

Modelo conceptual y aplicativo informático para la evaluación de capacidades de innovación tecnológica en PYMES del sector eléctrico colombiano¹

Jorge Robledo Velásquez - Universidad Nacional de Colombia

Juan David Pérez - CIDET

José Javier Aguilar Zambrano - Universidad Nacional de Colombia

Resumen

Desde la visión basada en los recursos, las capacidades de innovación vienen siendo objeto de creciente interés por su efecto sobre la competitividad empresarial. Una preocupación central en esta perspectiva tiene que ver con la medición y evaluación de dichas capacidades en función del impacto de la innovación en el desempeño de la organización. En este sentido, el presente trabajo propone un modelo conceptual y metodológico para la medición y evaluación de las capacidades de innovación aplicable a PYMES del Sector Eléctrico Colombiano, así como un aplicativo web para su implementación. La novedad del modelo propuesto se centra en la búsqueda de congruencia entre la estrategia de innovación, los recursos, las capacidades, los procesos organizacionales y el desempeño de la empresa. Sobre este modelo conceptual y metodológico, el trabajo presenta una propuesta de aplicativo web para la recolección, sistematización y procesamiento de la información relacionada con la medición y evaluación de las capacidades de innovación tecnológica, calibrado para las características de las PYMES del Sector Eléctrico Colombiano. El trabajo confirma la viabilidad técnica de la aproximación propuesta para la gestión de la innovación de estas empresas y abre un amplio espectro de posibilidades de aplicación práctica a corto plazo.

Palabras clave: Capacidades de innovación tecnológica, evaluación, modelo conceptual, aplicativo informático, PYMES, sector eléctrico, Colombia.

Introducción

La competitividad empresarial es un fenómeno multifactorial de dinámica compleja. Desde la perspectiva de los recursos (*Resource-Based View of the Firm*, ver Wernerfelt, B. 1984; Grant, 1991; Barney, 1991; Amit & Shoemaker, 1993; Teece, Pisano, & Shuen, 1997), se entiende que el desempeño de las organizaciones depende críticamente de los activos acumulados por la organización para dar respuesta estratégica a los desafíos del mercado, el rápido cambio tecnológico y las exigencias de sus grupos de interés (*stakeholders*). Estos activos, contruidos sobre recursos que la empresa transforma en capacidades organizacionales, son hoy objeto de amplio análisis desde la perspectiva de la política y la gestión tecnológica. En

¹ Este trabajo desarrolla propuestas previas presentadas en Robledo et al. (2010) y Aguirre & Robledo (2010), que son integradas y presentadas preliminarmente en Robledo, Aguilar, & Pérez (2011).

particular, la atención de los analistas se centra con frecuencia en las denominadas “capacidades de innovación tecnológica” (CIT), dada la alta incidencia que sobre la competitividad empresarial tienen estas capacidades para implementar exitosamente nuevos productos y procesos, o mejorar significativamente los existentes.

En esta dirección, una preocupación central de teóricos y practicantes de la gestión tecnológica es el tipo y nivel de las capacidades de innovación tecnológica que se requieren para soportar sistemas exitosos de gestión de I+D+i. No obstante, el concepto mismo de capacidad de innovación y, principalmente, su medición y evaluación, son temas que todavía están en discusión. En este sentido, los modelos de gestión empresarial basados en la medición y evaluación de capacidades de innovación son novedosos y presentan grandes retos de implementación. Especialmente para las PYMES latinoamericanas, estos retos son aún mayores si se tiene en cuenta la insipiente e informalidad de sus procesos de gestión de la innovación. A ello se agrega que la funcionalidad de los modelos metodológicos para la gestión de la innovación exige la recolección de una cantidad considerable de datos, su sistematización y procesamiento mediante técnicas informáticas avanzadas, lo cual crea barreras adicionales de implementación.

Esta brecha de conocimiento y de propuestas metodológicas e instrumentales adecuadas para las PYMES debe ser cerrada para avanzar de forma segura en la construcción de *clusters* empresariales competitivos que, como en el caso colombiano, surgen en un país en desarrollo que exhibe un atraso tecnológico significativo frente a los países líderes.

El presente trabajo busca contribuir a este propósito mediante el desarrollo de una metodología de evaluación de capacidades de innovación tecnológica, bajo la consideración de que una adecuada evaluación de capacidades es una condición *sine qua non* para construir un sistema organizacional robusto de Gestión de I+D+i. En la próxima sección se hace una introducción a los conceptos de capacidad, centrales en la propuesta. Luego se presenta el marco analítico elaborado para sustentar el desarrollo metodológico, para finalmente hacer una referencia a los requerimientos del instrumento necesario para implementar la metodología. El trabajo termina con las conclusiones y una propuesta de trabajo futuro.

Capacidades Organizacionales, Capacidades Dinámicas y Capacidades de Innovación Tecnológica

La noción central del presente trabajo es la de “capacidad” en el contexto de las organizaciones y la innovación, por lo cual es fundamental una cuidadosa aproximación a las clasificaciones y definiciones que propone la literatura especializada en el tema. El primer concepto que se destaca en este sentido es el de capacidades organizacionales. Estas capacidades se refieren a “la habilidad o aptitud de la organización para llevar a cabo sus actividades productivas de una manera eficiente y efectiva a través del despliegue, la combinación y la coordinación de recursos y competencias por medio de varios procesos de creación de valor, según los objetivos previamente definidos, es decir, asumiendo que el resultado es consistente con la intención original o todo cambio en esa intención” (Renard & Saint-Amant, 2003, p. 8, traducción de los autores).

Por su puesto, algunas de esas capacidades deben estar orientadas a dar respuesta a los retos que un mundo cambiante impone a la organización. Aparece entonces el concepto de capacidad dinámica, referida a “*the firm’s ability to integrate, build, and reconfigure internal*

and external competences to address rapidly changing environments. Dynamic capabilities thus reflect an organization's ability to achieve new and innovative forms of competitive advantage given path dependencies and market positions" (Teece, Pisano, & Shuen, 1997, p.516). De una manera similar, Eisenhardt & Martin (2000) sugieren que "*Dynamic capabilities [...] are the organizational and strategic routines by which firms achieve new resource configuration as markets emerge, collide, split, evolve and die*" (p. 1107).

Por su parte, Adler, Goldoftas, & Levine (1999) definen las capacidades dinámicas como las meta-rutinas que logran transformar las rutinas existentes y, por tanto, sistematizan el proceso creativo. El carácter de las rutinas hace que las organizaciones puedan capitalizar el aprendizaje, haciendo el proceso de cambio e innovación más efectivo y menos costoso en el tiempo (Zahra & Nielsen, 2002). Las capacidades dinámicas pueden, por tanto, dar lugar a organizaciones más eficientes en el proceso de transformación de sus rutinas, lo que puede constituir una importante fuente de ventajas competitivas (Baden-Fuller & Volberda, 1997).

En este orden de ideas, el desarrollo de capacidades dinámicas posibilita a la organización innovadora formular e implementar exitosamente estrategias orientadas a la innovación, buscando construir ventajas competitivas duraderas. Esto le permite a la organización, si no necesariamente disponer de fórmulas seguras para garantizar el éxito, sí responder ante los retos del mercado con mayor acierto y flexibilidad.

Un conjunto especial de capacidades organizacionales son las denominadas capacidades de innovación tecnológica. Su definición rigurosa es problemática, debido a la multiplicidad de perspectivas teóricas y conceptuales desde las cuales se las aborda, según revela un recuento de las propuestas encontradas en la literatura especializada. Para Burgelman & Maidique (1988), por ejemplo, las capacidades de innovación tecnológica son "*the comprehensive set of characteristics of an organization that facilitate and support its innovation strategies*" (p. 36, citado por Nystrom, 2001, p. 344). Propuestas alternativas de definición se encuentran en Kim (1997), Ernst, Ganiatsos & Mytelka (1998), Burgelman, Maidique, & Wheelwright (2004), Guan & Ma (2003), Yam et al. (2004), Sher & Yang (2005) y Wang, Lu, & Chen (2009). No obstante, en lo fundamental, es claro que las capacidades de innovación tecnológica están constituidas por un conjunto particular de capacidades organizacionales y dinámicas que contribuyen críticamente al logro de los objetivos de innovación tecnológica.

El Modelo Conceptual Propuesto

El presente trabajo propone un modelo conceptual para medir y evaluar las capacidades de innovación tecnológica que integra dos propuestas conceptuales para evaluar las organizaciones: la propuesta de Nadler & Tushman (1997) y los trabajos de Guan & Ma (2003), Yam et al. (2004) y Wang, Lu, & Chen (2009). A continuación se presentan ambas propuestas y el modelo integrado.

El Modelo de Congruencia de Nadler & Tushman (1997)

El modelo de evaluación de capacidades de innovación parte de la propuesta de Nadler & Tushman (1997), que ha sido utilizada con éxito para el diagnóstico organizacional, ajustada según la versión de Michigan Engineering (2005) (ver Figura 1). El modelo de Nadler & Tushman es una aplicación de la Teoría Contingente de la organización, que adquiere la forma de un sistema abierto, integrado por múltiples componentes que coexisten en varios estados de

congruencia; la hipótesis básica del modelo es que entre más alto sea el nivel de congruencia de sus distintos componentes, más eficaz será la organización.

Como componentes del modelo de congruencia sistémica de la organización se identifican las entradas, la estrategia, los procesos de transformación y las salidas.

Las ENTRADAS a la organización incluyen:

- Las demandas, oportunidades y restricciones del entorno en que se desenvuelve la organización.
- Los recursos o gama completa de activos a los que tiene acceso la organización.
- La historia de la organización, conformada por las decisiones estratégicas, la conducta de los líderes más importantes, las respuestas a las crisis pasadas y la evolución de sus valores y creencias.

La ESTRATEGIA o conjunto de decisiones organizacionales acerca de cómo asignar los escasos recursos frente a las exigencias, restricciones y oportunidades ofrecidas por el entorno.

Los PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN, constituidos por los sistemas técnicos (tecnología), los recursos humanos (personas), la organización formal y la organización informal.

Las SALIDAS de la organización y su desempeño desde la perspectiva tanto de los grupos de interés como de sus integrantes o participantes.

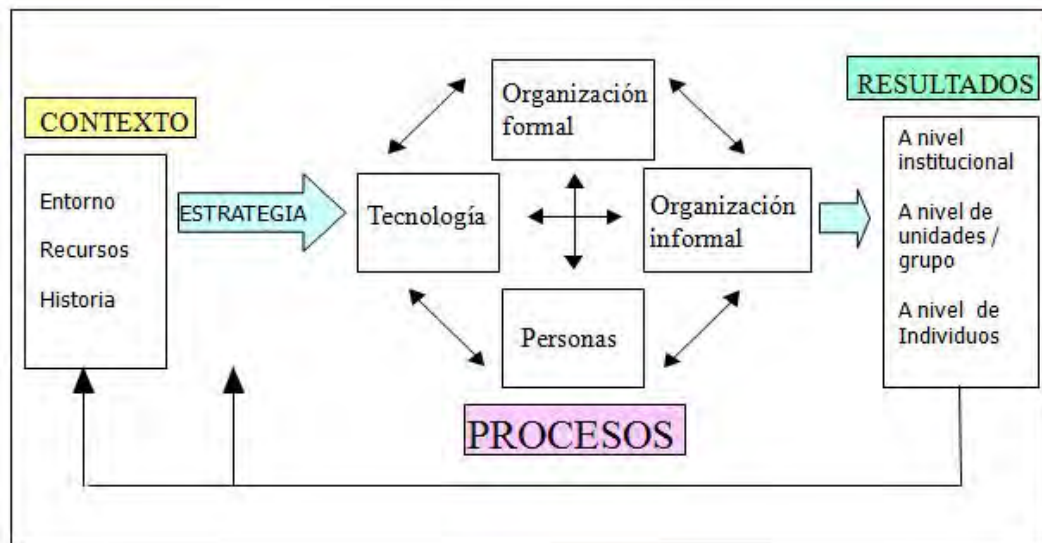


Figura 1. Modelo de Congruencia Sistémica de la Organización.

Fuente: Adaptado de Nadler & Tushman (1997) y Michigan Engineering (2005)

Las Propuestas de Guan & Ma (2003), Yam et al. (2004) y Wang, Lu, & Chen (2009)

Las capacidades de innovación tecnológica son un concepto complejo, elusivo y con mucha incertidumbre, que es difícil de determinar y cuya medición requiere considerar simultáneamente múltiples criterios de orden cuantitativo y cualitativo aplicados a la

organización (Wang, Lu, & Chen, 2009). Sin embargo, a pesar de la complejidad del concepto, la medición y evaluación de las capacidades de innovación tecnológica se hace imprescindible. Buscando un marco analítico que sirva de base a este propósito, varios autores proponen clasificaciones que buscan facilitar su identificación, medición y evaluación. Entre ellos, se destacan las propuestas de Guan & Ma (2003), Yam et al. (2004) y Wang, Lu, & Chen (2009).

Estos autores exploran clasificaciones y definiciones similares para medir y evaluar las capacidades de innovación tecnológica en diferentes sectores empresariales. Guan & Ma (2003) analizan el papel de siete capacidades específicas de innovación tecnológica y tres variables empresariales (participación en el mercado doméstico, tamaño y rata de crecimiento de la productividad) en la determinación del desempeño exportador de una muestra de empresas industriales chinas. Yam et al. (2004) proponen un marco analítico para auditar la innovación tecnológica y examinar la relevancia de siete capacidades específicas de innovación tecnológica en la construcción y sostenibilidad del desempeño competitivo de la industria de Beijing (China). Por su parte, Wang, Lu, & Chen (2007) estudian el desempeño de las empresas taiwanesas de alta tecnología respecto a sus capacidades de innovación tecnológica.

Las propuestas de estos autores hacen posible identificar, agrupar y analizar el amplio número de factores y variables que los estudios de la innovación tecnológica asocian con su gestión exitosa. A continuación se hace una síntesis de las propuestas de definición de las principales categorías clasificatorias hechas por estos autores, quienes trabajan sobre un marco analítico homogéneo, basado en la concepción de las capacidades de innovación tecnológica como capacidades organizacionales requeridas para el logro de los objetivos de innovación (ver Robledo, Gómez, & Restrepo, 2009; Aguirre & Robledo, 2010; Robledo et al., 2010). Aunque los nombres específicos de estas categorías varían entre autores, en lo fundamental hacen referencia a siete tipos de capacidades: la capacidad de direccionamiento estratégico, la capacidad de I+D, la capacidad de producción, la capacidad de mercadeo, la capacidad de gestión de recursos, la capacidad de aprendizaje organizacional y la capacidad organizativa, definidas como se indica a continuación.

Capacidad de Direccionamiento Estratégico: Se refiere a la habilidad de la dirección para asegurar la productividad, el rendimiento y la armonía organizacional desde el proceso de toma de decisiones sobre innovación tecnológica, realizando una correcta planeación prospectiva, estratégica y operativa, y promoviendo una cultura organizacional propicia a la innovación (Kim & Nelson, 2000). Yam et al. (2004) se refieren a esta capacidad como la habilidad de la organización para identificar las fortalezas y debilidades internas, las amenazas y oportunidades externas, formular planes de acuerdo a la misión y visión corporativas y ajustar los planes para su implementación. Guan & Ma (2003) la definen como la capacidad de formular e implantar diferentes tipos de estrategias que se adapten a los cambios externos para sobresalir en los ambientes competitivos actuales. Wang, Lu, & Chen (2009) consideran que la capacidad de direccionamiento estratégico denota la habilidad de la organización para tomar e implementar decisiones estratégicas relacionadas con la innovación.

Capacidad de I+D: Yam et al. (2004) definen esta capacidad como la habilidad de la organización para integrar la estrategia de I+D, la implementación de proyectos, la gestión de portafolios de proyectos y los gastos de I+D. Por su parte, Sher & Yang (2005) definen la capacidad de I+D como la suma de dos componentes asociados a los insumos que

tradicionalmente ha definido el Manual de Frascati (OCDE, 2002): la intensidad de I+D y el personal de I+D. Según Wang, Lu, & Chen (2009), la capacidad de I+D contribuye a que la organización expanda sus actuales tecnologías, introduzca nuevas tecnologías y mejore su función de I+D.

Capacidad de Producción: Tanto Guan & Ma (2003) como Yam et al. (2004) definen esta capacidad como la habilidad de la organización para transformar los resultados de I+D en productos que satisfagan los requerimientos del mercado, integrando los requisitos del diseño y las limitaciones y posibilidades del sistema de manufactura disponible. Wang, Lu, & Chen (2009) la entienden como la habilidad de la organización para transformar los resultados de I+D en nuevas técnicas de producción y mejoramiento de la calidad de los productos.

Capacidad de Mercadeo: Según Yam et al. (2004) y Guan & Ma (2003), esta capacidad representa la habilidad de la organización para publicitar y vender productos de acuerdo a la comprensión de las necesidades del mercado tanto presentes como futuras, el ambiente competitivo, los costos y beneficios y la aceptación de la innovación. Wang, Lu, & Chen (2009) entienden esta capacidad como la habilidad de promover y vender productos con base en la comprensión de la demanda.

Capacidad de Gestión de Recursos: Yam et al. (2004) y Wang, Lu, & Chen (2009) se refieren a esta capacidad como a la habilidad de la organización para adquirir y asignar apropiadamente capital, experiencia y tecnología a los procesos de innovación.

Capacidad de Aprendizaje Organizacional: Yam et al. (2004) definen esta capacidad como la habilidad de la organización para identificar, asimilar y explotar el conocimiento proveniente del ambiente circundante. Para Guan & Ma (2003), corresponde a la capacidad de identificar, asimilar y explotar conocimiento nuevo esencial para el éxito competitivo de la organización.

Capacidad Organizativa: Según Yam et al. (2004), esta es la habilidad de la organización para asegurar el mecanismo y la armonía organizacional, cultivando la cultura organizacional y adoptando buenas prácticas de gestión. Por su parte, Guan & Ma (2003) se refieren a la capacidad para constituir una estructura organizacional bien establecida, coordinar el trabajo de todas las actividades hacia objetivos compartidos y dotar a la organización de una infraestructura que acelere los procesos de innovación.

En el presente trabajo se recoge la propuesta de Wang, Lu, & Chen (2009) de agrupar las capacidades de innovación tecnológica en cinco categorías, las cuales corresponden cercanamente a las cinco funciones organizacionales básicas comprometidas en las dinámicas de la innovación: direccionamiento estratégico, I+D, producción, mercadeo y gestión de recursos. La capacidad organizativa y la capacidad de aprendizaje organizacional, incluidas como capacidades específicas en los trabajos de Guan & Ma (2003) y Yam et al. (2004), no están asociadas a funciones organizacionales propiamente tales, siendo más bien dimensiones presentes en todas las demás capacidades mencionadas. La Tabla 1 presenta esta propuesta.

Tabla 1. Capacidades de innovación tecnológica del modelo integral de evaluación

Direccionamiento estratégico	I+D	Producción	Mercadeo	Gestión de recursos
Capacidad de formular e implementar estrategias de innovación exitosas	Capacidad de introducir y desarrollar conocimiento para generar innovaciones	Capacidad de adaptar y transformar los sistemas productivos de la organización según las exigencias de innovación	Capacidad de introducir exitosamente las innovaciones al mercado	Capacidad de identificar, acceder y cultivar los recursos de la organización para la innovación

Fuente: Propuesta de los autores con base en Guan & Ma (2003), Yam et al. (2004) y Wang, Lu, & Chen (2009).

El Modelo Integrado de Evaluación de Capacidades de Innovación

Buscando desarrollar las propuestas de los autores mencionados en el numeral anterior, el modelo conceptual propuesto aquí complementa el marco analítico basado en la clasificación de las capacidades de innovación tecnológica con las dimensiones organizacionales que las soportan, según el modelo de Nadler & Tushman (1997). Esta segunda categoría analítica (las dimensiones organizacionales) emerge de la necesidad de introducir un criterio racional para garantizar la coherencia y completitud de las variables seleccionadas para medir y evaluar las capacidades. Se refiere a los componentes o dimensiones organizacionales que garantizan la solidez y congruencia de las capacidades de innovación como capacidades organizacionales.

La carencia de la dimensión organizacional en los marcos analíticos propuestos en la literatura para medir y evaluar las capacidades de innovación tecnológica, lleva frecuentemente a incoherencia e incompletitud en las variables seleccionadas. Así, es común observar dos problemas de coherencia en los marcos analíticos: algunas veces se incluyen variables de intencionalidad estratégica para medir las capacidades, y otras veces se incluyen variables de resultado con el mismo propósito. Ambas situaciones son inaceptables desde una perspectiva teórica bien fundamentada, en tanto que las capacidades constituyen el puente entre la intencionalidad estratégica y los resultados. Por otra parte, también se pueden observar problemas de completitud, al quedar excluidas de los marcos analíticos variables que en la perspectiva organizacional son clave para posibilitar dinámicas de innovación exitosas.

Como resultado de esta integración del marco analítico basado en las capacidades de innovación tecnológica presentadas en la Tabla 1, y las dimensiones organizacionales de la Figura 1, resulta la propuesta de modelo integral presentada en la Figura 2.

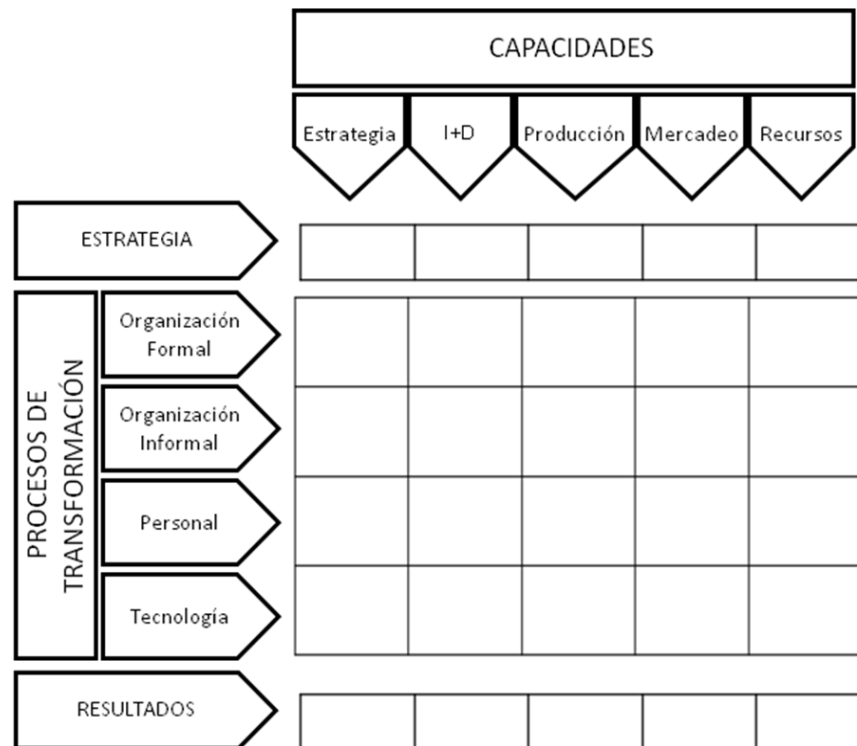


Figura 2. Marco conceptual para la evaluación de las capacidades de innovación tecnológica

Con base en este modelo, se identifican las variables que definen la intencionalidad estratégica (estrategia), los resultados (resultados) y los componentes de los procesos de transformación (organización formal e informal, personal y tecnología) que se requieren para medir y evaluar la gestión de la innovación tecnológica. En el Anexo se presentan las variables identificadas y las fuentes de referencia, con lo cual se completa la propuesta metodológica para la medición y evaluación de las capacidades de innovación tecnológica.

Métrica de las Variables y Algoritmo de Evaluación de las Capacidades de Innovación Tecnológica

En una versión previa del modelo de la sección anterior (ver Robledo et al., 2010), la evaluación de las capacidades de innovación tecnológica se hizo con base en un conjunto de variables de tipo nominal, ordinal y numérico. Para evaluar las capacidades de innovación tecnológica se utilizó una escala Likert de cinco valores basada en la propuesta del CMMI (*Capability Maturity Model Integrated*), donde el grado de madurez de las capacidades se evalúa, en orden ascendente, como: inicial, definido, repetible, gestionado y optimizado. La asignación de la calificación la realizaba un consultor responsable de la evaluación, según su conocimiento, experiencia e interpretación de los variables evaluativas, lo cual introducía un componente de subjetividad considerable al proceso.

Para dotar de mayor precisión y objetividad a la evaluación de las capacidades, para el modelo propuesto en este trabajo se optó por construir referentes evaluativos que respondieran a dos criterios de comparación: a) un criterio de competitividad internacional, en el cual los referentes corresponden a los valores máximos de las variables, establecidos por las empresas líderes mundiales; y b) un criterio de comparación interno, según el cual la evaluación de las capacidades se hace respecto al nivel de madurez de la industria nacional.

Para el procesamiento de las variables se decidió recurrir a un algoritmo que realizara satisfactoriamente un tratamiento de variables lingüísticas, altamente cualitativas y expuestas a la subjetividad de su calificación. Para ello se optó por la Lógica Difusa, aproximación que ha venido siendo implementada en diversos campos de la gestión empresarial, particularmente en procesos de evaluación y toma de decisiones en ambientes de incertidumbre, imprecisión y multiplicidad de criterios. En el presente trabajo la Lógica Difusa se aplica a la medición de las capacidades de innovación tecnológica, siguiendo las propuestas de Wang, Lu, & Chen (2009).

Aplicativo Informático

El modelo presentado en la sección anterior es el resultado del perfeccionamiento del marco analítico desarrollado en trabajos previos (ver Robledo et al., 2010; Aguirre & Robledo, 2010), que involucraron pruebas piloto de las propuestas de evaluación de capacidades de innovación tecnológica en empresas seleccionadas del sector eléctrico y la industria de software en Colombia. Una de las lecciones aprendidas como resultado de estas pruebas, es que el ejercicio de evaluación basado en el trabajo de consultores consume mucho tiempo y recursos, lo cual lo hace inviable para su aplicación masiva en pequeñas y medianas empresas colombianas. Adicionalmente, la intervención de los consultores terminó introduciendo subjetividad e imprecisión en la evaluación de las capacidades de innovación.

Por tal motivo, se hizo necesario definir una forma de aplicación del modelo que fuera de bajo costo, mediante una herramienta de recolección y análisis de datos que facilitara y agilizara el proceso, que generara reportes automáticos con ayudas para su interpretación y que demandara una intervención mínima de personal experto. La solución adoptada fue el desarrollo de un aplicativo informático que permitiera recopilar, organizar y gestionar toda la información relativa a la evaluación de capacidades de innovación tecnológica, de una manera ágil y económica. En consecuencia, se procedió a desarrollar el aplicativo, teniendo en mente su implementación en pequeñas y medianas empresas del sector eléctrico colombiano. Para ello, se formuló y llevó a cabo un proyecto colaborativo entre el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico Colombiano (CIDET) y la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Levantamiento de Requisitos

El proceso de desarrollo inició por la identificación de las necesidades directas y subyacentes para definir la funcionalidad del aplicativo, lo cual se hizo mediante el uso de la metodología “Despliegue de Función de Calidad” o QFD (*Quality Function Deployment*, por sus siglas en inglés). Para la aplicación de esta metodología se tuvieron en cuenta los requerimientos y expectativas particulares de las distintas partes interesadas (*stakeholders*) del proyecto de desarrollo: las pequeñas y medianas empresas del sector eléctrico, el CIDET y la Universidad. La identificación de las condiciones necesarias y factores críticos para el logro de los objetivos del aplicativo se hizo a través de la herramienta “Mapas de Objetivos Intermedios”, o IO Maps (*Intermediate Objectives Maps*) propia de la Teoría de Restricciones.

Como resultado del levantamiento de información y la identificación de los requisitos funcionales y no funcionales de la aplicación, se llegó a las siguientes decisiones:

- Incorporar un proceso automático para la evaluación de las capacidades de innovación tecnológica de la empresa.

- Direccionar la evaluación de las capacidades de innovación respecto a dos tipos de referentes: el referente o *benchmark* internacional y el grado de desarrollo de la industria nacional.
- Poner a disposición de las empresas evaluadas servicios complementarios de capacitación y consultoría en gestión de la innovación.
- Permitir el acceso al aplicativo a usuarios secundarios de la empresa, además de su gerente, quienes conformarían el equipo responsable del diligenciamiento de la encuesta.
- Garantizar que el gerente o representante de la empresa tenga el control total de la información introducida en la aplicación.
- Garantizar la confidencialidad de la información privilegiada de la empresa.
- Poner a disposición de la empresa la asistencia remota del administrador de la aplicación para atender cualquier duda durante el diligenciamiento de la encuesta.
- Generar reportes de fácil lectura y con ayudas para su interpretación.
- Permitir que los gerentes puedan realizar simulaciones con el aplicativo, con el objetivo de analizar los efectos de ciertas estrategias sobre el nivel de las capacidades de innovación.
- Permitir al administrador el acceso a la base de datos generada por el aplicativo, de manera que pueda realizar análisis y generar reportes sobre el estado y la dinámica de la innovación a nivel empresarial y sectorial.
- Proyectar la implementación periódica de la aplicación para generar una base de datos multianual.
- Proporcionar las condiciones para mantener una base de datos históricos de la empresa, con el objetivo de posibilitar análisis de la evolución de las capacidades de innovación.

Previsiones de Implementación del Aplicativo

Con las previsiones de implementación del aplicativo se completa la propuesta de medición y evaluación y capacidades de innovación tecnológica en PYMES del sector eléctrico. En este orden de ideas, la implementación del aplicativo se visualiza en los siguientes pasos:

Paso 1: Sensibilización de la necesidad de evaluar las capacidades de innovación tecnológica y de avanzar hacia la optimización de la gestión de la innovación en la empresa.

Paso 2: Acceso al aplicativo, conformación del equipo evaluador e identificación de la empresa y de sus negocios relacionados.

Paso 3: Diligenciamiento de la encuesta para la construcción de las variables evaluativas y su contexto interpretativo.

Paso 4: Validación de las respuestas antes de ser enviadas para su almacenamiento en la base de datos del aplicativo.

Paso 5: Procesamiento de las variables usando el algoritmo de Lógica Difusa incorporado al aplicativo.

Paso 6: Entrega de resultados y análisis por parte del equipo de evaluación en modalidad de “autodiagnóstico”.

Conclusiones y Trabajo Futuro

Como resultado de trabajos previos realizados con la participación de los autores y en los que se validó experimentalmente una propuesta metodológica para medir y evaluar capacidades de innovación tecnológica, se identificaron problemas de coherencia teórica y completitud en las variables del marco analítico construido con base en los trabajos de Guan & Ma (2003), Yam et al. (2004) y Wang, Lu, & Chen (2009). El modelo conceptual presentado en este trabajo busca superar tales problemas, perfeccionando el marco analítico mediante la elaboración de una matriz de variables de dos dimensiones: las capacidades de innovación tecnológica, por una parte, y los componentes organizacionales, por otra.

Como capacidades de innovación tecnológica se utilizan cinco categorías identificadas a partir de los trabajos de los autores mencionados arriba, definiendo como criterio de clasificación las principales funciones organizacionales comprometidas en las dinámicas de la innovación: 1) direccionamiento estratégico; 2) I+D; 3) producción; 4) mercadeo; y 5) gestión de recursos. Los componentes organizacionales utilizados en la matriz se obtienen a partir del modelo de congruencia organizacional de Nadler & Tushman (1997) y las modificaciones de Michigan Engineering (2005). La matriz resultante permite diferenciar las variables relativas a la intencionalidad estratégica, los resultados y las capacidades de innovación tecnológica. De esta forma, el modelo posibilita llevar a cabo, además de la evaluación de las capacidades de innovación tecnológica, un análisis de congruencia entre la intencionalidad estratégica, las capacidades acumuladas y los resultados obtenidos.

Los trabajos previos de los autores también generaron lineamientos para el diseño y desarrollo del aplicativo informático para la implementación del modelo, a partir de los cuales se identifican y reportan aquí los principales requerimientos de un aplicativo informático destinado a la implementación del modelo en pequeñas y medianas empresas del sector eléctrico colombiano.

Como trabajo futuro se vislumbra la implementación del aplicativo desarrollado con base en el modelo presentado y los requerimientos de las partes interesadas, inicialmente a nivel experimental para validar su funcionalidad, y luego a nivel masivo en una muestra de pequeñas y medianas empresas del sector eléctrico colombiano. De esta manera se prevé no solamente el inicio de la plena implementación del modelo de evaluación de capacidades de innovación tecnológica, sino su articulación con procesos de consolidación de sistemas empresariales de I+D+i y su futura certificación bajo normas internacionales.

Agradecimientos

Los autores agradecen al SENA por la financiación otorgada al proyecto "Desarrollo de un aplicativo informático para la evaluación de capacidades de gestión para la innovación en PYMES del sector eléctrico", del cual hace parte el trabajo aquí reportado, y al CIDET y la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín por sus contrapartidas para la ejecución del mismo. Igualmente, agradecen a José Javier Aguilar, profesor de la UN Medellín, por su invaluable contribución a la definición del modelo, y al ingeniero Carlos Ignacio Soto, consultor independiente, y las ingenieras Sandra Rojas y Mónica Montoya, del CIDET, por sus aportes al desarrollo del trabajo.

Referencias Bibliográficas

- ADLER, P.S.; GOLDOFTAS, B.; LEVINE, D.I. Flexibility versus efficiency? A case study of model changeovers in the Toyota productions system. **Organization Science**, v. 10, p. 43-68, 1999.
- AGUIRRE, J.; ROBLEDO, J. Evaluación de capacidades de innovación tecnológica en la industria colombiana de software utilizando lógica difusa. In: ROBLEDO, J. (Ed). **Gestión de las capacidades de innovación tecnológica para la competitividad de las empresas antioqueñas de software**. Medellín: Todográficas Ltda. 2010, p. 95-210.
- AMIT, R.; SHOEMAKER P.J.H Strategic assets and organisational rent. **Strategic Management Journal**, v. 14, p. 33-46, 1993.
- ARORA, A.; GAMBARDELLA, A. (Ed) **From Underdogs to Tigers: The Rise and Growth of the Software Industry in Brazil, China, India, Ireland and Israel**, pp. 1-6. New York: Oxford University Press, 2005b.
- ARORA, A.; GAMBARDELLA, A. Bridging the gap: Conclusions. In: **From Underdogs to Tigers: The Rise and Growth of the Software Industry in Brazil, China, India, Ireland and Israel**, pp. 275-302. New York: Oxford University Press, 2005a.
- ATUAHENE-GIMA, K. Resolving the Capability–Rigidity Paradox in New Product Innovation. **Journal of Marketing**, v. 69, p. 61–83, 2005.
- BADEN-FULLER, C.; VOLBERDA, H.W. Strategic renewal: How large complex organizations prepare for the future. **International Studies of Management and Organization**, v. 27, p. 95-120, 1997.
- BARNEY, J. B. Firm resources and sustained competitive advantage. **Advances in Strategic Management - Economics Meets Sociology in Strategic Management**, v. 17, p. 203-227, 2000.
- BENNER, M.; TUSHMAN M. Exploitation, Exploration and Process Management: The Productivity Dilemma Revisited. **Academy of Management Review**, v. 28, n. 2, p. 238-256, 2003.
- BESSANT, J.; CAFFYN, S.; GALLAGHER, M. An evolutionary model of continuous improvement behavior. **Technovation**, v. 21, p. 67-77, 2001.
- BURGELMAN, R.; MAIDIQUE, M.A.; WHEELWRIGHT, S.C. **Strategic Management of Technology and Innovation**. New York, McGraw-Hill, 2004. ISBN 9780071232302.
- BURGELMAN, R.A.; MAIDIQUE, M.A. **Strategic Management of Technology and Innovation**. Illinois, Irwin Homewood, 1988.
- CARDINAL, L. Technological Innovation in the Pharmaceutical Industry: The Use of Organizational Control in Managing Research and Development, **Organization Science**, v. 12, n. 1, p. 19-36, 2001.
- CLARK, K.; WHEELWRIGHT, S. Organizing and leading "heavyweight" development teams. **California Management Review**, v. 34, n. 3, p. 9-28, 1992.
- COOPER, R. Third generation new product processes. **Journal of Product Innovation Management**, v. 11, p. 3-14, 1994.

- CORMICAN, K.; O'SULLIVAN, D. A groupware system for virtual product innovation management. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing**, v. 17, n. 6, p. 499-510, 2007.
- EISENHARDT, K.; MARTIN, J.A. Dynamic capabilities: what are they? **Strategic Management Journal**, v. 21, p. 1105-1121, 2000.
- ERICKSON, C.; JACOBY, S. The Effect of Employer Networks on Workplace Innovation and Training Source. **Industrial and Labor Relations Review**, v. 56, n. 2, p. 203-223, 2003.
- ERNST, D.; GANIATSOS, T.G.; MYTELKA, L.K. **Technological capabilities and export success in Asia**. London, Routledge, 1998. ISBN 0-415-15854-0.
- GIARRATANA, M.; PAGANO, A.; TORRISI, S. The role of the multinational companies. In: ARORA, A.; GAMBARDELLA, A. (Ed) **From Underdogs to Tigers: The Rise and Growth of the Software Industry in Brazil, China, India, Ireland and Israel**, pp. 207-235. New York: Oxford University Press, 2005.
- GRANT, R. The resource-based theory of competitive advantage: Implications for strategy formulation. **California Management Review**, p. 114-135, Spring 1991
- GUAN, J.; MA, N. Innovative capability and export performance of Chinese firms. **Technovation**, v. 23, p. 737-747, 2003.
- JUNG, D.; CHOW, C.; WU, A. The role of transformational leadership in enhancing organizational innovation: Hypotheses and some preliminary findings. **The Leadership Quarterly**, v. 14, n. 4-5, p. 525-544, 2003.
- KIM, L. **Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea's Technological Learning**. Boston (MA), Harvard Business School Press, 1997.
- KIM, L.; NELSON, R.R. **Technology, Learning, and Innovation: Experiences of Newly Industrializing Economies**. New York, Cambridge University Press, 2000. ISBN 0-521-77987-1.
- KNUDSEN, M. The Relative Importance of Inter firm Relationships and Knowledge Transfer for New Product Development Success. **The Journal of Product Innovation Management**, v. 24, p. 117-138, 2007.
- KRIEGESMANN, B.; KLEY, T.; SCHWERING, M. Creative errors and heroic failures: capturing their innovative potential. **Journal of Business Strategy**, v. 26, n. 3, p. 57-64, 2005.
- MICHIGAN University, **Open Systems Paradigm**. Michigan Engineering, September 14, 2005.
- NADLER, D.; TUSHMAN, M. **The Power of Organization Architecture**, New York, Oxford University Press, 1997. ISBN 978-0-19-509917-1.
- NYSTROM, H. Innovative Capability Audits of University Research Centers. Miami, 2000. **Proceedings - 9th International Conference on Management of Technology**, Miami, FL, Feb. 2000.
- OCDE. **Manual de Frascati**. Edición en español de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), España, 2002, 282 p.

RENARD, L.; SAINT-AMANT, G. Capacité, capacité organisationnelle et capacité dynamique: une proposition de définitions. **Les Cahiers du Management Technologique**, v. 13, n. 1, p. 1-26, 2003.

ROBLEDO, J. (Ed) **Gestión de las capacidades de innovación tecnológica para la competitividad de las empresas antioqueñas de software**. Medellín, Todográficas Ltda. 2010, 140 p.

ROBLEDO, J.; AGUILAR, J.J.; PÉREZ, J.D. Methodological Tool for Measurement and Assessment of Technological Innovation Capabilities. **PICMET 2011 Conference**, Portland (USA), 2011.

ROBLEDO, J.; GÓMEZ, F.A.; RESTREPO, J.F. Relación entre capacidades de innovación tecnológica y el desempeño empresarial y sectorial. In: ROBLEDO, J., MALAVER, F. AND VARGAS, M. (Ed) **Encuestas, datos y descubrimiento de conocimiento sobre la innovación en Colombia**. Bogotá: Ed. Javergaf, 2009, cap. 4.

ROBLEDO, J.; LÓPEZ, C.; ZAPATA, W.; PÉREZ, J.D. Desarrollo de una Metodología de Evaluación de Capacidades de Innovación. **Perfil de Coyuntura Económica**, v. 15, p. 133-148, 2010.

ROBLEDO, J.; MALAVER, F.; VARGAS, M. (Ed) **Encuestas, datos y descubrimiento de conocimiento sobre la innovación en Colombia**. Bogotá, Ed. Javergaf, 2009. ISBN 958-716-3079

SHER, P.J.; YANG, P.Y. The effects of innovative capabilities and RandD clustering on firm performance: the evidence of Taiwan's semiconductor industry. **Technovation**, v. 25, p. 33-43, 2005.

TEECE, D.J.; PISANO G.; SHUEN, A. Dynamic capabilities and strategic management. **Strategic Management Journal**, v. 18, p. 509-533, 1997.

TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. **Managing Innovation – Integrating Technological, Market and Organizational Change**. New York, John Wiley and Sons, 2005. ISBN 0-470-09326-9.

TRANFIELD, D.; MALCOLM, Y.; PARTINGTON, D.; BESSANT, J.; SAPSED, J. Knowledge management routines for innovation projects: developing a hierarchical process model. **International Journal of Innovation Management**, v. 7, n.1, p. 27-49, 2003.

TUSHMAN, M.; NADLER, D. Organizing for innovation. **California Management Review**, v. 28, n. 3, p. 74-92, 1986.

WANG, C.H.; LU, I.Y.; CHEN, C. B. Evaluating firm technological innovation capability under uncertainty. **Technovation**, v. 28, p. 349-363, 2009.

WERNERFELT, B., A resource-based view of the firm. **Strategic Management Journal**, v. 5, p. 171-180, 1984.

YAM, R.C. M.; GUAN, J.C.; PUN, K.F.; TANG, E.P. Y. An Audit of Technological Innovation Capabilities in Chinese Firms: Some Empirical Findings in Beijing. **Research Policy**, v. 33, p. 1123-1140, 2004.

ZAHRA, S.A.; NIELSEN, A.P. Sources of capabilities, integration and technology commercialization. **Strategic Management Journal**, v. 23, p. 377-398, 2002.

ANEXO: Variables para la medición y evaluación de capacidades de innovación tecnológica

Capacidad de Direccionamiento Estratégico

DIMENSIÓN	VARIABLES	FUENTES
Tecnología	Nivel de aplicación de técnicas de planeación prospectiva y estratégica (prospectiva, vigilancia tecnológica, benchmarking y similares)	Tidd, Bessant, & Pavitt (2001); Teece, Pisano, & Shuen (1997).
Organización Formal	Proceso de gestión estratégica de la innovación	Cardinal (2001); Clark & Wheelwright (1992); Wan, Lu, & Chen (2007); Cormican & O'Sullivan (2004); Knudsen (2007); Eisenhardt & Martin (2000); Tushman & Nadler (1986); Cooper (1994); Guan & Ma (2003)
Organización informal	Nivel de aceptación del riesgo y tolerancia al fracaso	Benner & Tushman (2003); Clark & Wheelwright (1992); Kriegesmann, Kley, & Schwering (2005); Atuahene-Gima, 2005; Tranfield et al. (2003)
	Nivel de aceptación y participación de los empleados en los procesos de gestión estratégica de la innovación	Jung, Chow, & Wu (2003); Erickson & Jacoby (2003); Bessant et al. (2001); Clark & Wheelwright (1992)
Personal	Spillover de multinacionales y grandes empresas del sector: Número de personas de nivel directivo con experiencia anterior en empresas multinacionales y grandes empresas del sector	Arora & Gambardella (2005a); Giarratana, Pagano, & Torrisi (2005)
	Diáspora y relaciones: Número de contactos con personas en organizaciones clave y del exterior con los cuales la empresa mantiene contactos regulares y significativos	Giarratana, Pagano, & Torrisi (2005)

Capacidad de I+D

DIMENSIÓN	VARIABLES	FUENTES
Tecnología	Desarrollo de la infraestructura de laboratorios y facilidades para I+D+i	
	Desarrollo de las técnicas de gestión de proyectos de I+D+i	(Yam, Guan, Pun, & Tang, 2004)
Organización Formal	Madurez del proceso de I+D+i	(Wang, Lu, & Chen, 2009)
Organización informal	Trabajo interdepartamental e interdisciplinario	
Personal	Número de empleados con título de doctorado o maestría vinculados a proyectos de I+D+i	(Wang, Lu, & Chen, 2009) (Guan & Ma, 2003)
	Número de empleados con título técnico o superior vinculados a proyectos de I+D+i (excluyendo los de la pregunta anterior)	(Yam, Guan, Pun, & Tang, 2004)

Capacidad de Producción

DIMENSIÓN	VARIABLES	FUENTES
Tecnología	Nivel relativo de actualización de la tecnología de producción del producto líder respecto a la frontera del desarrollo tecnológico internacional	Guan & Ma, 2003
	Nivel de certificaciones de producto	Guan & Ma, 2003
Organización Formal	Nivel de certificaciones logrado por la empresa (OSHAS, ISO 14000, ISO 9000)	Yam et al 2004; Guan & Ma, 2003
	Proceso de adaptación de la producción a innovaciones de productos o procesos	Yam et al 2004; Guan & Ma, 2003
Organización informal	Ambiente de colaboración e intercambio abierto de conocimiento y experiencia	Yam et al 2004
	Nivel de motivación y participación de los empleados en el mejoramiento continuo	Yam et al 2004
Personal	Número de empleados con título de tecnólogo, profesional o postgrado en áreas técnicas vinculados a producción	Yam et al 2004

Capacidad de Mercadeo

DIMENSIÓN	VARIABLES	FUENTES
Tecnología	Desarrollo de las técnicas de inteligencia de mercados	Yam et al 2004
Organización Formal	Madurez del proceso de gestión de mercadeo de nuevos productos	Wang, Lu & Chen 2009
	Nivel de relacionamiento con clientes para la innovación de productos	Guan and Ma 2003
Organización informal	Nivel de orientación al cliente	Wang, Lu & Chen 2009
Personal	Número de empleados con título de tecnólogo, profesional o postgrado en áreas de marketing que participan en las actividades de mercadeo y ventas	Yam et al 2004

Capacidad de Gestión de Recursos

DIMENSIÓN	VARIABLES	FUENTES
Tecnología	Desarrollo de técnicas para la gestión de portafolio de proyectos	Yam et al 2004
	Desarrollo de técnicas para la gestión del conocimiento	Guan & Ma 2003
	Desarrollo de técnicas para la gestión financiera	Yam et al 2004
Organización Formal	Madurez del proceso de gestión de personal	Guan & Ma 2003
	Madurez del proceso de gestión financiera	Yam et al 2004
	Madurez del proceso de gestión de portafolio de proyectos	Yam et al 2004
	Nivel de aplicación de esquemas de incentivo y reconocimiento a la creatividad, el emprendimiento y la innovación	Yam et al 2004
Organización Informal	Clima laboral	Guan & Ma 2003
Personal	Número de empleados con título de tecnólogo, profesional o postgrado en áreas de manejo de recurso humano que participan en las actividades de gestión de personal	Yam et al 2004
	Número de empleados con título de tecnólogo, profesional o postgrado en áreas financieras y contables que participan en las actividades de gestión financiera	Yam et al 2004