



# **IDENTIFICACIÓN DE CAPACIDADES DE UNA ORGANIZACIÓN PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS SENSIBLES AL RIESGO MEDIANTE EL DESPLIEGUE DE FUNCIÓN CALIDAD APOYADO CON TÉCNICAS DIFUSAS**

**IDENTIFICATION OF ORGANIZATIONAL CAPABILITIES FOR THE DEVELOPMENT OF RISK-SENSITIVE PROJECTS, THROUGH QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT SUPPORTED BY FUZZY TECHNIQUES**

**Recibido:** 16/10/2012

**Aprobado:** 09/11/2012

## **Erika Sofía Olaya Escobar**

Magister en Ingeniería: Materiales y Procesos. Miembro de Junta Directiva, Fundación Tiba Xue. Miembro del Grupo de Investigación en Competitividad y Desarrollo Sostenible.

Correo electrónico: erika.olaya@gmail.com

## **Oscar Germán Duarte Velasco**

Doctor en Informática. Profesor Asociado, Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Miembro del Grupo de Investigación PAAS, Programa de Adquisición y Análisis de Señales.

Correo electrónico: ogduartev@unal.edu.co

## **IDENTIFICACIÓN DE CAPACIDADES DE UNA ORGANIZACIÓN PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS SENSIBLES AL RIESGO MEDIANTE EL DESPLIEGUE DE FUNCIÓN CALIDAD APOYADO CON TÉCNICAS DIFUSAS**

### **Resumen**

En este artículo se propone una metodología que permite identificar y priorizar las capacidades de una organización para desarrollar proyectos de Investigación, Desarrollo tecnológico e Innovación (I+D+i) que por su naturaleza tienen asociada una alta sensibilidad al riesgo. Mediante esta propuesta se busca identificar aquellos aspectos críticos inherentes a la administración del riesgo y brindarle al tomador de decisiones una mayor confianza en la selección de iniciativas o al planear estrategias alternativas como alianzas estratégicas, contratación, transferencias, licenciamiento o consultorías, entre otras. La propuesta se fundamenta en la identificación de las capacidades a desarrollar frente a los requerimientos de los proyectos altamente sensibles al riesgo, gracias a la utilización de la metodología "Despliegue de Función Calidad apoyado mediante técnicas difusas", con el fin de darle un manejo adecuado a la información imperfecta propia de este tipo de iniciativas. La importancia del tema propuesto radica en la creciente necesidad de las organizaciones de ser cada día más competitivas, permanecer vigentes en el mercado y ser exitosas en el mundo globalizado, el cual ha cambiado la percepción de los modelos de negocios, gerenciales, y, en términos generales, la concepción misma de las organizaciones. Siendo la innovación una estrategia fundamental para generar grandes rentabilidades, es importante reconocer el riesgo que representa la adopción de dichas iniciativas, e identificar alternativas atenuantes.

### **Palabras clave**

Despliegue de la Función Calidad  
Capacidades en I+D+i  
Técnicas difusas  
Riesgo  
FuzzyNet.

**Clasificación JEL:** D81; O32; D92.

## **IDENTIFICATION OF ORGANIZATION CAPACITIES TO DEVELOP RISK-SENSITIVE PROJECTS THROUGH THE QUALITY FUNCTION DISPLAY AND DIFFUSE TECHNIQUES**

### **Abstract**

This paper proposes a methodology that allows to identify and to prioritize the organization capabilities to develop research, technological development and innovation projects that by its nature have a high sensitivity to risk. This proposal aims to identify those critical aspects inherent to risk management in order to provide the decision-maker with more confidence in the selection of initiatives, or to plan alternative strategies such as strategic alliances, hiring, transfers, licensing and consultancies among others. This proposal is based on the identification of capabilities to develop, facing the requirement of highly sensitive risk projects, through the use of the Quality Function Deployment and fuzzy techniques methodology, in order to give an adequate management to the imperfect information, inherent to this kind of initiative. The importance of the proposed topic resides in the need of organizations to be more competitive, remain in the market and be successful in the globalized world, which has change the perceptions about business and managerial models, and, in general, of organizations. So, innovation becomes a fundamental strategy to generate profitability; recognizing, at the same time, the risk that the adoption of such initiatives and identify extenuating alternatives represents.

### **Key Words**

Quality Function Deployment (QFD)  
R&D Capabilities  
Fuzzy Techniques  
Risk  
FuzzyNet.

## Introducción

En este artículo se propone una estrategia para identificar y priorizar las capacidades de una organización para desarrollar proyectos de I+D+i que por su naturaleza tienen asociada una alta sensibilidad al riesgo. La estrategia utiliza la metodología de diseño de productos *Quality Function Deployment* (QFD) adaptada al caso de proyectos de I+D+i. Adicionalmente, la metodología QFD se ha modificado para modelar el riesgo, mediante números difusos y Sistemas de Computación con Palabras (SCP).

La creciente necesidad de las empresas de competir en mercados especializados —con clientes más exigentes, estándares de calidad más elevados, tiempos de entrega más cortos y precios más competitivos— le han exigido a las organizaciones incorporar dentro de sus estrategias la especialización del recurso humano, la implementación de tecnologías, la mejora de la infraestructura y el desarrollo de capacidades de innovación, entre otros factores. Por consiguiente, las empresas requieren herramientas adecuadas para afrontar retos y desarrollar capacidades que les permitan utilizar el conocimiento<sup>1</sup> como fuente fundamental de riqueza. Como lo señala Drucker: “El verdadero recurso dominante y factor de producción absolutamente decisivo no es ya ni la tierra, ni el capital, ni el trabajo; es el conocimiento” (Drucker, 1995).

Adicionalmente, surge un nuevo desafío para dichas organizaciones, relacionado con la identificación y consolidación de las capacidades mínimas requeridas para asumir el

desarrollo de proyectos de I+D+i que por su naturaleza son sensibles al riesgo, ya que la inversión y el esfuerzo requeridos al incorporar el capital intelectual —capital humano, estructura relacional y proyectos de I+D+i dentro de las estrategias organizacionales— puede superar en gran medida las ventajas obtenidas con los resultados de tales proyectos. El riesgo en que incurren dichas compañías se incrementa si los sistemas de innovación incorporados no tienen la madurez requerida; por lo tanto es recomendable que las empresas que emprenden este tipo de iniciativas tengan (o estén dispuestas a conseguir) las capacidades, los recursos y el músculo financiero que apalanque iniciativas de este tipo.

La metodología QFD es una herramienta de calidad integral que vincula de forma sistemática las necesidades de los demandantes con las funciones empresariales y organizativas de los proveedores (Akao & Mazur, 2003). En sus inicios, el despliegue de función calidad QFD fue una herramienta para el diseño de producto, sin embargo su utilización se ha difundido como herramienta de toma de decisiones y se ha utilizado para hacerle frente a situaciones asociadas a múltiples criterios, requisitos o exigencias (Wang et al., 2012). La noción de conjuntos difusos y más específicamente la de variable lingüística, ha proveído nuevas herramientas para representar algunos conceptos que son difíciles de formular en forma numérica, pero que en el lenguaje natural pueden ser expresados adecuadamente. La computación con palabras es el paradigma que emplea este tipo de representaciones, y con el cual se pretende desarrollar sistemas cuyas entradas y salidas sean palabras, en lugar de números (Duarte, 2005).

1 La OECD (2003) define a las economías del conocimiento como aquellas basadas directamente en la producción, distribución y uso del conocimiento y la información, y que están apoyadas por los rápidos avances de la ciencia y de las tecnologías de la comunicación y la información. Por su parte, el Banco Mundial (2003) conceptúa que lo distintivo de la economía basada en el conocimiento es que en ella la generación y explotación del conocimiento tienen un papel preponderante en la creación de riqueza sustentada principalmente en el uso de las ideas más que en las habilidades físicas, así como en la aplicación de la tecnología más que en la transformación de materias primas o mano de obra barata.

Este artículo está estructurado en cinco secciones; la sección de *antecedentes* presenta los conceptos que fundamentan las bases de la propuesta y justifica la importancia de trabajar en el tema propuesto. Los temas son: proyectos sensibles al riesgo, tipos de proyectos de I+D+i y capacidades de la organización. En la sección *modelo propuesto* se presenta la metodología de diseño de producto QFD, los conceptos de SCP y aritmética difusa, el modelo QFD apoyado por SCP mediante aritmética difusa, la aplicación del modelo y el análisis de resultados mediante la herramienta computacional *FuzzyNet*. La última sección son las conclusiones que permiten evaluar la conveniencia de la aplicación del modelo propuesto.

## Antecedentes

Shumpeter planteó que la introducción de innovaciones conduce al proceso de “destrucción creativa” por el cual nuevos y mejores productos —así como procesos y procedimientos más eficientes— rempazan continuamente a aquellos que pierden vigencia con la aparición de nuevas tecnologías y formas de organizar la producción. Esto lleva a la desaparición de empresas y actividades productivas que emplean tecnologías obsoletas y no pueden competir en el mercado con las organizaciones innovadoras (Sagasti, 2011).

Una organización que quiera fortalecerse y ser competitiva mediante la implementación de estrategias de I+D+i debe tener muy claros sus objetivos, para no emprender iniciativas que le generen grandes esfuerzos, recursos y tiempos que comprometan el éxito de las expectativas planteadas. Por tal razón es importante planear, de acuerdo con los objetivos en I+D+i de la organización, el tipo de proyecto, las capacidades requeridas y los riesgos inherentes al mismo.

## Proyectos sensibles al riesgo

Es un hecho que la innovación le genera grandes rentabilidades<sup>2</sup> a las organizaciones que la implementan como estrategia; no obstante, es claro que se trata de un proceso complejo que demanda grandes esfuerzos de la organización en sus diferentes niveles, razón por la cual es importante reconocer los riesgos que esta comporta. Así pues, tratar de mitigar el riesgo y la incertidumbre inherente a este tipo de proyectos es un reto para todas las organizaciones, independientemente del sector y el tamaño de las mismas, ya que por su misma naturaleza dichos proyectos están asociados a altos riesgos, esfuerzos, asignación de recursos y costos. Por lo tanto, la tarea de las organizaciones consiste en adoptar una adecuada administración de los riesgos que permita la acumulación de conocimientos y la implementación de buenas prácticas que atenúen su efecto y aumenten la confianza de la organización en el emprendimiento de tales iniciativas.

En este orden de ideas, es necesario que las empresas planeen estrategias que les permitan entender, identificar, manejar y reducir los riesgos inherentes a este tipo de iniciativas. Algunos autores (Doering & Parayre, 2000; Keizer et al., 2002) han propuesto tres factores de riesgo para el desarrollo de producto; a saber: organizacionales, tecnológicos y de mercadeo, con sus respectivas interrelaciones (Mu, Peng & MacLachlan, 2009). Sin embargo, los riesgos que señalan estos autores para el desarrollo de nuevos productos son homologables a los riesgos de los proyectos de I+D+i; es decir, en el contexto de un proyecto de este tipo los riesgos se refieren a la posibilidad de no alcanzar los objetivos del mismo, lo cual se debe a diversos factores de incertidumbre, como por ejemplo el fracaso en el mercadeo, las limitaciones de la tecnología, y factores de la organización que impidan la rentabilidad del proyecto.

2 La renta obtenida a través de actividades innovadoras se denomina schumpeteriana o “rentas empresariales” (Knight, 1921; Rumelt, 1987), ya que son las recompensas de las empresas que se encuentran preparadas para actuar frente a la incertidumbre (McGrath & Nerkar, 2004).

Por su parte, Halman & Keizer (1994) plantearon que la gestión del riesgo se da en tres etapas: ocurrencia, impacto y control. Por lo tanto, las organizaciones deben identificar y controlar los factores dentro de los límites de tiempo y recursos del proyecto, tomar las medidas necesarias para reducir la probabilidad de un resultado no deseado y reducir los efectos perjudiciales. Autores como Chandy & Tellis (1998), Leifer et al. (2000), Rice, O'Connor & Pierantozzi (2008) citados en Mu et al. (2009), afirman que el ambiente cambiante que deben enfrentar las organizaciones está interrelacionado principalmente con los siguientes tipos de incertidumbre: técnicas, de mercados, de recursos, de organización y de comercialización (Mu, Peng & MacLachlan, 2009).

La capacidad de diagnosticar y gestionar los riesgos es considerada cada día más relevante en los proyectos de alto riesgo como son los de I+D+i. Keizer, Halman & Song (2002) presentan una metodología de diagnóstico del riesgo (*Risk Diagnosis Management*, RDM), que tiene como objetivo identificar y evaluar riesgos tecnológicos, organizacionales y de mercado en la innovación de productos. Con el fin de mitigar los riesgos asociados al desarrollo de productos, Halman & Keizer (1994) resaltan la importancia de hacer un adecuado diagnóstico y administración del riesgo, fundamentado en una detección precisa de la brecha entre el conocimiento y las habilidades disponibles y requeridas.

## Tipo de proyecto I+D+i

Los proyectos de I+D+i por su naturaleza están asociados a altas inversiones, grandes esfuerzos y altos niveles de riesgo. Por lo tanto, teniendo en cuenta los requerimientos y características de cada organización, se deben planear las estrategias adecuadas para lograr la creación de valor a través de este tipo de iniciativas.

**Investigación.** La investigación y el desarrollo experimental (I+D) comprende el trabajo creativo sistemático encaminado a incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura, la sociedad y el uso

de esos conocimientos en la creación de nuevas aplicaciones. El término I+D engloba tres actividades: investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental (OCDE, 2002).

**Innovación.** Hace referencia a la introducción de un nuevo producto —bien o servicio— o una mejora significativa en los mismos, tanto como a la redefinición de procesos, nuevos métodos de mercadeo o un nuevo método organizacional en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar del trabajo o las relaciones externas (OCDE, 2005).

**Desarrollo tecnológico.** Es la aplicación de los resultados de la investigación o del conocimiento científico para la fabricación de nuevos materiales y productos, para el diseño de nuevos procesos, sistemas de producción o de prestación de servicios, así como la mejora tecnológica sustancial de materiales, productos, procesos o sistemas preexistentes. Esta actividad incluye la materialización de los resultados de la investigación en un plano, esquema o diseño, y la creación de prototipos no comercializables, proyectos de demostración inicial o proyectos piloto, siempre que estos no se conviertan o utilicen en aplicaciones industriales o para su explotación comercial (UNE, 2010).

**Transferencia Tecnológica.** De acuerdo con la *Association of University Technology Managers* (AUTM), la transferencia tecnológica se define como el proceso de transferencia de los descubrimientos científicos de una organización a otra, con el fin de promover el desarrollo y la comercialización. Por lo general, esta transferencia se lleva a cabo por medio de la firma de acuerdos (o contratos) de concesión de licencias entre las universidades y las empresas privadas o entidades comerciales de capital público (OMPI, 2006).

## Capacidades de la Organización

La capacidad organizacional se define como la habilidad o aptitud de la organización para realizar sus actividades productivas de una manera eficiente y efectiva mediante

el uso, la combinación y la coordinación de sus recursos y competencias a través de procesos creadores de valor, de acuerdo con los objetivos previamente establecidos (Renard & Saint-Amant, 2003).

Robledo, Gómez & Restrepo (2008), fundamentados en la literatura reciente, proponen la clasificación de las capacidades de innovación a partir de la propuesta de Yam et al. (2004). Dicha propuesta se basa en siete categorías de capacidades: 1) Capacidad de Dirección Estratégica; 2) Capacidad de I+D; 3) Capacidad de Producción; 4) Capacidad de Mercadeo; 5) Capacidad de Aprendizaje Organizacional; 6) Capacidad de Gestión de Recursos, y 7) Capacidad de Relacionamiento (Robledo, Gómez & Restrepo, 2008).

Diversos autores Chun-hsien Wang et al. (2008), Zhi-Ping Fan et al. (2009); Sang-Yon T. L., Hee-Woong K, & Sumeet G (2009) y Wenqiang et al. (2010), citados en Aguirre Ramírez, (2012) han propuesto la lógica difusa como herramienta de medición de capacidades de innovación porque integra la subjetividad, la incertidumbre y la interactividad inherente en los procesos de innovación, así como las variables y factores a considerar (Aguirre Ramírez, 2012).

## Desarrollo del modelo propuesto

Esta propuesta pretende identificar los aspectos críticos inherentes a la administración del riesgo en proyectos de I+D+i, para brindarle al decisor la confianza suficiente en la selección de las iniciativas a desarrollar a partir de sus capacidades, o planear estrategias alternas para su desarrollo. Los conceptos en los cuales se fundamenta la propuesta son el de *Quality Function Deployment* (QFD) y los Sistemas de Computación con Palabras (SCP).

## Quality Function Deployment (QFD)

Yoji Akao (1990) define la metodología QFD como:

La conversión de las demandas del [usuario] en características de calidad y el desarrollo de una calidad de diseño para el producto terminado, mediante el despliegue sistemático de relaciones entre demandas y características, comenzando con la calidad de cada componente funcional y extendiendo el despliegue de la calidad a cada parte del proceso. (Citado en Olaya et al., 2005b, p. 31)

Los beneficios de la metodología han permitido la implementación del QFD en otro tipo de aplicaciones diferentes al desarrollo del producto (como en servicios y construcción), y en general se adoptó como una metodología de ingeniería concurrente apropiada para la toma de decisiones.

## Sistemas de Computación con Palabras (SCP) mediante aritmética difusa

La noción de conjuntos difusos y más específicamente la de variable lingüística, ha suministrado nuevas herramientas para representar algunos conceptos difíciles de formular en forma numérica, pero que pueden ser expresados en el lenguaje natural de una manera adecuada. La computación con palabras es el paradigma que emplea este tipo de representaciones con el fin de desarrollar sistemas cuyas entradas y salidas sean palabras, en lugar de números (Duarte, 2005).

Algunos conceptos importantes en este sistema son: la variable lingüística, el número difuso, y la función de razonamiento aproximado. Una variable lingüística es aquella que se representa en palabras o sentencias enmarcadas

en un lenguaje predeterminado. El número difuso es un conjunto difuso sobre los números reales, normal, convexo y semicontinuo. La función de razonamiento aproximado (*fra*) es la extensión a números difusos de una *función crisp* que opera sobre las variables de entrada definidas en el universo de discurso  $[0,1]$ .

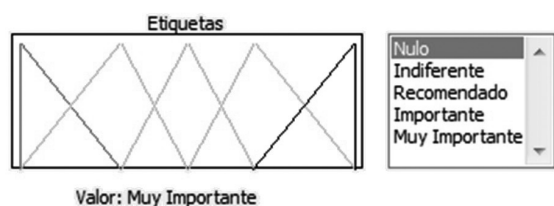
En la Figura 1 se presenta cómo funciona el SCP mediante aritmética difusa. El bloque de interpretación recibe la palabra y produce números difusos, mientras que el bloque de aproximación recibe números difusos y produce palabras.

**Figura 1.** Sistema de Computación con Palabras (SCP) basado en aritmética difusa.



En la Figura 2 se muestran las variables lingüísticas expresadas por etiquetas y representadas por números triangulares difusos en un universo de discurso con rango  $[0,1]$ .

**Figura 2.** Variables lingüísticas.



### Modelo QFD apoyado por SCP mediante aritmética difusa para identificación de capacidades de proyectos de I+D+i

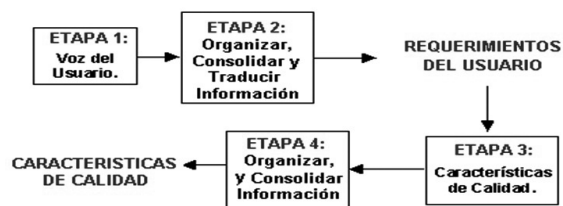
El modelo QFD apoyado por SCP mediante aritmética difusa fue desarrollado con el fin de proponer una mejora a la metodología del QFD convencional. La propuesta se fundamenta en la necesidad de superar las limitaciones

inherentes a los criterios y percepciones de las personas (al interior de un equipo de trabajo), quienes expresan sus opiniones mediante palabras y evalúan con criterios cualitativos o cuantitativos asociados siempre a un grado de subjetividad. Por lo tanto, con información de este tipo desde el inicio del QFD, la subjetividad, imprecisión y vaguedad de los datos se replica a lo largo del desarrollo de la metodología, ocasionando que los resultados arrojados presenten un alto grado de imprecisión que va aumentando en la medida que avanza el desarrollo de la misma; esto implica que la toma de decisiones esté sujeta a un grado de imprecisión acumulado que no se tiene en cuenta (Olaya, 2003).

El Modelo QFD apoyado por SCP mediante aritmética difusa (Olaya, Cortés & Duarte, 2005a) se dividió en dos partes: la primera se denominó *entradas al sistema*, y la segunda, Sistema de Computación con Palabras (SCP).

Entradas al sistema. Esta parte tiene como finalidad estructurar la recopilación de información para identificar los requerimientos del *usuario*, determinar oportunidades competitivas, traducirlas a características de *calidad* y determinar requerimientos-características para estudios posteriores.

**Figura 3.** Etapas de entradas al sistema.



Como se puede observar en la Figura 3, el desarrollo de las dos primeras etapas (voz del usuario; organización, consolidación y traducción de información), tienen por finalidad determinar el vector de requerimientos del usuario. Las dos etapas posteriores (características de calidad y organización y consolidación) generan como resultado la identificación del vector de características de calidad.

### Etapa I: Voz del usuario

Esta etapa permite identificar las necesidades de la organización. En este estudio, se propuso que el vector de requerimientos del usuario recopile la información relevante para satisfacer las necesidades o metas de una organización con relación a las iniciativas de un proyecto I+D+i. Para alimentar este vector se tomó la información de fuentes secundarias que han trabajado en la motivación e implementación de este tipo de proyectos dentro de las organizaciones y por lo tanto el vector X se denominó vector de requerimientos.

En el Manual de Oslo (3ª. ed.), se identifican 4 factores relativos a los objetivos y los efectos de la innovación: 1) competencia, demanda y mercados; 2) producción y distribución; 3) organización del lugar del trabajo, y 4) varios. Estos se dividen a su vez en subfactores que agrupan los motivos por los cuales una organización desarrollaría proyectos de innovación (OCDE, 2005, "Factores relativos a los objetivos y los efectos de la innovación", p. 124). Por

otra parte, la EDIT II propone 8 subconjuntos objetivos de la innovación y el desarrollo tecnológico: 1) mercado y productos; 2) costos; 3) productividad y calidad; 4) proceso de producción; 5) comercialización; 6) materias primas e insumos; 7) sistema de innovación tecnológica, y 8) gestión organizacional (*governance*) (DANE, 2005).

### Etapa 2: Organizar, consolidar y traducir la información

Después de recopilar la información se procede a organizarla, con el fin de identificar las necesidades concretas. Esta etapa se apoya en herramientas administrativas de calidad, que facilitan el manejo de grandes volúmenes de información (Olaya, Cortés & Duarte, 2005a).

Al analizar la información de la etapa 1, se evidencia que las motivaciones de las organizaciones al desarrollar este tipo de proyectos están directamente relacionadas con la creciente necesidad de ser cada vez más competitivas, permanecer vigentes en el mercado y ser exitosas en un mundo globalizado. Por lo tanto, fundamentados en este enfoque, en la información propuesta en el Manual de Oslo y en la Segunda Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT II), se implementó el diagrama de afinidad (González, 2001) y se identificaron cuatro grupos principales relativos a los objetivos o necesidades de una organización para desarrollar proyectos de I+D+i, los que a su vez se subdividen para conformar el vector X de requerimientos (Tabla 1).

**Tabla 1.** Objetivos o necesidades de I+D+i

Competencia, Demanda y Mercado	12 Atributos	Organizacionales	22 Atributos
Procesos, Producción y distribución	21 Atributos	Infraestructura	8 Atributos



### Etapa 3. Características de calidad.

Este vector se construyó con la traducción del vector de requerimientos, mediante el cual se identificaron las capacidades básicas<sup>3</sup> que corresponden a los mínimos que debe tener la organización para desarrollar proyectos de I+D+i. Para la identificación de las capacidades funcionales (*puede tener*) y de emoción (*desearía que tuviera*), este trabajo se

apoyó en la revisión bibliográfica de capacidades en innovación. Las fuentes principales fueron el Manual de Oslo de la OCDE, la familia de normas UNE 166000 y la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica EDIT II y EDIT IV. Con el fin de agrupar las capacidades identificadas para este trabajo (Tabla 2) se tomó la clasificación sugerida por Robledo et al. (2008).

Tabla 2. Capacidades en I+D+i

Capacidad de Dirección Estratégica	17 Atributos	Capacidad de Aprendizaje Organizacional	22 Atributos
Capacidad de I+D	40 Atributos	Capacidad de Gestión de Recursos	13 Atributos
Capacidad de Producción	27 Atributos	Capacidad de Relacionamiento	9 Atributos
Capacidad de Mercadeo	14 Atributos		

Teniendo en cuenta que para este trabajo las características de calidad se fundamentaron en las capacidades de la organización, el vector Y se denominó *Vector de capacidades*.

selección integrado por personal experto de diferentes áreas de la organización responsable de seleccionar los atributos que influyen en la propuesta a evaluar.

### Etapa 4: Organizar y consolidar la información

Una vez identificados y traducidos los elementos de calidad, se procede a elaborar una lista con la cual se pretende identificar con mayor claridad la información disponible para la determinación del vector Y. Durante este proceso se filtra y depura la información para evitar redundancias; una vez generado el listado, la información se despliega mediante el Diagrama de Árbol (González, 2001) y se identifica el vector de capacidades y su respectiva métrica (Olaya, Cortés & Duarte, 2005a).

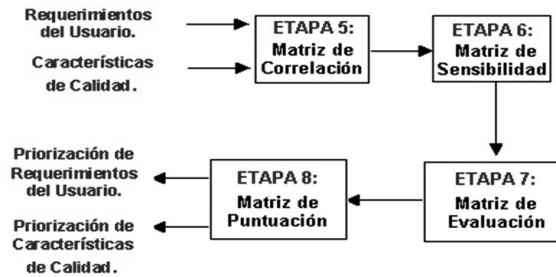
Para este estudio se tomó un proyecto-tipo con el fin de correr el modelo y validar si mediante la QFD apoyada por el SCP con aritmética difusa, es viable la identificación de las capacidades de una organización para la implementación de proyectos sensibles al riesgo. Para probar el modelo se tomó como ejemplo la necesidad de una organización para desarrollar un nuevo producto competitivo en el mercado global. Así, en esta propuesta se consideró el desarrollo de un proyecto de innovación de producto, y se determinaron 7 atributos en el vector de requerimientos ( $X = 7$ ) y 28 atributos en el vector de capacidades ( $Y = 28$ ).

Teniendo en cuenta las etapas anteriores, se tiene un vector X de requerimientos de tamaño 63 y un vector Y de capacidades de tamaño 142. No obstante, es importante aclarar que estos vectores son generales; por lo tanto, para determinar las capacidades de una organización para un proyecto específico, se requiere contar con un equipo de

Sistema de Computación con Palabras. Las siguientes Etapas constituyen la parte de Sistema de Computación con Palabras (SCP), en la cual se determinaron los requerimientos y capacidades prioritarios, mediante la integración y operacionalización de vectores y matrices que presentan información difusa (Figura 4).

3 Tipos de requerimientos del consumidor propuestos por Kano (1999).

Figura 4. Etapas del SCP.



Teniendo en cuenta que los vectores de cálculo que conforman la casa de la calidad (*House of Quality*, HOQ) pueden ser tratados como SCP independientes, se diseñó una red difusa (cada nodo en la red representa un vector o matriz) que simula la construcción de la estructura de la HOQ convencional y permite involucrar la incertidumbre en el sistema asociando varios SCP (Olaya, Cortés & Duarte, 2005a).

### Etapa 5. Matriz de correlación

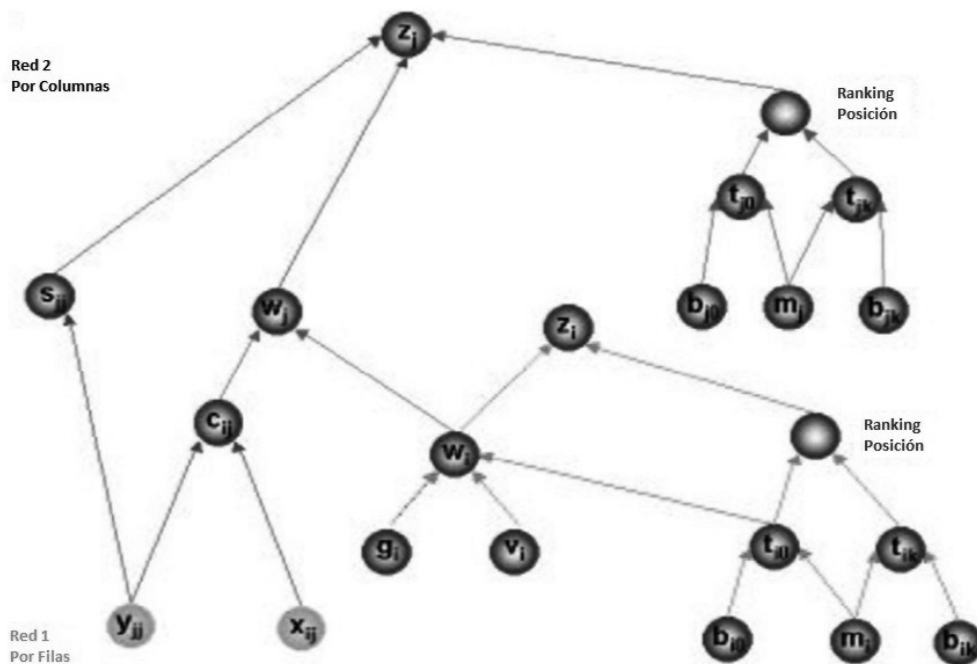
Mediante esta matriz ( $C_{ij}$ ) se relaciona cada requerimiento con cada capacidad, con el fin de establecer el grado de

influencia de la capacidad de la organización en la satisfacción de una necesidad u objetivo identificado; la estructura fundamental de la matriz de correlación está constituida por dichos vectores. Estos permiten evaluar si una determinada capacidad incrementa la satisfacción de las necesidades, la disminuye o simplemente no la afecta (Olaya, 2003).

Teniendo en cuenta que los vectores de cálculos son tratados como SCP independientes, se construyó la red difusa que simula la construcción de la estructura del QFD tradicional y permite involucrar la incertidumbre en el sistema asociando varios SCP (Figura 5); para tal efecto se utilizó el software FuzzyNet (Duarte, FUZZYNET 1.0 Software Para el Diseño e Implementación de Redes de Sistemas de Computación con Palabras., 2005).

Para este artículo se trabajó con unos vectores básicos (simplificados) de una innovación de producto y la matriz de correlación que se generó fue de tamaño  $7 \times 28$ .

Figura 5. Red SCP para la primera fase del QFD.



## Etapa 6. Matriz de sensibilidad

Con esta interrelación ( $S_{ij}$ ) se determina el tipo de relación que hay entre características y el grado de dependencia entre ellas. Esta matriz debe definirse de manera clara según su dirección, pues permite identificar de dónde proviene la dependencia y cómo puede corregirse (Olaya, 2003).

La matriz de sensibilidad permite identificar si hay dependencia entre capacidades y establecer su tipo; es decir, si una capacidad ejerce una influencia negativa sobre otra, al incrementar el valor de la primera se desmejora la segunda. Lo ideal en esta matriz es que no haya dependencia pero si la hay es importante saber si es negativa o positiva y en qué grado.

Mediante el análisis dinámico de variables (González, 2001), se determinó la dependencia entre las capacidades del

vector Y, y con dicha información se determinó el grado de correlación entre capacidades.

## Etapa 7. Matriz de evaluación

Esta matriz está constituida por una serie de vectores mediante los cuales se evalúa la situación con respecto a cada requerimiento de la organización y la competencia para el desarrollo de un proyecto determinado. Se divide en dos partes: la primera está constituida por los factores de evaluación, esto es, vectores que evalúan cada requerimiento con una calificación que permite valorar el nivel de satisfacción de cada uno. La segunda se denomina evaluación competitiva externa, y comprende las percepciones cuantificadas del equipo de selección del proyecto propuesto, con respecto a las necesidades planteadas en el vector X.

En la Tabla 3 se muestran las características de las variables de entrada y nodos de cálculo para la matriz de evaluación.

**Tabla 3.** Vectores de la matriz de evaluación

Nodo	Tipo	Cálculo	Descripción
Grado de importancia (g)	Variable de entrada		Representa la importancia para la organización de cada requerimiento ( <i>ith</i> ) expresado en el vector X.
Plan de calidad (m)	Variable de entrada		Representa el valor meta a alcanzar para cada requerimiento ( <i>ith</i> ).
Punto de venta (v)	Variable de entrada	VARIABLES LINGÜÍSTICAS expresadas por etiquetas y representadas por números triangulares difusos en un universo de discurso con rango [0,1].	Es una puntuación que permite identificar los requerimientos que pueden llegar a influir en la decisión de desarrollar un proyecto.
Evaluación competitiva externa ( $b_{ij}$ , $b_{jk}$ )	Variable de entrada		Este vector comprende las percepciones cuantificadas del equipo de selección sobre el proyecto propio y de los competidores, con respecto a cada requerimiento ( <i>ith</i> ) del vector X.
Ratios de mejora ( $t_{ij}$ , $t_{jk}$ )	Nodo de cálculo	Combinación lineal acotada.  Donde x representa las variables del plan de calidad (m) y la evaluación competitiva externa ( $b_{ij}$ , $b_{jk}$ ). a y b: son coeficientes (1) y (-1).	Vector que presenta información de cada competidor con respecto al valor dado en el plan de calidad establecido para cada requerimiento ( <i>ith</i> ).

Nodo	Tipo	Cálculo	Descripción
Ranking de Posición	Nodo de cálculo	El ranking se establece mediante la comparación de los ratios de mejora propios respecto a la competencia y se determina la posición de cada uno.	Vector que tiene por finalidad mostrar la posición de la propia organización con respecto a los competidores para cada requerimiento ( <i>ith</i> ).
Peso absoluto ( <i>w</i> )	Nodo de cálculo	Combinación lineal.  Donde <i>x</i> representa las variables de Ratios de mejora ( $t_{ij}$ ), punto de venta ( <i>v</i> ) y grado de importancia ( <i>g</i> ), <i>a</i> , <i>b</i> , <i>c</i> : coeficientes que acompañan a la variable <i>X</i> .	Establece el nivel de importancia involucrando el nivel de mejora que se requiere en relación con cada requerimiento ( <i>ith</i> ) y si es un requerimiento que puede influir en la decisión de desarrollar la propuesta.
RC prioritario ( <i>z</i> ).	Nodo de cálculo	Combinación lineal.  Donde <i>x</i> representa las variables de peso absoluto ( <i>w</i> ) y Ranking. <i>a</i> y <i>b</i> : coeficientes que acompañan a la variable <i>X</i> .	Permite identificar y priorizar los requerimientos críticos que se deben fortalecer.

Como se anotó en el numeral 3.1.4, para correr el modelo se evaluó la capacidad para adelantar un proyecto de innovación de producto de una organización, las capacidades de la propia organización ( $b_0$ ), comparándolas con otras: un grupo de investigación aplicada ( $b_1$ ) y una empresa experta en transferencia tecnológica ( $b_2$ ). La construcción del modelo se fundamentó en la identificación del criterio del equipo de selección, con respecto a la viabilidad y pertinencia para satisfacer las necesidades del vector *X* en cada uno de los perfiles propuestos.

de los competidores frente a cada capacidad identificada en el vector *Y*. Está conformada por dos partes: la primera comprende los factores de evaluación técnica, que son vectores que evalúan cada capacidad con una calificación asignada por el equipo de selección; la segunda es una operación entre vectores que buscan determinar las capacidades prioritarias (Olaya, 2003).

En la Tabla 4 se muestran las características de las variables de entrada y nodos de cálculo para la matriz de puntuación.

## Etapa 8. Matriz de puntuación

Esta matriz está compuesta por una serie de vectores que evalúan la situación de la capacidad de la organización y

**Tabla 4.** Vectores de la matriz de puntuación

Nodo	Tipo	Cálculo	Descripción
Metas de diseño ( $m_j$ )	Variable de entrada		Son variables medibles que puedan ser manipuladas en alguna medida, mediante las cuales se pretende lograr la satisfacción de los requerimientos del vector X.
Evaluación competitiva interna ( $b_{p_i}, b_{p_j}$ )	Variable de entrada	Variabes lingüísticas expresadas por etiquetas y representadas por números triangulares difusos en un universo de discurso con rango [0,1]	Este vector busca calificar cada una de las capacidades ( $i^{th}$ ) de cada competidor respecto a la meta de diseño.
Peso absoluto ( $w_j$ )	Variable de entrada	Suma Producto.  Donde x representa las variables de peso absoluto ( $w_j$ ) y matriz de correlación ( $c_{ij}$ ). a, b, c...z: son coeficientes (1/n), (1), (1/n), (1).	Este vector permite establecer qué tan eficiente es una capacidad para satisfacer los requerimientos del vector X y por lo tanto permite identificar hacia cuáles capacidades concentrar esfuerzos y recursos.
Ratios de mejora ( $t_{i_0}, t_{i_k}$ )	Nodo de cálculo	Ver ratios de mejora ( $t_{i_0}, t_{i_k}$ )	Se calcula para cada competidor, con la finalidad de identificar qué tan lejos está cada uno con respecto a las capacidades.
Ranking de posición	Nodo de cálculo	El ranking se establece mediante la comparación de los ratios de mejora propios respecto a la competencia y se determina la posición de cada uno	El ranking de capacidades busca determinar el nivel de cada capacidad para llegar a la meta de diseño propuesta.
CQ prioritario (Z)	Nodo de cálculo	Combinación lineal.  Donde x representa las variables de peso absoluto ( $w_j$ ), matriz de sensibilidad y ranking.  A: son coeficientes (1/3) (1/3), (1/3) que acompañan a la variables.	Permite priorizar las capacidades e identificar a cuáles se les debe asignar el mayor tiempo y recurso para ser mejoradas.

El proyecto evaluado en este estudio permite valorar las capacidades de la organización, de un grupo en investigación aplicada, y de una empresa experta en transferencia tecnológica. Su construcción se apoya en nodos de entrada y en nodos de cálculo (Ver Figura 5).

## Análisis de resultados

La primera parte del análisis de resultados corresponde a la estrategia de requerimientos, en la cual se identifican las necesidades u objetivos críticos para el desarrollo de proyectos de I+D+i en una organización. Por lo tanto se evalúa la información de los vectores grado de importancia ( $g_j$ ), peso absoluto ( $w_j$ ) y CQ prioritario ( $z_j$ ).

**Tabla 5.** Resultados de la estrategia de requerimientos

Prioridad	$g_j$	$w_j$
Prioridad Alta	Reemplazar los productos obsoletos. Aumentar o mantener la cuota del mercado. Mejorar la calidad de los bienes y servicios. Reducir los costos de diseño de los productos.	Reemplazar los productos obsoletos. Aumentar o mantener la cuota del mercado. Reducir los costos de diseño de los productos.

Como se puede observar en la Tabla 5, de los 7 requerimientos seleccionados como necesidades a satisfacer en un proyecto de innovación de producto, 6 tienen una prioridad media y 1 tiene una prioridad baja. Esto evidencia

la percepción de que la organización puede satisfacer las necesidades establecidas y se encuentra en una mejor posición que la competencia. Por lo tanto, los esfuerzos para este ejercicio se deberían enfocar en el mejoramiento de las necesidades determinadas en el peso absoluto  $w_j$  como de alta prioridad.

La segunda parte del análisis de resultados evalúa las capacidades críticas propias y de la competencia. Se evalúa la información de los vectores peso *ranking* de posición y CQ prioritario ( $z_j$ ).

**Tabla 6.** Resultados de estrategia capacidades

Etiqueta	$z_j$
Importante	<p>Nivel de exigencia de los objetivos estratégicos de I+D+i (incrementales o radicales, nacionales o internacionales).</p> <p>Utilización de bases de datos y otras herramientas para determinar el estado de la técnica.</p> <p>% Concesiones / Solicitudes PI.</p> <p>Nivel de producción tecnológica (calidad).</p> <p>Intensidad de producción tecnológica.</p> <p>Diferencia entre el tiempo proyectado y tiempo real en ejecución de proyectos.</p> <p>Nivel del estado del <i>hardware</i> actual frente al requerido.</p> <p>Número de personas en planta dedicadas a I+D+i.</p> <p>Personal con PhD (%).</p> <p>Relacionamiento Universidad-Empresa-Estado.</p>

Como se puede apreciar en la Tabla 6, de las 28 capacidades determinadas para el desarrollo de una innovación de producto, 9 fueron identificadas como importantes según el vector CQ prioritario ( $z_j$ ). Las 19 restantes se ubican en el nivel de recomendadas. Según el ranking de posición, la organización está situada en el nivel medio con respecto a las capacidades para lograr el desarrollo de la propuesta; sólo 5 capacidades están situadas en la etiqueta última, de las cuales ninguna se ubica en la categoría de recomendados.

## Conclusiones

La complejidad inherente al desarrollo de proyectos de I+D+i está relacionada con riesgos tecnológicos, de

mercados, organizacionales y financieros; por ende, una herramienta que le permita a la organización la identificación y priorización de sus capacidades puede ayudarle a administrar sus recursos de una manera adecuada para la mitigación de la ocurrencia, impacto y control del riesgo. Esta propuesta se fundamentó en la adaptación de la metodología de diseño de productos QFD (*Quality Function Deployment*) para el caso de proyectos de I+D+i, la cual se modificó para modelar el riesgo mediante números difusos y Sistemas de Computación con Palabras (SCP), aportando así una herramienta confiable, robusta, ágil y flexible para la toma de decisiones en la etapa temprana de planeación, y que no desatiende la imprecisión asociada a la información. Una de las ventajas del modelo es que se puede adaptar a la evaluación de capacidades para diferentes clases de proyectos y comparar las capacidades de distintos tipos de organizaciones. Esta flexibilidad permite decidir si se desarrolla el proyecto unitariamente o si se requiere de una alianza estratégica que también puede ser valorada.

Los datos arrojados por la herramienta computacional Fuzzy-Net para la innovación de producto, tomada como ejemplo en este artículo, evidencian la viabilidad de implementar el modelo propuesto para la identificación y priorización de capacidades. Sin embargo, es importante aclarar que esta propuesta es teórica y debe ser validada y ajustada para su implementación como herramienta de toma de decisiones en una organización.

El éxito de la implementación de este modelo para un proyecto determinado radica en la adecuada selección de los requerimientos ( $X$ ), capacidades ( $Y$ ) y demás datos de entrada que lo alimentan; por lo tanto es fundamental el conocimiento y experticia del equipo de selección para el desarrollo del modelo y análisis de resultados arrojados por el software.

## Referencias

- Aguirre Ramirez, J. J. (2012). *Metodología para Medir y Evaluar las Capacidades Tecnológicas de Innovación Aplicando Sistemas de Logica Difusa: Caso Fabricas de Software*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Akao, Y., & Mazur, G. H. (2003). The leading edge in QFD: Past, present and future. *The International Journal of Quality & Reliability Management*, 20(1), 20–35.
- Brooking, A. (1997). *El Capital Intelectual: el principal activo de las empresas en el tercer milenio*. Barcelona, España: Paidós Ibérica.
- Chandy, R. K., & Tellis, G. (1998). Organizing for radical product innovation: the overlooked role of willingness to cannibalize. *Journal of Marketing Research*, 35(4), 474–487.
- Chun-hsien, W., Iuan-yuan, L., & Chie-bein, C. (2008). Evaluating firm technological innovation capability under uncertainty. *Technovation*, 28, 349-363.
- DANE., & Departamento Nacional de Planeación, Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, COLCIENCIAS. (2005). *Segunda Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica –EDIT II–. Innovación y desarrollo tecnológico en la industria manufacturera 2003-2004*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE.
- Doering, D. S., & Parayre, R. (2000). *Identification and assessment of emerging technologies*. In: G.S. Day (ed.), *Wharton on Managing Emerging Technologies* (75-98). New York: John Wiley.
- Drucker, P. (1995). *La sociedad post capitalista* (2a. ed.). Bogotá: Grupo Editorial Norma.
- Duarte, O. G. (2000). *Técnicas Difusas en la Evaluación de Impacto Ambiental*. Universidad de Granada, Granada.
- \_\_\_\_\_. (2005). FUZZYNET 1.0 Software Para el Diseño e Implementación de Redes de Sistemas de Computación con Palabras.
- Gonzalez, M. E. (2000). *QFD La Función Despliegue de la Calidad*. McGraw-Hill. España: McGraw-Hill.
- Halman, J. M., & Keizer, J. A. (1994). Diagnosing risks in product innovation projects. *International Journal of Project Management*, 12(2), 75-80.
- Keizer, J. A., Halman, J. M., & Song, M. (2002). From experience: applying the risk diagnosing methodology. *Journal of Product Innovation Management*, 19, 213–232.
- Knight, F. (1921). *Risk, Uncertainty and Profit*. Chicago: University of Chicago Press.
- Mu, J., Pengb, G., & MacLachlan, D. (2008). Effect of risk management strategy on NPD performance. *Technovation*, 29(3), 170-180.
- OCDE. (2002). *Manual de Frascati Propuesta de Norma Práctica para Encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental*. Paris.
- \_\_\_\_\_. (2005). *Manual de Oslo 3ª Edición- Guía para la recogida e interpretación de Datos de Innovación* (3 ed.). Paris: TRAGSA.
- Olaya, E. S. (2003). *Despliegue de función calidad (QFD) apoyado mediante lógica difusa para requerimientos de diseño de prótesis mioeléctrica de mano*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Olaya, E. S., Cortes, C. J., & Duarte, O. G. (2005a). Despliegue de Función Calidad (QFD) apoyado mediante técnicas difusas: Caso Prótesis mioeléctrica de mano. *Ingeniería e Investigación*, 25(2), 4-14.
- \_\_\_\_\_. (2005b). Despliegue de la función calidad (QFD): beneficios y limitaciones detectados en su aplicación al diseño de prótesis mioeléctrica de mano. *Ingeniería e Investigación*, 57, 30-38.
- OMPI. (2006). Transferencia Tecnológica y Desarrollo. *Revista de la OMPI*, 10-12.
- Renard, L., & Saint-Amant, G. (2003). Capacité, capacité organisationnelle et capacité dynamique: une proposition de définitions. *Les cahiers du Management Technologique*, 13(1), 43-56.
- Robledo, J., Gómez, F. A., & Restrepo, J. F. (2008). Relación entre Capacidades de Innovación Tecnológica y Desempeño Empresarial en Colombia. En: *Memorias del Primer Congreso Internacional de Gestión Tecnológica e Innovación* (21). Bogotá: Cargraphics.
- Rumelt, R. P. (1987). Theory, strategy and entrepreneurship. *The Competitive Challenge: Strategies for Industrial Innovation and Renewal*, 137-158.
- Sagasti, F. (2011). *Ciencia Tecnología e Innovación. Políticas para América Latina*. Fondo de Cultura económica. Lima: Fondo de Cultura Económica.

- Sang-Yon, T. L., Hee-Woong, K., & Sumeet, G. (2009). Measuring open source software success. *Omega*, 37(2), 426-438.
- UNE. (2010). *Gestión de la I+D+i con las normas de la serie UNE 166000: Terminología y definiciones de las actividades de I+D+i*. Barcelona.
- Wang, C.-h., Iuan-yuan, L., & Chie-bein, C. (2008). Evaluating firm technological innovation capability under uncertainty. *Technovation*, 28(6), 349-363.
- Wang, L., Juan, Y. K., Wang, J., Li, K. M., & Ong, C. (2012). Fuzzy-QFD approach based decision support model for licensor selection. *Expert Systems with Applications*, 39, 1484-1491.
- Wenqiang, L., Yan, L., Wang, J., & Liu, X. (2010). The process model to aid innovation of products conceptual design. *Expert Systems with Applications*, 37, 3574-3587.
- Yam, R. C., Guan, J. C., Pun, K. F., & Tang, E. P. (2004). An audit of technological innovation capabilities in Chinese firms: some empirical findings in Beijing. *Research Policy*, 33, 33(8), 1123-1140.
- Zhi-Ping, F., Feng, B., Yong-Hong, S., & Ou, W. (2009). Evaluating knowledge management capability of organizations: a fuzzy linguistic method. *Expert Systems with Applications*, 36, 3346-3354.