

THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE TECHNOLOGICAL INNOVATIONS: THE MEDIATING EFFECT OF COMPLEXITY IN THE BIOTECHNOLOGY SECTOR

ABSTRACT: There are no conclusive results in the literature regarding the relationships between knowledge management decisions and the creation of sustainable competitive advantages. The incorporation of the complexity of technological capacities as a mediating and explicative variable of those relationships makes it possible to justify the effect of sources of knowledge and their subsequent codification in sustaining competitive advantages.

The results indicate that access to knowledge from internal sources and its subsequent codification are keys to developing technological capacities, whose complex internal structure improves the sustainability of competitive advantages. The evidence obtained does not make it possible to explain the positive and significant effect of the balanced use of internal and external sources and is justified through the structure of complexity for which both types of sources are responsible.

KEYWORDS: knowledge management, knowledge codification, sources of knowledge, sustainable competitive advantages, technological capacities, complexity.

LE DÉVELOPPEMENT D'INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES DURABLES: L'EFFET MÉDIATEUR DE LA COMPLEXITÉ DANS LE SECTEUR DE LA BIOTECHNOLOGIE

RÉSUMÉ: Il n'existe pas de résultats probants dans la littérature concernant les relations entre les décisions de gestion de connaissance et la création d'avantages compétitifs durables. L'incorporation de la complexité des capacités technologiques, en tant que variable médiatrice et explicative de ces relations, permet de justifier l'effet des sources de connaissance et leur codification postérieure pour le support des avantages compétitifs.

Les résultats indiquent que l'accès à la connaissance par l'utilisation majoritaire de sources internes et leur codification postérieure sont essentiels pour le développement de capacités technologiques, dont la structure interne de complexité améliore l'appui d'avantages compétitifs. L'évidence obtenue nous permet d'expliquer l'effet positif et significatif de l'utilisation équilibrée de sources internes et externes, justifié par la structure de complexité dont ces deux types de sources sont responsables.

MOTS-CLEFS: gestion de connaissance, codification de connaissance, sources de connaissance, avantages compétitifs durables, capacités technologiques, complexité.

O DESENVOLVIMENTO DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS SUSTENTÁVEIS: O EFEITO MEDIADOR DA COMPLEXIDADE NO SETOR DA BIOTECNOLOGIA

RESUMO: Na literatura não existem resultados concludentes sobre as relações entre as decisões de gestão do conhecimento e a criação de vantagens competitivas sustentáveis. A incorporação da complexidade das capacidades tecnológicas como variável mediadora e explicativa de tais relações, permite justificar o efeito das fontes de conhecimento e sua posterior codificação na sustentação das vantagens competitivas.

Os resultados indicam que o acesso ao conhecimento através do emprego majoritário de fontes internas e sua posterior codificação são essenciais para desenvolver capacidades tecnológicas, cuja estrutura interna da complexidade melhora a sustentação das vantagens competitivas. A evidência obtida não permite explicar que o efeito positivo e significativo, do emprego equilibrado de fontes internas e externas justificasse através da estrutura de complexidade da que ambos tipos de fonte são responsáveis.

PALAVRAS CHAVE: gestão do conhecimento, codificação do conhecimento, fontes de conhecimento, vantagens competitivas sustentáveis, capacidades tecnológicas, complexidade.

CLASIFICACIÓN JEL: M1.

RECIBIDO: enero de 2009 APROBADO: octubre de 2010

CORRESPONDENCIA: Universidad Rey Juan Carlos, Campus de Vicálvaro, P de los Artilleros, s/n 28032.

CITACIÓN: García-Muiña, F., Pelechano-Barahona E., & Navas-López J. (2010). El desarrollo de innovaciones tecnológicas sostenibles: el efecto mediador de la complejidad en el sector de la biotecnología. *Innovar*, 20(38), 95-110.

El desarrollo de innovaciones tecnológicas sostenibles: el efecto mediador de la complejidad en el sector de la biotecnología

Fernando E. García-Muiña

Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales por la Universidad Complutense de Madrid, y actualmente es profesor en el Departamento de Economía de la Empresa (Administración, Dirección y Organización) de la Universidad Rey Juan Carlos.
Correo electrónico: fernando.muina@urjc.es

Eva Pelechano-Barahona

Licenciada en Administración y Dirección de Empresas, y actualmente es profesora en el Departamento de Economía de la Empresa (Administración, Dirección y Organización) de la Universidad Rey Juan Carlos.
Correo electrónico: eva.pelechano@urjc.es

José E. Navas-López

Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales, y actualmente es catedrático en el Departamento de Organización de Empresas de la Universidad Complutense de Madrid.
Correo electrónico: jenavas@ccee.ucm.es

RESUMEN: En la literatura no existen resultados concluyentes acerca de las relaciones entre las decisiones de gestión del conocimiento y la creación de ventajas competitivas sostenibles. La incorporación de la *complejidad de las capacidades tecnológicas* como variable mediadora y explicativa de tales relaciones, permite justificar el efecto de las fuentes de conocimiento y su posterior codificación en el sostenimiento de las ventajas competitivas.

Los resultados indican que el acceso al conocimiento a través del empleo mayoritario de fuentes internas y su posterior codificación son clave para desarrollar capacidades tecnológicas, cuya estructura interna de la complejidad mejora el sostenimiento de las ventajas competitivas. La evidencia obtenida no permite explicar que el efecto positivo y significativo del empleo equilibrado de fuentes internas y externas se justifique a través de la estructura de complejidad de la que ambos tipos de fuente son responsables.

PALABRAS CLAVE: gestión del conocimiento, codificación de conocimiento, fuentes de conocimiento, ventajas competitivas sostenibles, capacidades tecnológicas, complejidad.

INTRODUCCIÓN

En el actual contexto económico, el desarrollo de innovaciones tecnológicas se plantea como uno de los pilares básicos de la competitividad. Por esta razón, se justifica el elevado potencial estratégico de la base de conocimientos y capacidades tecnológicas, responsables tanto de la fortaleza innovadora de las empresas como de su capacidad de adaptación al entorno y los resultados alcanzados (Nonaka, 1991; Afuah, 2002; De Carolis, 2003; Alegre *et al.*, 2006). Por tanto, los procesos de toma de decisiones relativos a la gestión de los intangibles tecnológicos son relevantes y complejos, ya que su naturaleza inmaterial supone una serie de características particulares que los diferencian frente al resto de recursos organizativos.

La literatura propone múltiples variables como factores determinantes de la capacidad innovadora de la empresa; por ejemplo, el gasto en I+D, el tamaño organizativo, el diseño de la estructura organizativa o las políticas de recursos humanos y propiedad intelectual. Sin embargo, no existen resultados concluyentes acerca de su efecto real sobre la creación de ventajas competitivas sostenibles de base tecnológica. En este caso se encuentran también las variables de *gestión del conocimiento* que se estudian en este artículo: las fuentes de acumulación del conocimiento y su posterior codificación. De hecho, existen diferentes argumentos teóricos para justificar los resultados empíricos obtenidos en investigaciones previas, que relacionan ambas decisiones y el potencial innovador en uno u otro sentido.

El sector de la biotecnología en España carece todavía de modelos de negocio que se puedan considerar como referencia clara de éxito. Por ello en este trabajo se trata de abordar el estudio del papel de ciertas decisiones de gestión de conocimiento, muy relevantes en sectores intensivos en innovación y conocimiento, como es el caso del biotecnológico. Con el estudio empírico propuesto, además, se ofrece nueva evidencia que permite comprender cómo y por qué una buena gestión del capital intangible de las empresas mejora sus resultados.

En lugar de presentar otro estudio empírico más sobre las relaciones entre las fuentes de conocimiento, su codificación y el resultado tecnológico de las empresas, en el presente trabajo se intenta justificar el sentido y la intensidad de dichas relaciones, incorporando como variable mediadora la complejidad del conocimiento. Esta variable permitirá ofrecer argumentos teóricos solventes que arrojen luz a estas relaciones, y, por tanto, justificar la mayor solidez de los resultados de ciertas investigaciones anteriores frente a aquellas que ofrecen conclusiones opuestas.

La selección de la complejidad del conocimiento embebido en las capacidades empresariales responsables de la obtención de innovaciones tecnológicas se justifica a partir del *enfoque estratégico basado en los recursos* (Wernerfelt, 1984; Barney, 1991; Grant, 1991; Peteraf, 1993) y sus posteriores desarrollos: el *enfoque de las capacidades dinámicas* (Teece et al., 1997) y la *teoría de la empresa basada en el conocimiento* (Nonaka y Takeuchi, 1995; Grant, 1996; Styhre, 2004).

El avance de la disciplina sitúa en el centro del debate la naturaleza más o menos compleja del conocimiento tecnológico como el principal factor explicativo de su potencial para generar valor, al ser determinante de la creación de barreras frente a la imitación y sustitución de las innovaciones desarrolladas (Wilcox-King y Zeithaml, 2001; McEvily y Chakravarthy, 2002). Además, esta literatura señala

que el nivel de complejidad existente depende de una serie de decisiones de gestión del conocimiento, entre las que se encuentran su forma de acceso y posterior codificación (Zott, 2003; Maritan y Brush, 2003).

En sentido amplio, la complejidad de las capacidades tecnológicas se define como la dificultad para comprender su funcionamiento, bien como consecuencia del gran número de piezas de conocimiento que se pueden interrelacionar –co-especialización de activos–, o bien como consecuencia de la naturaleza particular y tácita de cada una de las piezas –especificidad de activos– (Simon, 1962, 1990; Zander y Kogut, 1995; Wonglimpiyarat, 2005; García-Muiña et al., 2008).

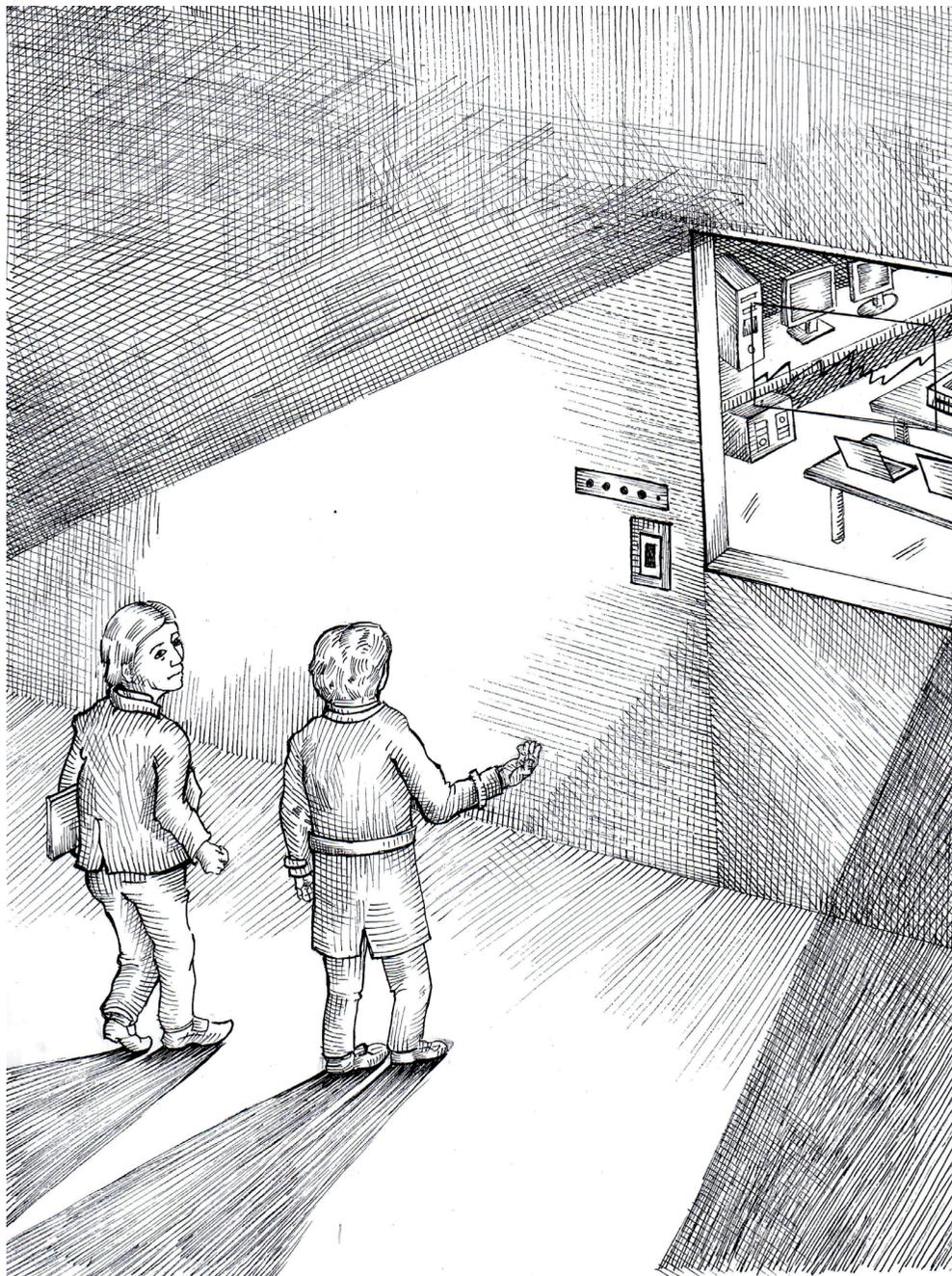
Estas dos características nos permitirán definir la complejidad en torno a dos dimensiones: endógena y exógena, y, por tanto, comprender el papel de las fuentes y la codificación de conocimiento en la creación de innovaciones tecnológicas estratégicas, mediante su influencia en el nivel de complejidad que presentan las capacidades en cada una de estas dimensiones.

En cuanto a la estructura general del trabajo, en primer lugar se describen los fundamentos teóricos necesarios para abordar la definición del modelo y las hipótesis objeto de contraste. A continuación, se describen los principales aspectos metodológicos y, finalmente, se presentan los resultados y conclusiones más relevantes, así como algunas de las principales limitaciones y futuras líneas de investigación.

LA COMPLEJIDAD DE LAS CAPACIDADES TECNOLÓGICAS: DEFINICIÓN, DIMENSIONES Y VALOR ESTRATÉGICO

Simon (1962) plantea una de las primeras propuestas teóricas de la complejidad de un sistema. Señala que un sistema es complejo cuando está constituido por numerosos elementos específicos que se relacionan de forma única y que afectan su funcionamiento de forma similar; es decir, que todas y cada una de las piezas son igualmente relevantes para los resultados de dicho sistema. Por tanto, desde este punto de vista, una capacidad tecnológica –para ser considerada un sistema complejo fuente de innovaciones tecnológicas– debe estar constituida por un conjunto de piezas de conocimiento únicas y específicamente interrelacionadas.

Coincidimos con Simon (1962) en los efectos de la complejidad sobre el grado de dificultad para identificar y comprender la contribución de cada elemento del sistema a sus resultados. Sin embargo, consideran que la definición de Simon es excesivamente restrictiva, al requerir que todas y



cada una de las piezas de conocimiento sean específicas y estén basadas en conocimiento tácito de difícil observación y análisis.

Singh (1997) –a partir de los trabajos de Huberman y Hogg (1986), Anderson *et al.* (1988) y Holland y Miller (1991)–, propuso una definición de complejidad referida al fenómeno tecnológico más próxima a nuestra concepción, y que tomamos como referencia básica. Considera Singh que un sistema tecnológico es complejo cuando forma un conjunto integrado por distintos elementos que difícilmente puede descomponerse en sus piezas elementales y comprender cómo funciona.

Desde nuestro punto de vista, la estimación del nivel de complejidad de cualquier capacidad no debería calcularse únicamente a partir de la evaluación individual de cada uno de sus elementos integrantes, sino teniendo en cuenta, además, la naturaleza del conjunto de relaciones que se establecen entre ellos.

Este enfoque alternativo amplía la definición de complejidad a nuevas situaciones. En este sentido, para que una capacidad tecnológica sea considerada compleja, no tiene por qué exigirse el cumplimiento de la condición definida por Simon (1962), tal y como se defiende en los trabajos de Black y Boal (1994) o Thomke y Kuemmerle (2002).

De esta forma, reconocemos que el uso particular de ciertos conocimientos tecnológicos explícitos que una empresa hace, gracias a la dotación complementaria de otros conocimientos privados, puede ser muy difícil de identificar y comprender por terceros. La incorporación de conocimiento de uso teóricamente general a una empresa concreta puede ser una fuente de ventaja competitiva que la competencia es incapaz de reproducir e, incluso, de identificar. La base de estos argumentos descansa en el fenómeno conocido como interdependencia de activos o co-especialización, propuesto por Teece (1986) años atrás. De forma similar, Robins (1992) define un modelo teórico que reconoce que las empresas pueden desarrollar activos específicos y exclusivos (X-activos), que son explotados más eficientemente junto a otros de libre acceso en los mercados.

A partir de estas reflexiones se puede considerar, por un lado, que la complejidad de las capacidades tecnológicas es un rasgo esencial a la hora de evaluar su potencial estratégico –ya que afecta las posibilidades de ser imitadas o sustituidas por la competencia– y que, por otro lado, se puede construir de forma deliberada, al depender de distintas decisiones de gestión de conocimiento.

Pese a la importancia que se ha concedido a la complejidad, se ha contrastado empíricamente que no siempre una mayor complejidad aumenta la sostenibilidad de las ventajas competitivas; en cambio, sí que se ha concluido que existen distintas dimensiones con un efecto particular en la creación de barreras a la imitación o sustitución de capacidades (García Muiña *et al.*, 2008).

Incorporando en el análisis la dimensión epistemológica del conocimiento (Nonaka y Takeuchi, 1995)¹, defendemos la existencia de una estructura interna en el concepto de complejidad en torno a dos dimensiones o factores, que pueden ser de gran interés en el proceso de evaluación estratégica de las capacidades empresariales: *complejidad endógena* y *complejidad exógena*².

La *complejidad endógena* se define como aquella que depende única y exclusivamente de la presencia de conocimientos generados internamente, de carácter tácito y específico. Reflejaría la dificultad para identificar, comprender y reproducir las capacidades tecnológicas

¹ Que distingue entre conocimiento tácito y explícito.

² Los resultados del estudio de García-Muiña *et al.* (2008) sobre una muestra de empresas biotecnológicas en España, ponen de manifiesto que las empresas cuyas capacidades son más inmunes frente a la sustitución son aquellas cuya complejidad depende fundamentalmente del componente exógeno. Por tanto, se concluye que una tecnología *aparentemente transparente* y más comprensible cuenta con una mayor legitimidad social, al considerar los agentes que las asimetrías de información son menores.

estratégicas de la empresa líder, como consecuencia de la inarticulación de las piezas de conocimiento en que están basadas sus innovaciones. El antecedente directo de esta dimensión se encuentra en el concepto definido por Wilcox-King y Zeithaml (2001), conocido como *ambigüedad característica* de las capacidades, relacionada estrechamente con la proporción de conocimiento tácito.

Por otra parte, la *complejidad exógena* es aquella que depende de la proporción de conocimientos tácitos y explícitos integrados en las capacidades. En otras palabras, es la dificultad para identificar y comprender el valor y uso más eficiente que una empresa concreta hace de un conocimiento difundido en la industria y generado exógenamente, gracias al dominio complementario de conocimiento específico de naturaleza tácita. En esta ocasión, el principal antecedente se encuentra en la definición que plantean McEvily y Chakravarthy (2002) del término *especificidad de diseño o uso*; esta dimensión se refiere al uso particular y eficiente que una empresa hace del conocimiento tecnológico genérico o público. Esta complejidad exógena reflejaría la posible existencia de un efecto multiplicador del conocimiento tácito, en presencia de conocimiento explícito, sobre el nivel total de complejidad de la capacidad.

En definitiva, el conocimiento tácito se convierte en condición necesaria para que exista complejidad, mientras que la proporción de conocimiento explícito determina el peso relativo que ambas dimensiones tienen en la complejidad total de las capacidades.

Complejidad total (C_T) = Complejidad endógena (C_{ENDG}) + Complejidad exógena (C_{EXOG})

La complejidad endógena se ha considerado determinante de la creación de barreras a la imitación de tecnologías valiosas, como consecuencia de la dificultad para identificar y comprender el conocimiento tácito (Reed y DeFillipi, 1990; McEvily y Chakravarthy, 2002; Nicholls-Nixon y Woo, 2003; González Álvarez y Nieto Antolín, 2005).

Como en el caso de la imitación, se ha reconocido que la complejidad tecnológica influye decisivamente en las posibilidades de ser sustituida (McEvily *et al.*, 2000; Teng y Cummings, 2002; Makadok, 2003). De forma contraria a la imitación, diversos estudios (Cowan y Foray, 1997; McEvily *et al.*, 2000; Crossan y Berdrow, 2003) señalan que la mayor proporción de conocimiento tácito aumenta la propensión de ciertos agentes hacia la búsqueda de tecnologías alternativas; por tanto, las probabilidades de que sean vulnerables frente a la sustitución son mayores (Markman *et al.*, 2004; García-Muiña *et al.*, 2008).

Esta perspectiva considera que los agentes económicos interesados en una tecnología concreta –clientes, socios,

FIGURA 1. La naturaleza del conocimiento y la complejidad de las capacidades.

CAPACIDADES	% CONOCIMIENTO		COMPLEJIDAD	
	TÁCITO	EXPLÍCITO	ENDOGENA (tácito)	EXÓGENA (tácito \cap explícito)
Capacidad tipo 1	100 %	0 %	Sí	No
Capacidad tipo 2	X %	(100 - X) %	Sí	Sí
Capacidad tipo 3	0 %	100 %	No	No

Fuente: García Muiña et al. (2008).

etc.– muestran un mayor rechazo hacia aquellas que son incapaces de comprender suficientemente. De ahí que los competidores estén motivados a desarrollar tecnologías alternativas (sustitutivas) que sean más atractivas para tales agentes, al estimar que las asimetrías de información serán menores y, por tanto, los comportamientos oportunistas de los proveedores de tecnología, menos probables.

Por ello, una cierta proporción de conocimientos explícitos –nunca 100%–, que aparentemente permita un análisis más completo de la tecnología ofrecida, puede convertirse en una opción interesante para crear barreras a la sustitución sin tener que debilitar las barreras a la imitación, tal y como demuestra empíricamente el trabajo de García-Muiña et al. (2008).

Así, en un contexto de capacidades complejas, se concluye que solo cuando la complejidad de las capacidades se deriva de la presencia conjunta de conocimientos tácitos y explícitos, las ventajas competitivas son realmente sostenibles, al crearse simultáneamente barreras frente a la imitación y a la sustitución; es decir, la complejidad será

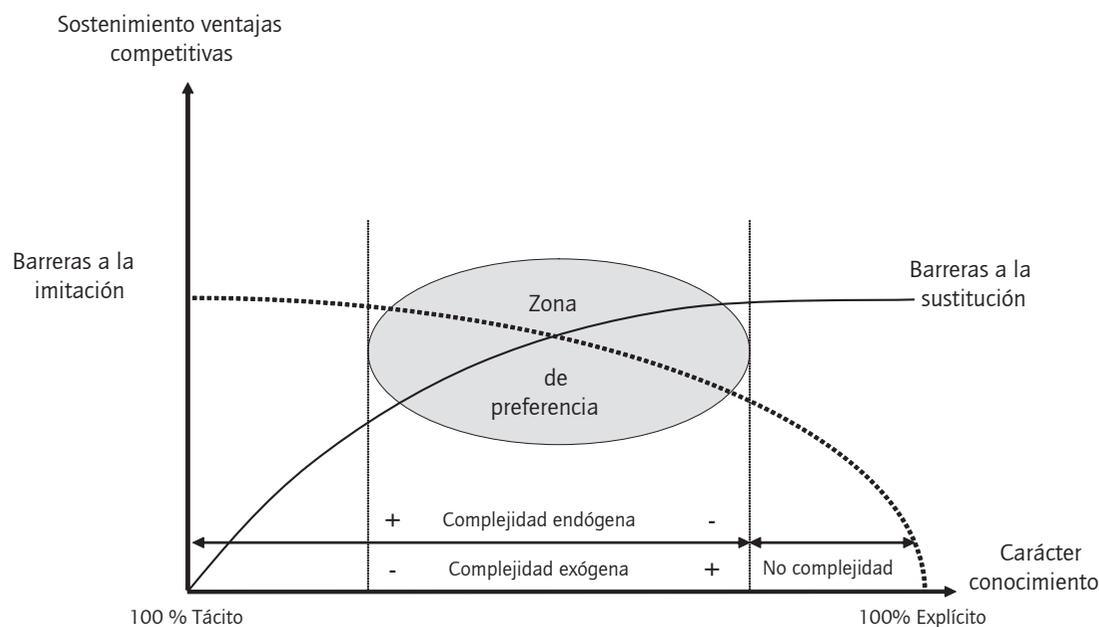
un medio de protección eficaz frente a terceros cuando no solo dependa de la presencia de conocimiento tácito y, por consiguiente, cuando la dimensión exógena adquiera un peso significativo.

Una empresa que mayoritariamente contara con conocimiento explícito de uso general no podría explotarlo de forma más eficiente que el mercado y, por tanto, el funcionamiento de sus capacidades sería *transparente* y comprensible para los agentes económicos, disipándose toda posibilidad de crear ventajas competitivas sostenibles y apropiarse de las rentas generadas.

A partir de estos argumentos se puede llegar a dos conclusiones generales; por un lado, que las capacidades complejas presentan un mayor potencial estratégico que las transparentes y, por otro lado, que, para un determinado nivel de complejidad, resultan más valiosas aquellas capacidades cuya dimensión exógena es significativa.

En la figura 2, como síntesis de estas reflexiones y contribución del presente artículo, se establecen las relaciones entre el carácter del conocimiento –tácito/explicito–, las

FIGURA 2. Naturaleza del conocimiento, complejidad y sostenimiento de las ventajas competitivas



Fuente: elaboración propia.

dimensiones de la complejidad y las barreras a la imitación y sustitución. Asimismo, se muestra la *zona de preferencia* en la que las empresas deberían situarse si desean alcanzar un nivel satisfactorio de protección de sus capacidades.

DECISIONES DE GESTIÓN DE CONOCIMIENTO Y COMPLEJIDAD DE LAS CAPACIDADES: MODELO DE ANÁLISIS

Una vez identificado el potencial estratégico de la complejidad de las capacidades tecnológicas, por su influencia sobre la creación de barreras a la imitación y a la sustitución, resulta fundamental analizar las decisiones que afectan la naturaleza del conocimiento presente en los sistemas tecnológicos y que, por tanto, explican el sostenimiento de las ventajas competitivas de base tecnológica.

En los últimos años se han publicado diversos trabajos empíricos que han complementado los argumentos teóricos relativos a los factores determinantes de la naturaleza de dicho conocimiento tecnológico. Su revisión nos ha permitido reconocer la relevancia de dos procesos que, si bien se han relacionado directamente con los resultados tecnológicos, aún no se ha estudiado que su influencia se pueda explicar a través de su efecto en la complejidad: 1) *las fuentes de conocimiento* empleadas en su acumulación (De Carolis y Deeds, 1999; Yeoh y Roth, 1999; Yli-Renko *et al.*, 2001; Matusik, 2002; Thomke y Kuemmerle, 2002; Zott, 2003) y 2) *la codificación* del conocimiento acumulado

(Coombs y Hull, 1998; Zack, 1999; Balconi, 2002; Figueiredo, 2002; Maritan y Brush, 2003).

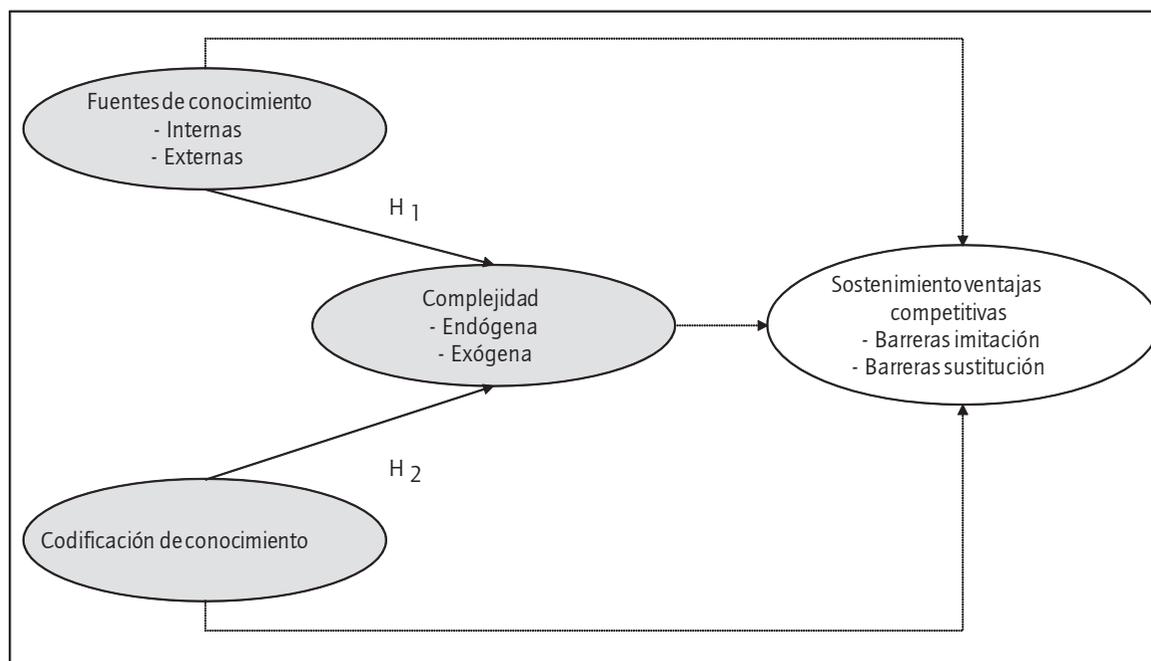
Las fuentes de conocimiento tecnológico se pueden definir como todo medio en virtud del cual las empresas acumulan los conocimientos que permanecen en la organización, con la finalidad de crear valor mediante su adecuada explotación e incorporación en productos o procesos tecnológicamente innovadores (De Carolis y Deeds, 1999; Yli-Renko *et al.*, 2001; Matusik, 2002; Thomke y Kuemmerle, 2002; Zott, 2003).

Desde un punto de vista teórico, las alternativas de acumulación de conocimiento tecnológico pueden representarse a través de una variable discreta o continua, en cuyos extremos se sitúan los proyectos de I+D+i propios –fuentes internas– y la adquisición de tecnología en mercados competitivos –fuentes externas– (Matusik, 2002; Zahra y Nielsen, 2002).

Las fuentes internas hacen alusión a los métodos de acumulación de conocimiento tecnológico a través de procesos de aprendizaje propios, derivados fundamentalmente de la experiencia en el desempeño de los procesos organizativos y del estudio mediante proyectos de innovación tecnológica (Nieto Antolín, 2001).

A partir de los planteamientos pioneros de Beer (1959), diversos estudios han otorgado mayor valor estratégico a las fuentes internas (Chandler, 1990; March, 1991; Conner y Prahalad, 1996; Mowery *et al.*, 1996). Este hecho quizá se podría explicar porque la creación de barreras a

FIGURA 3. Modelo específico de análisis.



Fuente: elaboración propia.

la imitación de las capacidades distintivas –a la que este tipo de conocimiento interno parece servir eficazmente dado su carácter tácito y específico– era casi el único objeto de atención a la hora de explicar el sostenimiento de las ventajas competitivas (Matusik, 2002; McEvily y Chakravarthy, 2002; Schroeder *et al.*, 2002). A pesar de estos beneficios, las fuentes internas de conocimiento también presentan algunos inconvenientes, tales como la mayor irreversibilidad de las decisiones, los mayores niveles de riesgo y costes asumidos, así como la resistencia al cambio en la empresa (Leonard-Barton, 1992; Pérez López *et al.*, 2005).

Además, la tradición investigadora relativa al estudio de las *externalidades* (von Hippel, 1988; Powell *et al.*, 1996; Powell, 1998), la existencia de mercados para ciertas tecnologías (Arora *et al.*, 2001) y el papel que desempeña la capacidad de absorción en la eficiencia de los procesos (Cohen y Levinthal, 1990; Lane y Lubatkin, 1998; Zahra y George, 2002; Jiménez Jiménez y Sanz Valle, 2006) permiten reconocer el interés de ciertas fuentes externas de conocimiento ante determinadas condiciones competitivas.

Las fuentes externas se refieren a todo proceso de acumulación e incorporación de conocimiento tecnológico, cuyo desarrollo ha sido posible mediante la intervención de terceros agentes a través de la compra directa de tecnología, tecnología incorporada, contratos de licencias, acuerdos de cooperación, etc. A pesar de la posible desventaja de las fuentes externas frente a aquellas de carácter interno, al no adaptarse a las necesidades específicas de la organización y estar más fácilmente disponibles para la competencia, esta alternativa es generalmente más barata, rápida y menos arriesgada (Pérez López *et al.*, 2005). Además, la dotación complementaria de conocimientos propios posibilita hacer un uso más eficiente de aquél externo y crear más valor que el mercado mediante su explotación.

En este sentido, la mayoría de trabajos que analizan empíricamente el valor de las distintas fuentes de conocimiento tecnológico lo hacen a través del efecto individual de cada una de ellas en los resultados, apostando por el mayor valor absoluto de un tipo concreto de fuente (Yli-Renko *et al.*, 2001; Matusik, 2002; Douglas y Ryman, 2003; Spencer, 2003). Sin embargo, también existen ciertos modelos que incluyen el efecto del empleo conjunto de ambos tipos de fuente, limitando la capacidad explicativa de los efectos individuales (Figueiredo, 2002; Thomke y Kuemmerle, 2002; Knott, 2003).

En este estudio se pretende arrojar luz, al menos en parte, sobre la literatura existente respecto a las relaciones entre las fuentes y el sostenimiento de las ventajas competitivas.

El carácter controvertido de los resultados empíricos encontrados puede deberse a que estos trabajos no han contemplado el papel que ocupa la complejidad del conocimiento a la hora de explicar estas relaciones. Así, aquellos estudios que reconocen un mayor potencial estratégico a las fuentes internas de conocimiento a la hora de construir capacidades tecnológicas distintivas, implícitamente están otorgando mayor valor a la dimensión endógena de la complejidad, al tratarse de un factor determinante de la existencia de barreras a la imitación de dichos activos. En cambio, quienes apuestan por la utilización exclusiva de fuentes externas, en realidad estarían defendiendo el desarrollo de tecnologías transparentes, poco o nada complejas, ante los inconvenientes de la ambigüedad causal sobre los procesos de aprendizaje.

En ambos extremos, las tecnologías serán vulnerables frente a la sustitución e imitación, respectivamente. Por un lado, la exclusiva presencia de conocimiento tácito aumentará la propensión de distintos agentes hacia la búsqueda de tecnologías alternativas que sustituyan a las actuales. Y, por otro lado, la excesiva proporción de conocimientos explícitos hará que las capacidades tecnológicas sean comprensibles y fácilmente imitables para la mayoría de los agentes económicos. En ambas situaciones se pierde, por tanto, toda posibilidad de generar ventajas competitivas sostenibles.

Únicamente aquellos trabajos que analizan el efecto conjunto de las fuentes internas y externas (Tripsas, 1997; Figueiredo, 2002; Schroeder *et al.*, 2002; Thomke y Kuemmerle, 2002; Knott, 2003) permiten reconocer la posible influencia positiva de crear capacidades tecnológicas en las que la dimensión exógena adquiere un peso significativo, al equilibrar en cierta medida la proporción de conocimientos tácitos y explícitos y, por tanto, optimizar las barreras frente a la imitación y la sustitución (De Carolis, 2003; Denrell *et al.*, 2003; Knott, 2003).

A partir de estas consideraciones, los autores definen la primera hipótesis general que se desagrega en otras más específicas. El no rechazo de estas hipótesis permitirá justificar el valor que reconocen –pero que no explican suficientemente– distintos trabajos al empleo conjunto de fuentes internas y externas (Tripsas, 1997; Yeoh y Roth, 1999; Figueiredo, 2002; Schroeder *et al.*, 2002; Thomke y Kuemmerle, 2002). En este caso, dicho valor se explicará a través de la construcción de capacidades tecnológicas en las que el componente exógeno de la complejidad adquiere un peso significativo, haciéndolas inmunes frente a las acciones de imitación/sustitución de la competencia.

H₁: Las fuentes de conocimiento empleadas se relacionan con la complejidad de las capacidades tecnológicas

H_{11} : El mayor empleo de fuentes internas se relaciona con una mayor importancia del componente endógeno de la complejidad de las capacidades tecnológicas

H_{12} : El empleo conjunto de fuentes internas y externas se relaciona con una mayor importancia del componente exógeno de la complejidad de las capacidades tecnológicas

H_{13} : El mayor empleo de fuentes externas se relaciona con una menor complejidad total de las capacidades tecnológicas

Una vez acumulado el conocimiento a través de distintas fuentes, los responsables de la empresa tienen la posibilidad de manipularlo de forma deliberada para transformar alguno de sus atributos y, de este modo, incrementar el valor creado mediante su explotación (Zack, 1999; Zahra y Nielsen, 2002; Zollo y Winter, 2002; Spencer, 2003).

Una de las decisiones que ha recibido mayor atención en la literatura es la codificación, tal y como se reconoce en la dimensión epistemológica de la *espiral de conocimiento* de Nonaka y Takeuchi (1995). Diversos estudios reconocen la importancia de manipular y alterar la naturaleza tácita del conocimiento en el sostenimiento de las ventajas competitivas, considerando que la codificación no es simplemente una herramienta responsable de su transformación, sino que se trata de un instrumento que influye tanto en la dirección y agilidad de los procesos de transferencia y aprendizaje de nuevo conocimiento (Cowan y Foray, 1997; Zack, 1999; García-Muiña *et al.*, 2009) como en los resultados económicos (Winter, 1987; Fosfuri y Roca, 2002).

La codificación se define como el proceso de conversión del conocimiento tácito codificable en mensajes –patentes, bases de datos, manuales de procedimiento, etc.– que pueden ser procesados a partir de ese momento como información (Cowan y Foray, 1997; Cohendet y Steinmueller, 2000; Albino *et al.*, 2001; Balconi, 2002).

Así pues, el proceso de codificación altera la proporción de conocimiento tácito y explícito presente en la empresa, al igual que su ubicación, al trasladar parte de los conocimientos desde la mente de los trabajadores hacia la organización (Balconi, 2002; Subramanian y Youndt, 2005). De este modo, indirectamente es un instrumento útil para modificar la estructura interna de la complejidad y, por consiguiente, un medio responsable de la creación de barreras frente a la imitación y la sustitución.

Como en el caso de las fuentes, el carácter controvertido de los resultados encontrados en la literatura puede deberse a que los trabajos anteriores no han contemplado el papel que ocupa la complejidad del conocimiento a la hora de explicar la relación entre la codificación y el éxito, medido en función del sostenimiento de las ventajas competi-

tivas de base tecnológica según la existencia de barreras a la imitación y a la sustitución.

En este caso, los trabajos que destacan los efectos positivos de la codificación, estarían apoyando implícitamente los beneficios de transformar parte de la complejidad endógena en exógena, al crear una mayor confianza en la tecnología por parte de los agentes y aumentar las barreras a la sustitución. Por el contrario, aquellos autores que identifican el valor estratégico de las capacidades tecnológicas con su carácter tácito, reacios a implantar prácticas de codificación, se inclinarían por la dimensión endógena, al considerar que la codificación no solo facilita la imitación del conocimiento, sino que también puede aumentar la *fossilización* de la empresa y reducir su capacidad creativa (Lazaric *et al.*, 2003).

Por todo ello, en un contexto de capacidades complejas, con el no rechazo de las siguientes hipótesis, se podría justificar que la codificación tiene un efecto positivo en el sostenimiento de ventajas competitivas, por su influencia en la composición de la complejidad. Así,

H_2 : La codificación de conocimiento se relaciona con la complejidad de las capacidades tecnológicas

H_{21} : Un mayor empleo de prácticas de codificación se relaciona con una menor importancia del componente endógeno de la complejidad de las capacidades tecnológicas

H_{22} : Un mayor empleo de prácticas de codificación se relaciona con una mayor importancia del componente exógeno de la complejidad de las capacidades tecnológicas

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Aspectos generales del estudio empírico

El contraste empírico de las hipótesis se realizó sobre una población de empresas dedicadas a la actividad biotecnológica en España³. Esta industria se puede considerar joven a nivel general, y muy joven en el caso español, con una clara apuesta por la inversión en I+D. La juventud y el reducido tamaño que suelen caracterizar a estas empresas implican un gran déficit de recursos financieros propios internos, así como de capacidades de producción y comercialización (Chen, 2006; Gurau y Ranchhod, 2007). Además,

³ Para la definición de la población se han seguido los argumentos de quienes apoyan la idoneidad de definir una población lo más homogénea posible (Hoskisson *et al.*, 1999; De Carolis, 2003; Douglas y Ryman, 2003; Lenox y King, 2004; Rothaermel y Deeds, 2004). Además, el fuerte componente tecnológico de las *bioempresas* (Henderson y Cockburn, 1994; De Carolis, 2003) y su escaso tratamiento para el caso español justifican esa elección.

uno de los aspectos más relevantes en el campo de la biotecnología es la necesidad de una gran cantidad de recursos financieros capaces de soportar elevados niveles de riesgo y largos plazos de recuperación de las inversiones (Mangematin *et al.*, 2003; Rothaermel y Deeds, 2004; García-Muiña y Navas-López, 2007; Gurau y Ranchhod, 2007).

Uno de los principales problemas a la hora de caracterizar el sector de la biotecnología radica en la todavía inexistencia de identidad propia dado su marcado carácter horizontal (Chen, 2006). Además, la ausencia de una estadística nacional actualizada que recogiera de forma completa las empresas que desarrollan este tipo de actividad en España, obligó a elaborar un censo de empresas a partir de la base de datos creada en 1997 por el Centro de Información y Documentación Científica (Cindoc), según la información de las principales asociaciones empresariales del sector⁴.

La deseada homogeneidad de las empresas de la población exige el cumplimiento de varios criterios, entre los que destaca especialmente la pertenencia a ciertos segmentos de actividad dentro de la industria biotecnológica. De esta forma, las empresas incluidas en el estudio son aquellas especializadas en el desarrollo de aplicaciones biotecnológicas al campo de la salud –humana y animal⁵–. Las actividades de las empresas finalmente incluidas giran en torno al desarrollo de productos y servicios biotecnológicos concentrados en ciertas áreas terapéuticas, destinados al tratamiento, la prevención o el diagnóstico de enfermedades (producción de vacunas, antibióticos, fármacos, kits de diagnóstico, xenotrasplantes, fármaco-genómica o ingeniería celular y de tejidos). Además, solo se incluyeron pequeñas empresas (hasta 50 trabajadores) que se dedicaban mayoritariamente al negocio de la biotecnología (más del 80% del volumen de negocio), eliminándose aquellas en las que tal actividad era inferior, ya que en casi todos los casos se trataba de grandes grupos farmacéuticos, cuyas actividades básicas se regían por modelos de negocio

muy diferentes (Baker, 2003; Chen, 2006; Gurau y Ranchhod, 2007).

La selección de empresas de pequeño tamaño se justifica por dos razones adicionales: en primer lugar, en estas empresas de menor tamaño las capacidades tecnológicas son las que adquieren una mayor importancia relativa frente a las capacidades de producción, marketing, logística, etc. (Pla-Barber y Alegre, 2007); en segundo lugar, estas organizaciones suponen más del 90% del tejido empresarial dedicado a la biotecnología en España.

Las características de la población seleccionada en este trabajo perfilan notablemente el proceso de análisis estadístico de los datos y la interpretación de los resultados. El reducido tamaño de la población y, por tanto de la muestra obtenida, sugiere el empleo de técnicas estadísticas no paramétricas, ya que no se puede asegurar que tanto las variables como el modelo completo se comporten de acuerdo con una función *normal* (Siegel y Castellan, 1988; Ruefli y Wiggins, 2000). Por esta razón, resulta apropiado el empleo de los tests *U de Mann-Whitney* y *W de Wilcoxon* para el contraste de las hipótesis planteadas en el presente trabajo. Estas pruebas contrastan la hipótesis nula de si dos submuestras independientes han sido extraídas, o no, de la misma población continua (Ruiz-Maya Pérez y Martín Pliego, 1995). Para ello, ambas comprueban si las observaciones de una submuestra difieren, bien por exceso, bien por defecto, en la variable objeto de estudio respecto de las observaciones de la otra submuestra. Dicha diferencia es la referencia para el cálculo de los rangos de variación a partir de los cuales se generan los estadísticos U y W. De esta forma, cuanto mayor sea la diferencia entre la suma de rangos de cada una de las muestras (estadístico U menor y W mayor), más significativas serán las diferencias subyacentes en la variable analizada entre las observaciones de una y otra submuestras.

Los principales aspectos metodológicos aparecen resumidos en la siguiente ficha técnica:

⁴ Base de datos denominada *Spanish Research Groups and Enterprises Working in Biotechnology*.

⁵ Además, se han incluido empresas de *suministros*, al ser organizaciones que desarrollan y suministran *kits* de diagnóstico médico para aquellas otras dedicadas a la salud. En este sentido, los expertos del sector consultados (responsables del Centro Nacional de Biotecnología, Centro de Biología Molecular y directores generales de diversas empresas: Genetrix, Ingenasa, Bionostra y Alma Bioinformática), nos aconsejaron agrupar estos segmentos de actividad. El generalizado rechazo social que supone el desarrollo de actividades biotecnológicas en agroalimentación y medio ambiente, nos hizo prever una mayor dificultad para obtener información de este tipo de empresas; de ahí, nuestra decisión de solo incluir aquellas dedicadas a salud y suministros, al ser mucho más favorablemente consideradas.

FIGURA 4. Ficha técnica de la investigación empírica.

Universo de la población	52 empresas
Tamaño de la muestra	34 empresas
Tasa de respuesta	63%
Nivel de confianza	95% (z = 1,96)
Error muestral	± 8,32% (para el caso más desfavorable, donde p = q = 0,5)
Procedimiento del muestreo	El cuestionario se envió a todas las empresas que constituían la población
Ámbito geográfico	Territorio nacional
Periodo de análisis	2000-2002
Unidad muestral	Empresa

Fecha realización	Febrero-septiembre 2003
Fuentes de información	<i>Primarias:</i> cuestionario enviado por correo postal o electrónico al máximo responsable de I+D o, en su defecto, al director general

Fuente: elaboración propia.

En nuestro estudio esta prueba estadística implica la previa clasificación de las empresas en dos grupos, en función del valor que tome la variable dependiente –complejidad– respecto a la mediana de su distribución. Se creará un primer grupo integrado por aquellas empresas cuyas tecnologías presenten una mayor complejidad, y un segundo grupo con las que se caracterizan por todo lo contrario. Por tanto, es la variable dependiente la que se emplea como instrumento de clasificación previa de las observaciones muestrales. Se ha elegido la mediana como criterio de segmentación en lugar de la media, porque representa de forma más apropiada la posición relativa de unas empresas frente a otras. Además, se evitan los inconvenientes derivados de la falta de representatividad de la media cuando las variables presentan una elevada dispersión, asegurándose la correcta asignación de cada empresa a su grupo de pertenencia.

Una vez clasificadas las empresas, se contrasta si ambos grupos –que presentan distintos niveles de complejidad– mantienen diferencias significativas en cuanto a las fuentes de conocimiento empleadas y a los niveles de implantación de prácticas de codificación.

La medición de las variables

El proceso de diseño de las medidas empleadas está orientado hacia la consecución de unos niveles satisfactorios de fiabilidad y validez, que en cada caso se adaptan a la naturaleza del indicador empleado, tal y como se muestra en

la figura 5. Cada unidad muestral aportó información de las variables para los tres ejercicios del periodo de estudio, y su tratamiento se realizó a partir del valor medio resultante de las tres observaciones.

Junto a la controversia que despierta la definición de la propia noción de complejidad, otro problema añadido que también es fuente de divergencias entre los distintos autores es su medición. Por un lado, la mayoría de trabajos plantean medidas subjetivas de la complejidad de las capacidades (por ejemplo, Wilcox-King y Zeithaml, 2001) y, por otro lado, múltiples estudios (por ejemplo, Kline, 1991; Singh, 1997) reconocen que la mayoría de las medidas absolutas de la complejidad son meramente conceptuales, pero que sus posibilidades para hacerlas operativas son mínimas. Con la intención de superar alguna de estas limitaciones, la medición de la complejidad quedó definida mediante la escala *multitem* propuesta por García-Muiña *et al.*, (2006), donde se contrastó empíricamente la efectiva existencia de una estructura compuesta por las dimensiones endógena y exógena. En dicho trabajo, los autores plantearon los resultados del análisis factorial exploratorio de la complejidad, que permitieron comprobar el cumplimiento satisfactorio de los criterios de fiabilidad y validez del constructo.

A partir de la revisión de diversas propuestas que reconocían la importancia de conocer las distintas formas de acumular el conocimiento (Tripsas, 1997; De Carolis y Deeds, 1999; Yeoh y Roth, 1999; Matusik, 2002; Schroeder *et al.*, 2002; Thomke y Kuemmerle, 2002; Zahra y Nielsen, 2002; Douglas y Ryman, 2003; Knott, 2003; Nicholls-Nixon y Woo, 2003; Zott, 2003), la variable fuentes ha quedado medida a través de un indicador cuantitativo que refleja el modo en que se reparten los gastos en I+D+i de la empresa; es decir, la proporción de gastos en I+D+i aplicados,

FIGURA 5. Variables y medidas: análisis psicométrico.

Variables	Dimensiones	Indicadores	Carácter	Análisis psicométrico
Complejidad	Endógena	Visibilidad conocimiento Dificultad articulación Experiencia acumulada	Cualitativo	Fiabilidad (Alpha de Cronbach) Validez de constructo/concepto (Enfoque convergente)
	Exógena	Número de tecnologías Coordinación entre departamentos Coordinación entre trabajadores Complementariedad conocimientos		
Fuentes de conocimiento	Internas	Distribución del gasto en I+D+i (%)	Cuantitativo	Validez teórica/contenido
	Externas			
Codificación de conocimiento	--	Esfuerzo flujo conocimiento Incentivos transmisión Capacitación y entrenamiento trabajadores Sistemas formales sugerencia empleados	Cualitativo	Fiabilidad (Alpha de Cronbach) Validez de constructo/concepto (Enfoque convergente)

Fuente: elaboración propia

bien al desarrollo de proyectos de investigación propios, bien a fuentes externas.

Al igual que en el caso de la complejidad, la medición de la codificación de conocimiento se ha planteado a través de escalas *multitem* de siete puntos. El proceso de construcción de la escala toma en consideración las principales propuestas de diversos trabajos que abordan su tratamiento (Tripsas, 1997; Zack, 1999; Albino *et al.*, 2001; Balconi, 2002; Crossan y Berdrow, 2003; Spencer, 2003).

A la vista de los resultados del análisis factorial exploratorio puede considerarse el cumplimiento de la unidimensionalidad de la variable *codificación del conocimiento* y, por tanto, el cumplimiento de la validez de constructo o de los rasgos desde un enfoque convergente.

RESULTADOS

Con respecto a la relación entre las fuentes de conocimiento individualmente consideradas y la complejidad de las capacidades tecnológicas $-H_1-$, podemos concluir que los resultados son coherentes con lo esperado. Los datos mostrados en la figura 6 permiten no rechazar la subhipótesis H_{11} , en la que se establecía que cuanto mayor fuera la proporción de fuentes internas, mayor sería el nivel de complejidad endógena de las capacidades tecnológicas. El carácter significativo de Z_{FI} (2,345; con una significación del 5%) indica que las empresas que se sitúan en el grupo 1 –con una elevada complejidad endógena– difieren de las ubicadas en el grupo 2 –con una reducida complejidad endógena– en cuanto al empleo de fuentes internas de conocimiento (15,88 > 9,13).

En coherencia con lo esperado, a medida que aumenta la proporción de fuentes internas, los niveles de complejidad endógena de las capacidades tecnológicas son superiores. Estos resultados apoyan aquella corriente de la literatura que establecía una relación directa entre las fuentes internas de conocimiento y las barreras a la imitación derivadas del conocimiento tácito y específico (Afuah, 2002; Figueiredo, 2002; Miller *et al.*, 2002; Zahra y Nielsen, 2002; Nicholls-Nixon y Woo, 2003).

En cuanto al efecto individual de las fuentes externas de conocimiento, estas se relacionan negativamente tanto con el nivel de complejidad endógena (figura 6; $Z_{FE} = 2,345$; a un nivel de significación del 5% (9,13 < 15,88)) como con la complejidad exógena (figura 7; $Z_{FE} = -1,633$; a un nivel de significación del 10% (8,35 < 12,65)).

Estos datos permiten no rechazar la hipótesis H_{12} , donde se argumentaba que la mayor proporción de fuentes externas

FIGURA 6. Fuentes de conocimiento, codificación y complejidad endógena: resultados del análisis no paramétrico

Rangos				
	Nivel de complejidad endógena	N	Rango promedio	Suma de rangos
FI	(2) Reducido	17	9,13	155,21
	(1) Elevado	17	15,88	269,96
	Total	34		
FE	(2) Reducido	17	15,88	269,96
	(1) Elevado	17	9,13	155,21
	Total	34		
FI*FE	(2) Reducido	17	13,21	224,57
	(1) Elevado	17	11,79	200,43
	Total	34		
COD	(2) Reducido	17	15,08	256,36
	(1) Elevado	17	10,75	182,75
	Total	34		

Estadísticos de contraste (a)

	FI	FE	FI*FE	COD
U de Mann-Whitney	31,500	31,500	63,500	51,000
W de Wilcoxon	155,210	155,210	200,430	182,750
Z_{ij}	2,345**	-2,345**	-0,493	-1,470
Sig. Asintót. (bilateral)	0,019	0,019	0,622	0,141

* p < 0,10; ** p < 0,05; *** p < 0,01

a. Variable de agrupación: Nivel de complejidad endógena

Fuente: elaboración propia.

reducía el nivel de la complejidad total de las capacidades tecnológicas, puesto que las fuentes externas dan lugar a capacidades poco o nada complejas en ambas dimensiones. Los resultados obtenidos pueden justificar que apenas existan estudios que otorguen potencial estratégico a las fuentes externas, ya que las capacidades así desarrolladas son muy vulnerables frente a la imitación, tal y como lo defiende Figueiredo (2002).

Para el caso de la segunda subhipótesis, H_{12} , y en contra de lo esperado, los resultados del análisis no muestran que el empleo conjunto de fuentes internas y externas de conocimiento se relacione directamente con el nivel de complejidad exógena de las capacidades, como consecuencia de la falta de significatividad del estadístico Z_{FI*FE} (-0,532). A la vista de estos resultados no se puede explicar, al menos a través de la complejidad, por qué el empleo conjunto de fuentes internas y externas resulta útil para crear capacidades inmunes a la imitación y sustitución, tal y como concluyen empíricamente diversos trabajos (Tripsas, 1997; Yeoh y Roth, 1999; Figueiredo, 2002; Schroeder *et al.*, 2002; Thomke y Kuemmerle, 2002; Knott, 2003).

La razón de ello podría ser la naturaleza no lineal de la relación entre el empleo conjunto de ambos tipos de fuente y la dimensión exógena de la complejidad, a la que la técnica estadística se muestra insensible. La relación directa empíricamente contrastada entre las fuentes internas y el nivel de complejidad exógena (figura 7; $Z_{FI} = 1,633$; $12,65 > 8,35$) reconoce la necesidad de disponer siempre de conocimientos internos exclusivos que permitan mejorar los niveles de eficiencia de aquellos desarrollados por agentes externos. En cambio, la casi exclusiva presencia de conocimientos externos es responsable de la construcción de capacidades tecnológicas poco complejas en ambas dimensiones y, por tanto, vulnerables a la competencia, tal y como se apuntó en la hipótesis H_{13} . Puede ser que a partir de un nivel de uso de fuentes externas, su efecto sobre la complejidad cambie de sentido, y pase de afectar positivamente al componente exógeno a la construcción de tecnologías transparentes.

FIGURA 7. Fuentes de conocimiento, codificación y complejidad exógena: resultados del análisis no paramétrico.

Rangos				
	Nivel de complejidad exógena	N	Rango promedio	Suma de rangos
FI	(2) Reducido	17	8,35	141,95
	(1) Elevado	17	12,65	215,05
	Total	34		
FE	(2) Reducido	17	12,65	215,05
	(1) Elevado	17	8,35	141,95
	Total	34		
FI*FE	(2) Reducido	17	11,20	190,40
	(1) Elevado	17	9,80	166,60
	Total	34		
COD	(2) Reducido	17	7,05	119,85
	(1) Elevado	17	13,95	237,15
	Total	34		

Estadísticos de contraste (a)

	FI	FE	FI*FE	COD
U de Mann-Whitney	28,500	28,500	43,000	15,500
W de Wilcoxon	141,950	141,950	166,600	119,850
Zij	1,633*	-1,633*	-0,532	2,614***
Sig. asintót. (bilateral)	0,100	0,100	0,594	0,009

* p < 0,10; ** p < 0,05; *** p < 0,01

a. Variable de agrupación: Nivel de complejidad exógena

Fuente: elaboración propia.

Con todos estos resultados, y a pesar del carácter restringido de la muestra analizada, se encontró la suficiente evidencia empírica como para contrastar de forma favorable la hipótesis genérica H_1 , puesto que la proporción entre fuentes internas y externas de conocimiento se relaciona

significativamente con la composición cualitativa de la complejidad de las capacidades, si bien son necesarios más estudios que aborden el análisis de relaciones no lineales entre las variables.

Por tanto, para que exista complejidad, siempre es necesario disponer de una determinada proporción de conocimiento específico desarrollado a través de medios propios. Todos estos argumentos descansan en la propuesta conceptual que se planteó de la complejidad exógena, y que quizá justifique la poca relevancia que tradicionalmente se ha otorgado a las fuentes externas de conocimiento a la hora de construir capacidades tecnológicas estratégicas (Lei *et al.*, 1996; Matusik, 2002). De estos resultados se deduce la existencia de esa posible raíz común en torno al conocimiento tácito que, según se ha argumentado, presentaban ambas dimensiones de la complejidad.

La hipótesis H_2 plantea que, en un contexto de capacidades complejas, existe una relación significativa entre las prácticas de codificación y los niveles de complejidad de las capacidades. Los resultados mostrados en las figuras 6 y 7 nos permiten afirmar que no se debe rechazar la hipótesis.

Respecto a la primera subhipótesis $-H_{21}$, un mayor empleo de prácticas de codificación se relaciona con una menor importancia del componente endógeno de la complejidad de las capacidades tecnológicas (figura 6; $15,08 > 10,75$), aunque solo con una significación del 14% Z_{COD} (-1,470). Esta falta de significación suficiente podría venir explicada por el carácter selectivo del conocimiento transformado. Las empresas analizadas parecen haber codificado solamente ciertos conocimientos que, en todo caso, mejoran la percepción que de la tecnología tienen terceros agentes, pero que no son los realmente necesarios para comprender su funcionamiento efectivo y poder imitarla.

Por último, y con una significación del 1%, un mayor empleo de prácticas de codificación se relaciona con una mayor importancia del componente exógeno de la complejidad $-H_{22}$ (figura 7; $13,95 > 7,05$). El p -valor del estadístico Z_{COD} (2,614) reconoce una gran intensidad en la relación entre ambos fenómenos.

Estos resultados proporcionan argumentos suficientes para explicar por qué la codificación parcial de conocimiento, a través de su efecto sobre la composición cualitativa de la complejidad, resulta ser una decisión adecuada para mejorar la sostenibilidad de las ventajas competitivas, al aumentar las barreras a la sustitución y mantener las barreras a la imitación (Tripsas, 1997; Wilcox-King y Zeithaml, 2001; Balconi, 2002; Zahra y Nielsen, 2002; Spencer, 2003).

Como conclusión a estos resultados, el empleo de fuentes internas de conocimiento y su posterior codificación parcial es el proceso determinante para crear ventajas competitivas sostenibles de base tecnológica, al ser responsable de la construcción de capacidades cuya estructura de complejidad (proporción entre complejidad endógena y exógena) permite crear barreras a la imitación y sustitución simultáneamente.

CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

El sector de la biotecnología en España carece todavía de modelos de negocio que se puedan considerar como referencia clara de éxito. Por ello en este trabajo tratamos de abordar el estudio del papel de ciertas decisiones de gestión de conocimiento, muy relevantes en sectores intensivos en innovación y conocimiento, como es el caso del biotecnológico. Con el estudio empírico propuesto, además, se ofrece nueva evidencia que permite comprender cómo y por qué una buena gestión del capital intangible de las empresas mejora sus resultados.

En la literatura se han encontrado trabajos que muestran resultados contradictorios en cuanto a las decisiones de gestión de conocimiento y su relación con el sostenimiento de las ventajas competitivas. Para intentar arrojar luz a esta cuestión, se ha utilizado el concepto de complejidad de las capacidades como variable explicativa del sentido e intensidad de las relaciones entre las fuentes y las prácticas de codificación y el sostenimiento de las ventajas competitivas a través de las barreras a la imitación y la sustitución.

La descripción propuesta de la complejidad, al distinguir entre las dimensiones endógena (conocimiento tácito) y exógena (proporción de conocimiento tácito y explícito), ha permitido avanzar en el estudio de esta controvertida relación, apoyando el sentido de las relaciones de ciertos trabajos anteriores.

A pesar del carácter restringido de la muestra analizada, los resultados de este estudio son coherentes con los de distintas investigaciones empíricas previas, que reconocieron el mayor potencial estratégico de las fuentes internas a la hora de crear y sostener ventajas competitivas. Este mayor valor se justifica puesto que el empleo de fuentes internas de conocimiento aumenta el nivel de complejidad total y permite que el componente exógeno tenga un peso significativo, creándose barreras a la imitación y a la sustitución de las capacidades simultáneamente.

En cambio, los resultados muestran que la mayor proporción de fuentes externas desemboca en la construcción de

capacidades tecnológicas transparentes, al afectar de forma negativa tanto los niveles de complejidad endógena como exógena. Este hecho explicaría la razón por la que numerosos estudios no reconocen potencial alguno a las fuentes externas en la obtención de ventajas competitivas sostenibles. Los resultados tampoco permiten confirmar si realmente las fuentes externas, empleadas junto a las internas, promueven el desarrollo de innovaciones tecnológicas distintivas. Por ello serán necesarios más estudios que aborden estas relaciones desde diferentes puntos de vista (relaciones no lineales, relaciones de dependencia, etc.).

En cuanto a la decisión de codificar parcialmente el conocimiento, los resultados apuntan a que, en el contexto de capacidades complejas, esta práctica resulta adecuada para aumentar las barreras a la sustitución, como consecuencia de su relación directa con los niveles de complejidad exógena. Por ello la codificación es apropiada, tal y como mostraron ciertos trabajos que relacionaron directamente tal práctica con el sostenimiento de las ventajas competitivas, y en contra de aquellos estudios que consideraron que mediante esta práctica las empresas se *fossilizaban* y perdían su habilidad para desarrollar innovaciones tecnológicas.

Como consecuencia de los efectos positivos de la complejidad exógena de las capacidades, los directivos de empresas posicionadas en sectores intensivos en tecnología, en concreto en el sector biotecnológico, deben centrar sus esfuerzos en la construcción y explotación económica de tecnologías complejas –pero aparentemente simples frente a terceros agentes–, a partir de desarrollos internos y la posterior codificación selectiva del conocimiento acumulado, siempre que su prioridad estratégica sea el desarrollo de innovaciones distintivas responsables de la creación de ventajas competitivas. En cambio, estos resultados no se podrán generalizar para aquellas organizaciones cuya orientación estratégica se centre en la creación de innovaciones incrementales de rápida obsolescencia tecnológica y de mercado. Esta consideración exige un estudio complementario que tome como referencia para la definición del sostenimiento de las ventajas competitivas el desarrollo constante de innovaciones, en lugar de las barreras a la imitación/sustitución.

Las principales limitaciones del estudio giran en torno al diseño de la muestra; en concreto, al reducido número de observaciones y a la necesidad de seguir avanzando en la definición de otras medidas adecuadas a entornos de alta intensidad tecnológica. De ahí que una futura línea de investigación se sitúe en la ampliación de la población a otros segmentos de la biotecnología, e incluso a otros sectores, con la intención de comprobar si los resultados son generalizables a otras tecnologías y realidades económicas.

Otra limitación adicional se relaciona con el tratamiento de las fuentes externas, ya que estas no incluyen los acuerdos de cooperación ni las redes de conocimiento, fenómenos habituales en el sector de la biotecnología (Chen, 2006; Pla-Barber y Alegre, 2007). Si bien estos acuerdos pueden ser definidos como un tipo de fuente externa, la naturaleza del conocimiento desarrollado en estos procesos estaría, en numerosas ocasiones, más próxima a las de las fuentes internas. Ello, junto con la problemática específica de los factores clave de éxito de los acuerdos de colaboración, justifica su no inclusión en este estudio y la posibilidad de un análisis futuro en nuevas investigaciones.

Dado su carácter exploratorio, este trabajo debe considerarse como un primer paso para comprender el papel de la complejidad como una variable explicativa del sentido de las relaciones entre determinadas decisiones de gestión de conocimiento y la obtención de ventajas competitivas sostenibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afuah, A. (2002). Mapping technological capabilities into product markets and competitive advantage: The case of cholesterol drugs. *Strategic Management Journal*, 23, 171-179.
- Albino, V., Garavelli, A. C. & Schiuma, G. (2001). A metric for measuring knowledge codification in organisational learning. *Technovation*, 21, 413-422.
- Alegre, J., Chiva, R. & Lapiedra, R. (2006). La innovación de productos en el sector cerámico: un análisis de las empresas más innovadoras y menos innovadoras. *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, 15(4), 55-68.
- Anderson, P. W., Arrow, K. J. & Pines, D. (1988). *The economy as a complex evolving system*. Redwood City: Addison-Wesley.
- Arora, A., Fosfuri, A. & Gambardella, A. (2001). Market for technology and their implications for corporate strategy. *Industrial and Corporate Change*, 10, 419-451.
- Balconi, M. (2002). Tacitness, codification of technological knowledge, and the organisation of industry. *Research Policy*, 31, 357-379.
- Baker, A. (2003). Biotechnology's growth-innovation paradox and the new model for success. *Journal of Commercial Biotechnology*, 9, 286-288.
- Barney, J. B. (1991). Firms resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17, 99-120.
- Beer, J. J. (1959). *The emergence of the German dye industry*. Urbana: University of Illinois Press.
- Black, J. A. & Boal, K. B. (1994). Strategic resources: Traits, configurations and paths to sustainable competitive advantage. *Strategic Management Journal*, 15, 131-148.
- Chandler, A. D. Jr. (1990). *Scale and scope: the dynamics of industrial capitalism*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Chen, Z. (Dec., 2006). Organizational innovation and learning in the biotechnological industry. *International Journal of Business and Management*, 29-38.
- Cohen, W. M. & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35, 128-152.
- Cohendet, P. & Steinmueller, W. E. (2000). The codification of knowledge: a conceptual and empirical exploration. *Industrial and Corporate Change*, 9, 195-209.
- Conner, K. R. & Prahalad, C. K. (1996). A Resource-Based Theory of the firm: Knowledge versus opportunism. *Organization Science*, 7, 477-501.
- Coombs, R. & Hull, R. (1998). Knowledge management practices and path-dependency in innovation. *Research Policy*, 27, 237-253.
- Cowan, R. & Foray, D. (1997). The economics of codification and the diffusion of knowledge. *Industrial and Corporate Change*, 6, 595-622.
- Crossan, M. M. & Berdrow, I. (2003). Organizational learning and strategic renewal. *Strategic Management Journal*, 24, 1087-1105.
- De Carolis, D. M. (2003). Competences and imitability in the pharmaceutical industry: An analysis of their relationship with firm performance. *Journal of Management*, 29, 27-50.
- De Carolis, D. M. & Deeds, D. L. (1999). The impact of stocks and flows of organizational knowledge on firm performance: An empirical investigation on biotechnology industry. *Strategic Management Journal*, 20, 953-968.
- Denrell, J., Fang, C. & Winter, S. G. (2003). The economics of strategic opportunity. *Strategic Management Journal*, 24, 977-990.
- Douglas, T. J., Ryman, J. A. (2003). Understanding competitive advantage in the general hospital industry: Evaluating strategic competencies. *Strategic Management Journal*, 24, 333-347.
- Figueiredo, P. N. (2002). Does technological learning pay off? Inter-firm differences in technological capability-accumulation paths and operational performance improvement. *Research Policy*, 31, 73-94.
- Fosfuri, A. & Roca Batllori, E. (2002). Naturaleza y características del conocimiento tecnológico y limitaciones a la transferencia de tecnología. *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, 11(3), 139-152.
- García-Muiña, F. E., Martín de Castro, G., López Sáez, P. & Navas López, J. E. (2006). The complexity in technological capabilities: evidence from Spanish biotechnological firms. *International Journal of Technology Management*, 35, 224-240.
- García-Muiña, F. E. & Navas López, J. E. (2007). Las capacidades tecnológicas y los resultados empresariales. Un estudio empírico en el sector biotecnológico español. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 32, 169-202.
- García-Muiña, F. E., Pelechano Barahona, E. & Navas López, J. E. (2008). La complejidad del conocimiento y el sostenimiento de las ventajas competitivas. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 37, 7-32.
- García-Muiña, F. E., Pelechano Barahona, E. & Navas López, J. E. (2009). Knowledge codification and technological innovation success: empirical evidence from Spanish biotech companies. *Technological Forecasting and Social Change*, 76, 141-153.
- González Álvarez, N. & Nieto Antolín, M. (2005). Efectos de la ambigüedad causal sobre los resultados empresariales: Un análisis en las mayores empresas manufactureras españolas. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 25, 83-102.
- Grant, R. M. (Spring, 1991). The resource-based theory of competitive advantage: implications for strategy formulation. *California Management Review*, 34, 114-135.
- Grant, R. M. (1996). Toward a knowledge-based theory of the firm. *Strategic Management Journal*, 17, 109-122.
- Gurau, C. & Ranchhod, A. (2007). The internationalisation of Biotech SMEs: A comparative Analysis of UK and US Firms. *Advances in International Marketing*, 17, 137-157.

- Henderson, R. M. & Cockburn, I. (1994). Measuring competence? Exploring firm effects in pharmaceutical Research. *Strategic Management Journal*, 15, 63-84.
- Holland, J. H. & Miller, J. H. (1991). Artificial adaptive agents in economic theory. *American Economic Review*, 81, 365-370.
- Hoskisson, R., Hitt, M. A., Wan, W. P. & Yiu, D. (1999). Theory and research in strategic management: Swings of a pendulum. *Journal of Management*, 25, 417-456.
- Huberman, B. A. & Hogg, T. (1986). Complexity and adaptation. *Physica*, 22 (D), 376-384.
- Jiménez Jiménez, D. & Sanz Valle, R. (2006). Innovación, aprendizaje organizativo y resultados empresariales. Un estudio empírico. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 29, 31-56.
- Kline, S. J. (1991). A numerical index for the complexity of systems: The concept and some implications. En: Proceedings de la Conferencia de Dirección de la Complejidad y Modelización de la Realidad. New York: ACM Press,.
- Knott, A. M. (2003). The organizational routines factor market paradox. *Strategic Management Journal*, 24, 929-943.
- Lane, P. J. & Lubatkin, M. (1998). Relative absorptive capacity and inter-organizational learning. *Strategic Management Journal*, 19, 461-477.
- Lazaric, N., Mangolte, P. A. & Massué, M. L. (2003). Articulation and codification of collective know-how in the steel industry: Evidence from blast furnace control in France. *Research Policy*, 32, 1829-1847.
- Lei, D., Hitt, M. A. & Bettis, R. (1996). Dynamic Core competences through meta-learning and strategic context. *Journal of Management*, 22, 549-569.
- Lenox, M. & King, A. (2004). Prospects for developing absorptive capacity through internal information provision. *Strategic Management Journal*, 25, 331-345.
- Leonard-Barton, D. (1992). Core capabilities and core rigidities: A paradox in managing new product development. *Strategic Management Journal*, 13, 111-125.
- Makodok, R. (2003). Doing the right thing and knowing the right thing to do: why the whole is greater than the sum of parts. *Strategic Management Journal*, 24, 1043-1055.
- Mangematin, V., Lemarié, S., Boissin, J. P., Catherine, D., Corrolleur, F., Coronini, R. & Trommetter, M. (2003). Development of SMEs and heterogeneity of trajectories: The case of biotechnology firms in France. *Research Policy*, 32, 621-638.
- March, J. G. (1991). Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization Science*, 2, 95-112.
- Maritan, C. A. & Brush, T. H. (2003). Heterogeneity and transferring practices: implementing flow manufacturing in multiple plants. *Strategic Management Journal*, 24, 945-959.
- Markman, G. D., Espina, M. I. & Phan, P. H. (2004). Patents as surrogates for inimitable and non-substitutable resources. *Journal of Management*, 30, 529-544.
- Matusik, S. F. (2002). An empirical investigation of firm public and private knowledge. *Strategic Management Journal*, 23, 457-467.
- Mcevily, S. K. & Chakravarthy, B. (2002). The persistence of knowledge-based advantage: An empirical test for product performance and technological knowledge. *Strategic Management Journal*, 23, 285-305.
- McEvily, S. K., Das, S. & McAbe, K. (2000). Avoiding competence substitution through knowledge sharing. *Academy of Management Review*, 25, 294-311.
- Miller, D., Eisenstat, R. & Foote, N. (2002). Strategy from the inside out: Building capabilities-creating organizations. *California Management Review*, 44, 37-54.
- Mowery, D. C., Oxley, J. E. & Silverman, B. S. (1996). Strategic alliances and interfirm knowledge transfer. *Strategic Management Journal*, 17, 77-92 (número especial de invierno).
- Nicholls-Nixon, C. L. & Woo, C. Y. (2003). Technology sourcing and output of established firms in a regime of encompassing technological change. *Strategic Management Journal*, 24, 651-666.
- Nieto Antolín, M. (2005). Proposiciones básicas para el estudio de la innovación tecnológica en la empresa. *II Jornada sobre Gestión de la Innovación Tecnológica en la Empresa*, Universidad Complutense de Madrid.
- Nonaka, I. (Nov.-Dec., 1991). The knowledge creating company. *Harvard Business Review*, 69, 96-104.
- Nonaka, I. & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company*. Oxford: Oxford University Press.
- Pérez López, S., Montes Peón, J. M. & Vázquez Ordás, C. J. (2005). Medición del aprendizaje organizativo: propuesta de una escala multidimensional. *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, 14(2), 159-176.
- Peteraf, M. A. (1993). The cornerstones of competitive advantage: A resource-based view. *Strategic Management Journal*, 14, 179-191.
- Pla-Barber, J. & Alegre, J. (2007). Analysing the link between export, innovation and size in a Science based industry. *International Business Review*, 16, 275-293.
- Powell, W. (1998). Learning from collaboration: knowledge and networks in the Biotechnology and Pharmaceutical industries. *California Management Review*, 40, 228-240.
- Powell, W. W., Koput, K. W. & Smith-Doerr, L (1996). Interorganizational collaboration and the locus of innovation: Networks of learning in biotechnology. *Administrative Science Quarterly*, 41, 116-146.
- Reed, R. & DeFillipi, R. (1990). Causal ambiguity, barriers to imitation, and sustainable competitive advantage. *Academy of Management Review*, 15, 88-102.
- Robins, J. A. (1992). Organizational considerations in the evaluation of capital assets: Toward a Resource-Based View of strategic investment by firms. *Organizational Science*, 3, 522-536.
- Rothaermel, F. T. & Deeds, D. L. (2004). Exploration and exploitation alliances in biotechnology: a system of new product development. *Strategic Management Journal*, 25, 201-221.
- Ruefli, T. W. & Wiggins, R. R. (2000). Longitudinal performance stratification: An iterative Kolmogorov-Smirnov approach. *Management Science*, 46, 685-692.
- Ruiz-Maya Pérez L. & Martín Pliego, F. J. (1995). *Estadística II: Inferencia*. Madrid: Ed. AC.
- Schroeder, R. G., Bates, K. A. & Junntila, M. A. (2002). A Resource-Based View of manufacturing strategy and the relationship to manufacturing performance. *Strategic Management Journal*, 23, 105-117.
- Siegel, S. & Castellan, N. (1988). *Non parametric statistics for the behavioral sciences*. New York: McGraw-Hill.
- Simon, H. A. (1962). The architecture of complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106, 467-482.
- Singh, K. (1997). The impact of technological complexity and interfirm cooperation on business survival. *Academy of Management Journal*, 40, 339-367.
- Spencer, J. W. (2003). Firms' knowledge sharing strategies in the global innovation system: Empirical evidence from the flat panel display. *Strategic Management Journal*, 24, 217-233.

- Styhre, A. (2004). Rethinking knowledge: A Bergsonian critique of the notion of tacit knowledge. *British Journal of Management*, 14, 177-188.
- Subramanian, M. & Youndt, M. A. (2005). The influence of intellectual capital on the types of innovative capabilities. *Academy of Management Journal*, 48, 450-463.
- Teece, D. J. (1986). Transactions cost economics and the multinational enterprise. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 7, 21-45.
- Teece, D. J., Pisano, G. & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18, 509-533.
- Teng, B. & Cummings, J. L. (2002). Trade-offs in managing resources and capabilities. *Academy of Management Executive*, 16, 81-91.
- Thomke, S. & Kuemmerle, W. (2002). Asset accumulation, interdependence and technological change: evidence from pharmaceutical drug discovery. *Strategic Management Journal*, 23, 619-635.
- Tripsas, M. (1997). Unraveling the process of creative destruction: Complementary assets and incumbent survival in the typesetter industry. *Strategic Management Journal*, 18, 119-142 (número especial de verano).
- Von Hippel, E. (1988). *The sources of innovation*. New York: Oxford University Press.
- Wernerfelt, B. (1984). A Resource-Based View of the firm. *Strategic Management Journal*, 5, 171-180.
- Wilcox-King, A. & Zeithaml, C. P. (2001). Competences and firm performance: Examining the causal ambiguity paradox. *Strategic Management Journal*, 22, 75-99.
- Winter, S. G. (1987). Knowledge and competence as strategic assets. En: Teece, D. (Ed.), *The Competitive Challenge – Strategies for Industrial Innovation and Renewal*, (pp.159-183). Cambridge: Ballinger.
- Wonglimpiyarat, J. (2005). Does complexity affect speed of innovation? *Technovation*, 25, 865-882.
- Yeoh, P. & Roth, K. (1999). An empirical analysis of sustained advantage in the U.S. pharmaceutical industry: Impact of firms resources and capabilities. *Strategic Management Journal*, 20, 637-653.
- Yli-Renko, H., Autio, E. & Sapienza, H. J. (2001). Social capital, knowledge acquisition, and knowledge exploitation in young technology-based firms. *Strategic Management Journal*, 22, 587-613.
- Zack, M. H. (Summer, 1999). Managing codified knowledge. *Sloan Management Review*, 40(4), 45-58.
- Zahra, S. A. & George, G. (2002). Absorptive capacity: A review reconceptualization, and extension. *Academy of Management Review*, 27, 185-203.
- Zahra; S. A. & Nielsen, A. P. (2002). Sources of capabilities, integration and technology commercialization. *Strategic Management Journal*, 23, 377-398.
- Zander, U. & Kogut, B. (1995). Knowledge and the speed of transfer and imitation of organizational capabilities: An empirical test. *Organization Science*, 6(1), 76-92.
- Zollo, M. & Winter, S. (2002). Deliberate learning and evolution of dynamic capabilities. *Organization Science*, 13, 339-351.
- Zott, C. (2003). Dynamic capabilities and the emergence of intra-industry differential firm performance: insights from a simulation study. *Strategic Management Journal*, 24, 97-125.