R^2 ajustados es, en general, elevado, con un abanico que oscila desde el 40% para Cataluña al 85% para el caso valenciano, a excepción de Murcia que presenta solamente un 18%. En concreto, en Aragón, las variables exógenas introducidas en la ecuación de tecnología explican un 76% de la misma.

Centrándonos en el caso aragonés, objeto del presente trabajo, se explicarán los determinantes de la capacidad innovadora en esta región. Por lo que respecta a los gastos

en I+D como variable altamente significativa, los resultados apoyan que las empresas que desarrollan actividades de I+D obtienen una buena rentabilidad por su inversión (en cuanto a patentes concedidas), a pesar de contar Aragón con un escaso número de empresas que disponen de un departamento de I+D. A paliar esta deficiencia contribuye de forma relevante un adecuado soporte institucional, representado por un conjunto de organismos de carácter público, entre los que destacan el Instituto Aragonés de Fomento (IAF), el Instituto Tecnológico de Aragón (ITA) y el Centro Europeo de Empresas e Innovación de Aragón (CEEI Aragón), tal como señalan Aixalá y Simón (2000).

Entre ellos, el ITA puede considerarse como el departamento de I+D para un buen número de empresas aragonesas, ya que su función primordial consiste en coordinar todos los recursos implicados en actividades de investigación, desarrollo e innovación, promoviendo la renovación tecnológica para mejorar la competitividad de las empresas. Para desarrollar su actividad y materializar su política, el ITA cuenta con el CCEI Aragón como instrumento, el cual tiene como misión fundamental promover el desarrollo industrial de la Comunidad Autónoma, como sector motriz de la economía aragonesa, fundamentalmente a través del fomento de la innovación en las empresas, que debe afectar no sólo a los procesos productivos, sino también a la gestión, organización y comercialización. La investigación y la innovación están asociadas fundamentalmente a las empresas de gran tamaño, debido a su mayor capacidad financiera para hacer frente a esos gastos, por lo que el apoyo a las PYMES en este ámbito resulta fundamental para relanzar el tejido productivo y garantizar la supervivencia de muchas empresas en un entorno industrial en constante cambio y evolución, que convierte en altamente vulnerables sobre todo a empresas de nueva creación, que se enfrentan a dificultades de financiación, de acceso a los mercados y de aprendizaje en la gestión.

Sin embargo, es necesario realizar importantes esfuerzos para encauzar el potencial docente, científico y tecnológico de la Universidad hacia el tejido industrial, tal como indican Fuentelsaz y Polo (2001), lo que queda reflejado en la no significatividad estadística de la variable que recoge la interrelación mencionada (IDU). A este respecto, es importante destacar que en los últimos años se están observando iniciativas de política pública que pueden cambiar los resultados obtenidos. Entre ellas destacan, tanto el esfuerzo de la Oficina de transferencia de Información (OTRI) al intentar poner de acuerdo oferta y demanda tecnológica, como la apuesta realizada desde el Gobierno de Aragón por mejorar la posición de la Comunidad Autónoma dentro del *ranking* nacional. A este respecto, merece ser destacado el reciente reconocimiento de Grupos de investigación emergentes y consolidados por parte de la DGA, al objeto de consolidar y crear equipos de investigación.

Este tipo de iniciativas favorece la colaboración entre departamentos universitarios y empresas, ayudando a explotar el potencial para desarrollar tareas de innovación, fomentando con ello el desarrollo tecnológico de la región. Estas políticas económicas conducentes a potenciar la tecnología obtienen resultados a largo plazo y verán sus frutos en unos años, lo que se traduciría en un mejor comportamiento futuro de las variables de gasto en I+D ejecutado por la Universidad (IDU) y personal investigador (PIN) en cuanto a

que mejoraría, por un lado, el apoyo a la infraestructura innovadora en su parcela de investigadores y, por otro, los vínculos entre tal infraestructura y el entorno innovador representado por la Universidad.

Finalmente, queda por explicar el comportamiento del capital humano en Aragón con respecto a su impacto en la concesión de patentes. A este respecto, es reseñable, como se ha señalado anteriormente, la alta productividad del capital humano aragonés en cuanto a la concesión de patentes, lo que redundaría en el buen comportamiento de la variable (H). No obstante lo anterior, se observa durante la década de los noventa una pérdida de intensidad en el diferencial de *stock* de capital humano (medido por los años medios de estudio), que cambia su valor positivo para Aragón mantenido durante los setenta y ochenta por uno negativo durante los noventa, como se puede ver en Aixalá y Simón (2000). En consecuencia, dada la alta sensibilidad del progreso técnico a las dotaciones de capital humano, sería deseable que se invirtiera la tendencia señalada. Adicionalmente, se señala por autores como Larramona y Pueyo (2001) la existencia de ineficiencias importantes en el uso del capital humano en forma de porcentajes de desempleo más elevados entre los trabajadores más cualificados.

3. Conclusiones

Se ha desarrollado en este trabajo un modelo teórico que pone en relación el capital humano y la tecnología como determinantes del crecimiento económico regional, haciendo especial hincapié a cómo esta relación se presenta en el caso de la Comunidad Autónoma de Aragón en comparación con el resto de las Comunidades Autónomas españolas. Para ello, utilizando un modelo de datos de panel con efectos fijos y con observaciones para las diecisiete Comunidades Autónomas, se ha partido de una ecuación de crecimiento que hace depender la evolución de la renta *per capita* de la inversión en capital físico, de la dotación de capital humano y de la tecnología como determinantes de la productividad.

Los resultados obtenidos pueden resumirse señalando que las variables capital humano y capital tecnológico presentan el signo positivo esperado y son altamente significativas, lo cual está en consonancia con las versiones más modernas de la teoría del crecimiento económico. La variable inversión en capital físico presenta también un signo positivo, aunque con una menor significatividad estadística.

Si las variables representativas del capital humano y la tecnología son las relevantes para explicar el crecimiento de las CC.AA. en España, resulta pertinente plantear una ecuación que relacione ambas con el fin de analizar los resultados que se obtienen, tanto a escala nacional como para el caso de las diecisiete CC.AA. consideradas individualmente, en especial para el caso aragonés.

Para plantear dicha ecuación se ha partido de un modelo teórico que explica la capacidad de innovación de un país o región (que se ha aproximado por el número de patentes concedidas) como la resultante de la actuación conjunta de tres grupos de variables: un

primer grupo que mide la infraestructura de apoyo a la innovación (que se ha aproximado por la dotación de capital humano y por el personal investigador), un segundo grupo que refleja el entorno innovador (aproximado por el total de gastos en I+D), y un tercer grupo que recoge las relaciones entre los dos primeros (aproximado por el gasto en I+D ejecutado por las Universidades).

Presentado así el modelo, se observa en los resultados que todas las variables presentan a nivel nacional el signo positivo esperado y son todas significativas, excepto el personal investigador, que presenta signo positivo pero no significativo. Ello corrobora la teoría de que en España la capacidad de innovación depende de las variables antes especificadas en el modelo teórico. Ahora bien, resulta relevante realizar el mismo *test* para cada Comunidad Autónoma, permitiendo que los coeficientes de las variables difieran para cada región, lo que permitirá extraer conclusiones para el caso de Aragón y establecer comparaciones con el resto de CC.AA.

El modelo estimado presenta una alta capacidad explicativa, como ponen de manifiesto los elevados R^2 ajustados obtenidos. Los resultados muestran que Aragón es la única de las diecisiete CC.AA. para la cual el capital humano y los gastos totales en I+D presentan conjuntamente el signo positivo esperado y significativo, no resultado significativas ni el gasto en I+D ejecutado por la Universidad ni el personal investigador. De acuerdo con el modelo teórico anteriormente señalado, ello significaría que en Aragón ejercen un efecto positivo sobre su capacidad tecnológica, tanto la infraestructura de apoyo a la innovación (el capital humano resulta significativo, aunque no lo es el personal investigador) como el entorno innovador (el gasto total en I+D resulta significativo), pero no el vínculo entre ambos (el gasto en I+D ejecutado por la Universidad no resulta significativo).

Conviene destacar que ninguna Comunidad Autónoma presenta signos positivos y significativos de forma conjunta en los tres grupos de variables especificadas en el modelo teórico y, como ya se ha señalado, ninguna excepto Aragón presenta signos positivos y significativos en dos de ellos. Ello coloca a la Comunidad Autónoma aragonesa en una posición de ventaja a la hora de invertir en capital humano y en I+D.

Por lo que respecta al capital humano, a pesar de la rentabilidad del mismo, a juzgar por los resultados obtenidos, algunos autores han señalado para los últimos años una pérdida de intensidad en el diferencial de *stock* de esta variable entre Aragón y España, así como la existencia de ineficiencias en el uso del capital humano a la hora de su incorporación a los procesos productivos. Con respecto a los gastos de I+D, los resultados apoyan la teoría, sustentada por varios autores, de que las empresas aragonesas que desarrollan este tipo de actividades de investigación y desarrollo, obtienen una buena rentabilidad por su inversión, y ello a pesar de que pocas empresas, sobre todo pequeñas y medianas, cuentan con departamentos adecuados al respecto. Para paliar esta deficiencia contribuye de forma importante en los últimos años el entorno institucional de apoyo a la investigación, representado por organismos públicos como el ITA o el CCEI Aragón.

Por último, a juzgar por los resultados obtenidos para la variables que afectan a la Universidad y al personal investigador, queda pendiente reforzar el papel de la Universidad de Zaragoza como elemento de enlace de hacia el tejido industrial, deficiencia que ha sido señalada por diferentes autores. Con el fin de subsanar esta carencia, se han puesto en marcha políticas públicas regionales tendentes a reforzar la intensidad investigadora de la Universidad a través de la creación y consolidación de grupos de investigación, así como a trasladar los resultados hacia el mundo empresarial a través de la OTRI.

BIBLIOGRAFIA

- ACEMOGLU, D. (1997): *Why do new technologies complement skills?. Directed technical change and wage inequality*, Working Paper, MIT.
- AGHION, P. Y HOWITT, P. (1992): "A model of growth through creative destruction", *Econometrica*, nº 60(2), págs. 323-351, marzo.
- AGHION, P. Y HOWITT, P. (1998): *Endogenous growth theory*, MIT Press, Cambridge, MA.
- AIXALÁ, J. Y SIMÓN, B. (2000): "La industria y el desarrollo tecnológico en la región aragonesa", *Economía Industrial*, nº 335-336, págs. 95-110.
- AZARIADIS, C. Y DRAZEN, A. (1990): "Threshold externalities in economic development", *Quarterly Journal of Economics*, nº 105(2), págs. 501-526, mayo.
- BARRO, R. (1991): "Economic growth in a cross-section of countries", *Quarterly Journal of Economics*, nº 106(2), págs. 407-443, mayo.
- BARRO, R. Y LEE, J.W. (1994): "Sources of economic growth", *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, nº 40, págs. 1-57.
- BARRO, R. Y SALA-I-MARTIN, X. (1992): "Convergence", *Journal of Political Economy*, nº 100(2), págs. 223-251, abril.
- BECKER, G. S. (1962): "Investment in human capital: A theoretical analysis", *Journal of Political Economy*, nº 70 (5, parte 2, suplemento), págs. 9-49.
- BENHABIB J. Y SPIEGEL, M. (1994): "The role of human capital in economic development: Evidence from aggregate cross-country data", *Journal of Monetary Economics*, nº 34, págs. 143-173.
- BENHABIB, J. Y SPIEGEL, M. (1997): *Cross-country growth regressions*, Working Paper 97-20, CV Starr Center, New York University.
- DELONG, J. B. Y SUMMERS, L. (1991): "Equipment investment and economic growth", *Quarterly Journal of Economics*, nº 106(2), págs. 445-502.
- DENISON, E. (1964): "Measuring the contribution of education (and the residual) to economic growth", *The Residual Factor and Economic Growth*, OCDE, París.
- EICHER, T. (1996): "Interaction between endogenous human capital and technological change", *Review of Economic Studies*, vol. 63(1), págs. 127-144.
- DE LA FUENTE, A. Y DOMENECH, R. (2001): "Schooling data, technological diffusion and the neoclassical model", *American Economic Review*, nº 91(2), págs. 323-327.
- FUENTEELSAZ, L. Y POLO, Y. (2001): "Investigación, desarrollo e innovación tecnológica", *Papeles de Economía Española. Economía de las Comunidades Autónomas*, nº 19, págs. 133-142.

- FURMAN, J.L.; PORTER, M.E. Y STERN, S. (2002): "The determinants of national innovative capacity", *Research Policy*, nº 31, págs. 899-933.
- GILL, I. (1989): *Technological change, education and obsolescence of human capital: Some evidence for the U.S.*, Mimeo, noviembre.
- GROSSMAN, G. Y HELPMAN, E. (1991): *Innovation and growth in the global economy*, MIT Press.
- KALDOR, N. (1957): "A model of Economic Growth", *Economic Journal*, nº 268, págs. 591-624.
- KING, R. Y REBELO, S. (1990): "Public policy and economic growth: developing neoclassical implications", *Journal of Political Economy*, nº 98 (5, Parte 2, Suplemento), págs. 126-49.
- KRUEGER, A.B. Y LINDAHL, M. (1999): "Education for growth in Sweden and the World", *Swedish Economic Policy Review*, nº 6(2), págs. 289-339.
- KYRIACOU, G. (1992), *Level and growth effects of human capital: a cross-country study of the convergence hypothesis*, C.V. STARR Working Paper 91-26.
- LARRAMONA, G. Y PUEYO, F. (2001): "El capital humano", *Papeles de Economía Española. Economía de las Comunidades Autónomas*, nº 19, págs. 102-114.
- LEVINE, R. Y RENELT, D. (1992): "A sensitivity analysis of cross-country growth regressions", *American Economic Review*, nº 82(4), págs. 942-963, Septiembre.
- LÓPEZ GARCÍA, S. Y VALDALISO, J.M. (eds.) (1997): *¿Que inventen ellos? Tecnología, empresa y cambio económico en la España contemporánea*, Madrid, Alianza.
- LUCAS, R. (1988): "On the Mechanics of Development Planning", *Journal of Monetary Economics*, vol. 22, nº 1, págs. 3-42, julio
- LUCAS, R. (1993): "Making a miracle", *Econometrica*, nº 61(2), págs. 251-271, marzo.
- MANKIW, N. G., ROMER, D. Y WEIL, D. (1992): "A contribution to the empirics of economic growth", *Quarterly Journal of Economics*, nº 107(2), págs. 407-437, mayo.
- MINCER, J. (1996): "Job training: costs, returns, and wage profiles", en O. C. Ashenfelter y R. J. LaLonde (eds.), *The Economics of Training, Theory and Measurement, (Vol. I)*, págs. 105–122, Brookfield: Elgar.
- MINCER, J. Y HIGUCHI, Y. (1988): "Wage structures and labour turnover in the U.S. and Japan", *Journal of Japanese and International Economics*, nº 2, págs. 97-133.
- NELSON, R. Y PHELPS, E. (1966): "Investments in humans, technological diffusion and economic growth", *American Economic Review, Papers and Proceedings*, nº 56 (2), págs. 69-75.
- PARENTE, S. (1994): "Technology adoption, learning-by-doing, and economic growth", *Journal of Economic Theory*, nº 63, págs. 346-69.
- PAVITT, K. (ed.) (1980): *Technical innovation and British economic performance*, Macmillan, Londres.
- PAVITT, K. (1984): "Sectorial patterns of technical change: towards a taxonomy and theory", *Research Policy*, vol. 13, nº 6, págs. 343-373.
- PORTER, M.E. (1990): *The Competitive Advantage of Nations*, Free Press, Nueva York.

- REBELO, S. (1991): "Long-run policy analysis and long-run growth", *Journal of Political Economy*, nº 99(3), págs. 500-521, junio.
- ROMER, P. (1986): "Increasing returns and long-run growth", *Journal of Political Economy*, nº 94, 5, págs. 1002-1037, octubre.
- ROMER, P. (1990): "Endogenous technological change", *Journal of Political Economy*, nº 98 (5, part 2), págs. 71-102, octubre.
- SALA I MARTIN, X. (1994): *Apuntes de crecimiento económico*, Barcelona, Antoni Bosch editor.
- SCHULTZ, T. (1961): "Investment in human capital", *American Economic Review*, nº 51, págs. 1-17.
- SOLOW, R. (1957): "Technical Change and the Aggregate Production Function", *Review of Economics and Statistics*, vol. 39, págs. 312-320.
- STONEMAN, P. (ed.) (1995): *Handbook of the economics of innovation and technological change*, Blackwell.
- TEMPLE, J. (1998): "Equipment investment and the Solow model", *Oxford Economic Papers*, nº 50 (1), págs. 39-62.
- WOLFF E. (1994): "Technology, capital accumulation, and long run growth", en Jan *et al.* (eds.), *The dynamics of technology, trade, and growth*, Edward Elgar Publishing Ltd., Londres, págs. 53-74.
- YOUNG, A. (1991): "Learning-by-doing and the dynamic effects of international trade", *Quarterly Journal of Economics*, nº 106, págs. 369-405.

Fundación Economía Aragonesa (Fundear) ha sido creada por el **Gobierno de Aragón, Ibercaja y Caja Inmaculada** con el objeto de:

- Elaborar estudios sobre economía aragonesa o sobre cuestiones relacionadas con la misma, por iniciativa propia o por encargo.
- Organizar y supervisar equipos de investigación solventes científicamente, que realicen trabajos sobre economía aragonesa encargados a través de la Fundación.
- Promover un debate informado sobre las alternativas a que se enfrenta la economía aragonesa. En especial organizará periódicamente encuentros, seminarios o jornadas sobre temas relevantes y congresos.
- Publicar o dar difusión por cualquier medio a los trabajos que realice, las conclusiones de los seminarios así como otros trabajos de interés para la economía aragonesa.
- Formar economistas especializados en temas relativos a la economía aragonesa.

Patronato:

D. Francisco Bono Ríos (Ibercaja), *Presidente*.
D. Tomás García Montes (CAI), *Vicepresidente*.
D^a. Gema Gareta Navarro (Gobierno de Aragón), *Vocal*.

Director:

D. José María Serrano Sanz

Publicaciones de Fundear:

Documento de trabajo 1/2003.

Aproximación a los servicios a empresas en la economía aragonesa.

Eva Pardos. Universidad de Zaragoza y Fundear.

Ana Gómez Loscos. Fundear.

Documento de trabajo 2/2003.

Índice Fundear: un sistema de indicadores sintéticos de coyuntura para la economía aragonesa.

María Dolores Gadea Rivas. Universidad de Zaragoza y Fundear.

Antonio Montañés Bernal. Universidad de Zaragoza y Fundear.

Domingo Pérez Ximénez de Embún. Fundear.

Documento de trabajo 3/2003.

Servicios a empresas y empleo en Aragón.

M^a Cruz Navarro Pérez. Universidad de La Rioja y Fundear.

Eva Pardos. Universidad de Zaragoza y Fundear.

Ana Gómez Loscos. Fundear.

Documento de trabajo 4/2003.

Los servicios a empresas en la estructura productiva aragonesa.

Eva Pardos. Universidad de Zaragoza y Fundear.

Ana Gómez Loscos. Fundear.

Documento de trabajo 5/2004.

La localización de los servicios empresariales en Aragón. Determinantes y efectos.

Eva Pardos. Universidad de Zaragoza y Fundear.

Fernando Rubiera Morollón. Universidad de Oviedo.

Ana Gómez Loscos. Fundear.

Documento de trabajo 6/2004.

Factores de localización y tendencia de población en los municipios aragoneses.

Luis Lanaspá. Universidad de Zaragoza.

Fernando Pueyo. Universidad de Zaragoza.

Fernando Sanz. Universidad de Zaragoza.

Documento de trabajo 7/2004.

Determinantes del crecimiento económico. La interrelación entre el capital humano y tecnológico en Aragón.

Blanca Simón Fernández. Universidad de Zaragoza.

José Aixala Pastó. Universidad de Zaragoza.

Gregorio Giménez Esteban. Universidad de Zaragoza.

Gema Fabro Esteban. Universidad de Zaragoza.