

## EQUIPOS MULTIDISCIPLINARES DE DISEÑO DE PRODUCTO CON EL DISEÑO AXIOMÁTICO

Jaime Aguilar-Zambrano

*Pontificia Universidad Javeriana – Cali, Colombia*

M<sup>a</sup>Carmen González-Cruz

*Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España*

### **Abstract**

The analysis of product design process shows problems that result in inadequate user design proposals: Organizations are reluctant to use methods and techniques in the conceptual design; designers use their own strategies for problem solving and there is little integration between different disciplines involved in the project. Additionally, there is a breakdown between product requirement to meet user needs and development and manufacturing in the conceptual design phase.

A strategy to reach synergy in the design teams is required. This strategy must integrate all stakeholders from the beginning of the project to consider the development, manufacturing and marketing of product.

This article proposes a strategy of product design with multidisciplinary teams. It is based on Axiomatic Design, which promotes integration of requirements, engineering design and manufacturing process of the product.

The strategy proposed provides a continuous view of the design process to the organization, a design methodology respecting creative thinking and an integration of all disciplines throughout the process.

**Keywords:** *Product design, multidisciplinary teams, Axiomatic Design, Design methods*

### **Resumen**

En el análisis del proceso de diseño del producto se detectan algunos problemas que derivan en inadecuadas propuestas para el usuario: las empresas son reacias a utilizar métodos y técnicas en el diseño conceptual; los diseñadores acuden a estrategias propias para la resolución de problemas; y falta integración entre los profesionales de las diferentes disciplinas involucradas en el proyecto. Adicionalmente, existe una desagregación entre los requerimientos del producto que satisfacen las necesidades del usuario, y los de desarrollo y manufactura en la fase de diseño conceptual.

Se requiere una estrategia que permita lograr una sinergia en los equipos de diseño, que integre a todas las partes interesadas, para considerar desde el primer momento las condiciones posteriores de desarrollo, manufactura y mercado del producto.

Esta comunicación propone una estrategia de diseño del producto con participación multidisciplinar. Se toma como base el Diseño Axiomático, que favorece la integración de las necesidades y requerimientos del producto, el diseño de ingeniería y los procesos de manufactura.

La estrategia propuesta proporciona una visión continua del proceso de diseño a la empresa, una estructura metodológica al diseñador sin afectar al pensamiento creativo personal, y una integración de todas las disciplinas a lo largo del proceso.

**Palabras clave:** *Diseño de producto, Equipos multidisciplinares, Diseño Axiomático, Métodos de diseño*

## 1. Introducción

El diseño de productos con la participación de equipos multidisciplinares es visto como una adecuada estrategia de diseño por ampliar la visión del problema (Pugh 1991) y por el uso de conocimientos de diversas fuentes que favorecen la invención (Salamatov 1999). Sin embargo, se requiere de más experiencias empíricas que validen su potencial (Peeters et al 2007, Rafols and Meyer 2006). Varios estudios con equipos multidisciplinares de diseño han analizado el proceso creativo en las etapas preliminares de generación de ideas, y los resultados afirman que muchas de las dificultades de la efectividad del trabajo de los equipos de diseño se deben a los problemas de comunicación, la toma de decisiones cooperativas y la ausencia de liderazgo (Peeters et al 2007, González et al 2008). Los nuevos desarrollos alrededor de la ingeniería concurrente, una estrategia para el trabajo colectivo en el diseño de producto, brindan herramientas informáticas para presentar y evitar la redundancia de la información en los procesos establecidos desde el diseño hasta la manufactura en las empresas pero la herramienta no asegura la sinergia del equipo ni la toma de decisiones colectivas sino la eficiencia en el manejo de la información (Xue and Yang 2004). Algunas empresas usan Six Sigma en el desarrollo de sus proyectos lo cual es particularmente robusto en las partes últimas del proceso de diseño asociadas con la materialización y producción, pero hace falta trabajo en la fase del diseño conceptual. En este sentido es importante decir que un producto mal concebido no puede ser mejorado por estrategias de mejoramiento de calidad sucesivas (Dickinson 2006).

En la literatura se reportan varios métodos y técnicas para ayudar al proceso de diseño de producto, muchas de estas técnicas son conocidas por las empresas pero son poco utilizadas como lo muestran las encuestas en el Reino Unido, Japón y Suecia (Araujo et al 1996, Fujita and Matsuo 2005, Janhager et al 2002). Algunas de las razones del por qué las empresas no utilizan algunos métodos o técnicas se debe al escepticismo frente a las nuevas estrategias, a la resistencia que causa el abandonar prácticas que les ha costado mucho esfuerzo alcanzar, a la preferencia de técnicas que requieran el menor esfuerzo y porque no existe un proceso racional para involucrarlas en la gestión empresarial. Además, pese a que existen un conjunto de teorías, métodos y técnicas que producen buenos resultados, existen también estilos personales de los diseñadores que las modifican alcanzando también buenos resultados. En ese mismo sentido, algunos diseñadores se apartan de los métodos y técnicas formales, utilizan estrategias particulares y también pueden llegar a buenos resultados aunque no se pueda afirmar que esas estrategias funcionen en cualquier situación de diseño (González et al 2007).

En este artículo se propone un modelo para el diseño de producto con la participación de equipos multidisciplinares provenientes de la Universidad, la Empresa consolidada, la empresa de base tecnológica y el usuario, con el soporte del Estado. Los análisis de este tipo de relaciones, triángulo de Sábato y la triple hélice, han demostrado que se presentan tensiones entre las partes y que se requiere seguir explorando mecanismos para una verdadera colaboración entre estas entidades (Etkowitz and Leydersdoff 2000). De esta forma, con el modelo de gestión de la innovación se espera conseguir varios resultados de interés para las partes, productos innovadores para la empresa, trabajos investigativos para la Universidad y estudios de impacto social para el Estado. En el modelo propuesto el punto de encuentro es la Necesidad Social desde una óptica multidisciplinar y multiorganizacional, en lugar de la sola lógica del mercado como tradicionalmente se ha visto el diseño de productos. El modelo de interacción de los actores toma como teoría de referencia el Diseño Axiomático junto con las estrategias de solución inventiva TRIZ y el uso de técnicas

como la lógica fuzzy para la manipulación de los requerimientos subjetivos del producto (Ulla 2004).

El artículo se encuentra organizado de la siguiente forma, las primeras secciones analizan el proceso de diseño de producto frente al uso de técnicas, la influencia de los estilos personales y las características del trabajo multidisciplinar. Las dos últimas secciones, con base en las anteriores, presentan un modelo de actuación multidisciplinar con la participación de la Universidad, la Empresa, el Estado y el Usuario tomando como eje de referencia el Diseño Axiomático.

## 2. Estrategias de diseño de producto utilizadas en las empresas

Existen diferentes métodos para el diseño de productos, algunos prescriptivos y otros de tipo descriptivo (Cross 1998). Dentro de los modelos prescriptivos, la propuesta de Pugh (1991) propone las siguientes fases: Identificación de necesidades, Definición de especificaciones, Diseño Conceptual, Diseño detallado, Producción y Venta (Pugh 1991). Por su parte, Pahl y Beitz se refieren a las etapas de Planificación, Diseño conceptual, Materialización y Detalle (Pahl and Beitz 1995). En la Tabla 1, bajo el modelo de Pugh, se muestra una asociación de un conjunto de técnicas y métodos tomados a partir de las encuestas realizadas en Japón, Suecia e Inglaterra. Debe reconocerse que no hay una relación rígida entre la fase del proceso de diseño y el método o técnica porque las fases no son estrictas sino que tienen una transición entre ellas, y a su vez, las técnicas pueden ser útiles en varias fases del proceso.

Pese a que existen diferentes métodos y técnicas para el desarrollo del producto, en las empresas no es frecuente su uso como lo demuestran los estudios en Inglaterra (Araujo et al 1996), Japón (Fujita & Matsuo 2005) y Suecia (Janhager et al 2002). Tanto en el estudio de Japón como de Inglaterra se afirma que la utilización de aquellos métodos o técnicas que requieren mayor esfuerzo en introducción (que lleguen efectivamente a las empresas) es relativamente baja en comparación con el conocimiento que se tiene de su existencia. De igual forma, se afirma que aunque se reconozca la efectividad de cierta técnica o método, su uso puede ser bajo. Por su parte, los métodos para facilitar la comunicación del equipo, tales como brainstorming, reuniones de revisión de diseño, y los métodos para recolectar información, tales como revisión de patentes, revisión de literatura, benchmarking, revisión de diseño por catálogo son utilizadas ampliamente (Fujita & Matsuo 2005, Araujo et al 1996).

Fase del proceso de Diseño	Método - Técnica
Identificación de necesidades	Análisis de necesidades,
Definición de especificaciones	Análisis del competidor, Benchmarking, Despliegue de función de calidad (QFD), Diagrama de Ishikawa, Revisión de patentes, Gráfico de valor, Análisis de Función, Árbol de objetivos, Especificación de diseño de producto, Análisis de paso crítico
Diseño Conceptual	Prototipado rápido, 3D CAD, Reuniones de revisión de diseño, diseño de prototipos, Revisión de literatura, Brainstorming, Software para diseño óptimo, Método Taguchi (Diseño robusto), Diseño de experimentos, Análisis de Pareto, Diseño por catálogo, Diseño óptimo basado en programación matemática, Análisis de valor, Juicio de entropía, Matrices de evaluación, Juicio de ciclo de vida (LCA), Mapa de estructura de función, Método KJ,

	Aproximación a la ingeniería de sistemas, Simulación, Matriz morfológica, Dibujo, Análisis de objetivos
Diseño detallado	CAE, Análisis Numérico, Software de simulación, Control de calidad estadístico, Análisis de efecto de modo de fallo, Análisis de árbol de fallo (FTA), Diseño para ensamble, contabilidad de costo basado en actividad, Selección de materiales,
Producción	2D CAD (Computer Aids for Design), CADD (computer aids for Detailed Design), Sistema PDM, Control total de la calidad, de la administración (TQC/TQM), Control estadístico de procesos, Análisis de cuellos de botella, Diseño para manufactura (DFM),

Tabla 1. Asociación de fases del diseño de producto bajo la propuesta de Pugh con métodos y técnicas para soportarlas

### 3. Estrategias de los diseñadores en la resolución de problemas

El proceso de resolución de problemas en el diseño de productos es uno de los temas que más ampliamente se han analizado en el diseño de productos. Una de las primeras teorías, la de Asimow (1968), consideran que el proceso de diseño se compone de la etapa de la definición del problema –Análisis-, la generación de ideas –Síntesis-, la etapa de Evaluación y por último la etapa de de selección (Asimow 1968). Aunque esta descripción enuncia las etapas generales del proceso, no corresponden exactamente a la que realizan los diseñadores en la práctica. Los estudios empíricos han demostrado que el proceso creativo toma lugar en todas las fases del diseño y que esas etapas de análisis y evaluación se repiten cada vez que surgen soluciones de diseño (Maher and Poon 1996).

Varios autores reconocen la importancia dentro del proceso de diseño del Análisis y la Síntesis. De esta forma, algunos afirman que el análisis es la base de cualquier proceso creativo y que es la transición de un problema mal estructurado a uno adecuadamente estructurado (González 2007). Jones (1978) afirma que la etapa de síntesis consiste en la generación de posibles soluciones que satisfacen las especificaciones del problema de diseño y que para este propósito se utilizan diferentes métodos, algunos sistemáticos (la caja transparente) y otros creativos (la caja negra).

El trabajo del diseño, a pesar de las diversas teorías, métodos y técnicas, continua siendo una actividad en la cual el diseñador es un elemento clave como individuo y como agente cognitivo independiente, el cual transforma ese trabajo en un proceso creativo y muchas veces impredecible. Varios estudios han demostrado lo exitoso de la aplicación de las teorías clásicas de diseño pero también, otros tantos, ha verificado a través de estudios empíricos que los estilos personales afectan el proceso de diseño y condicionan en gran medida su efectividad (González et al 2007). En este sentido, se considera importante analizar las razones por las cuales los diseñadores adoptan esquemas concretos de resolución de problemas lo cual se analiza a partir de las etapas de Análisis y Síntesis (González et al 2007). Para el análisis, los factores que inciden en la adopción de esquemas concretos en la resolución de problemas son: la precisión de la formulación del problema, la experiencia y los estilos propios de resolución (González et al 2007).

Para la síntesis, el factor que inciden en la adopción de mecanismos concretos en la resolución de problemas está asociado con la creatividad. De esta forma hay diseñadores que utilizan para dicho proceso métodos sistemáticos como TRIZ (Savransky 2000, Salamatov 1999) o la matriz de Pahl y Beitz (1995) o métodos intuitivos tales como Brainstorming, Scamper, análisis funcional, entre otros (Gonzalez et al 2008), con resultados adecuados con ambas estrategias. En el proceso de ideación, el foco de investigación está en el análisis del proceso creativo y del producto creativo (Sha 2003).

En el proceso creativo se evalúa la interacción en los equipos de diseño (Peeters et al 2007), los procesos de comunicación, la toma de decisiones colectivas, la efectividad de los equipos multidisciplinares y las características personales para la conformación de equipos de diseño efectivos.

#### **4. Estrategias de trabajo multidisciplinar para el diseño de productos**

Desde la Ingeniería existen propuestas de trabajo cooperativo como la Ingeniería Concurrente (Xu et al 2007) y el Diseño Optimo multidisciplinar (Tovar et al 2007). Estas estrategias son aproximaciones empresariales y matemáticas al trabajo colectivo dentro de un proceso establecido, básicamente de la ingeniería y la producción, para mejorar su eficiencia, evitar actividades redundantes, sincronizar la comunicación y optimizar la coordinación de los agentes del sistema productivo, entre otros. La ingeniería concurrente no da cuenta de las dinámicas de interacción en los equipos participantes ni se puede asegurar que exista un proceso de toma de decisiones cooperativa.

En el diseño, el problema de la colaboración requiere de la interacción de las personas, mediada o no mediada por recursos informáticos, pero donde se establezcan puntos de vista y criterios para elegir alternativas y tomar decisiones en forma colectiva (Peeters et al.2007) sin necesidad de ver el trabajo de los participantes como una estrategia de competición que podría abordarse desde la teoría de juegos, ni tampoco como un simple agregado de disciplinas. Desde el punto de vista de la innovación, el trabajo cooperativo es visto como deseable por todas la organizaciones para aprender, usar y compartir las lógicas de otros saberes (Hosnedl and Dvorak 2008). Dentro de este panorama, se detecta una ausencia de análisis de la efectividad de los equipos de diseño multidisciplinar a partir de experiencias empíricas, que den cuenta de las dinámicas de los grupos participantes (Peeters, M., 2007).

#### **5. Características del trabajo Universidad-Estado-Empresa en el diseño de producto**

Muchos autores han expresado la necesidad del trabajo Universidad-Estado- Empresa, tomando como referencia tanto en el modelo de Sábato como en la triple hélice (Etzkowitz and Leydesdorff 2000). En los estudios se ha analizado las tensiones que encierran estas relaciones debido a los intereses diferentes de cada uno de los actores, sus diferencias en organización, mecanismos de trabajo, promoción y tradición, entre otros. En el diseño de productos, cuando se busca entablar una relación Universidad – Empresa en función de los objetivos, la disparidad es evidente, se encuentra que el interés para la primera es el conocimiento y el mercado para la segunda, lo cual trae dificultades para una relación basada en estos objetivos. De esta forma, si el mercado se vuelve el eje de relación entre la Universidad y la Empresa se presenta un rechazo de la Universidad porque reduce su capacidad de acción frente a horizontes más amplios del conocimiento; de igual forma, algunos autores afirman que una relación basada en el mercado ejerce una censura a las ciencias sociales, las cuales parecen no estar directamente asociadas con ese objetivo (Hayrinen-Alestalo and Peltola 2006). Por otra parte, cuando el conocimiento está en el centro de la relación entre las dos entidades, se presentan problemas de comunicación entre éstas por los diferentes estilos de lenguaje, la generación de productos comerciales con base en la investigación no es inmediata ni fácil y la administración del proyecto se vuelve compleja dado que los objetivos pueden ser poco concretos.

La característica empresarial incide en las relaciones entre la Universidad y la Empresa, siendo las grandes empresas las más propensas a este tipo de relación pero con poca intensidad y a su vez las empresas de mediana tecnología parece tener mayor intensidad en este tipo de relaciones aunque los conocimientos requeridos no sean los más avanzados

dentro del desarrollo investigativo. Un caso de especial atención son la jóvenes empresas de base tecnológica las cuales aparecen en el contexto empresarial poniendo en el mercado el nuevo conocimiento producido desde las universidades, estas organizaciones presentan formas flexibles de organización y una adecuada relación con las empresas consolidadas. De igual forma, este tipo de organizaciones mantienen relaciones fluidas con la Universidad porque generalmente han emergido de la aplicación de un trabajo investigativo y pueden convertirse en elementos dinamizadores de la relación entre la Universidad y la empresa consolidada. Una de las amenazas que tienen este tipo de organizaciones, como se ha verificado en las empresas de biotecnología, es su permanencia en el tiempo al ser absorbidas por las grandes empresas que aprenden de su desarrollo (Roijsackers and Hagedoom 2006).

Para el diseño de producto, las universidades tienen un potencial que es su amplio espectro de disciplinas y profesiones que permitiría ampliar la visión del problema (Pugh 1991) y encontrar soluciones inventivas desde disciplinas diferentes de donde se originan los problemas (Salamatov 1999). Por su parte, la empresa consolidada posee un conocimiento actualizado del mercado, conoce los procesos productivos, el reconocimiento de marca y los canales de provisión y logística, todo lo cual debe ser aprovechado para un verdadero proceso de innovación. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, algunas empresas se muestran reacias a aplicar nuevos conocimientos o técnicas, sobrevalorando lo conseguido con esfuerzo a lo largo de los años dentro de su actividad, aunque estos conocimientos no estén racionalmente estructurados (Suh 2001) y sus estructuras administrativas rígidas funcionales no favorezcan el trabajo multidisciplinar. Debe tenerse presente que los procesos de innovación deben ser medidos y no basta con tener buenas ideas sino que éstas deben ser difundidas y deben convertirse en verdaderas operaciones de negocio lo cual sugiere un trabajo coordinado y efectivo entre las entidades sin afectar los propios objetivos institucionales.

## 6. Un modelo de gestión de la innovación con la Universidad, el Estado y la Empresa en el diseño de producto

Se propone un modelo de trabajo cooperativo, o de Gestión de la Innovación, entre la Universidad, la empresa, el Estado y el Usuario para el desarrollo de producto. Respecto a los actores dentro del modelo, la empresa se ha separado explícitamente en dos tipos, por un lado está la empresa consolidada y por otro la joven empresa de base tecnológica. Adicionalmente, se presenta en forma explícita al usuario para una participación permanente en el proceso de diseño y para evitar que sea únicamente un elemento de consulta en los extremos de este proceso. La Figura 2 presenta el modelo propuesto.

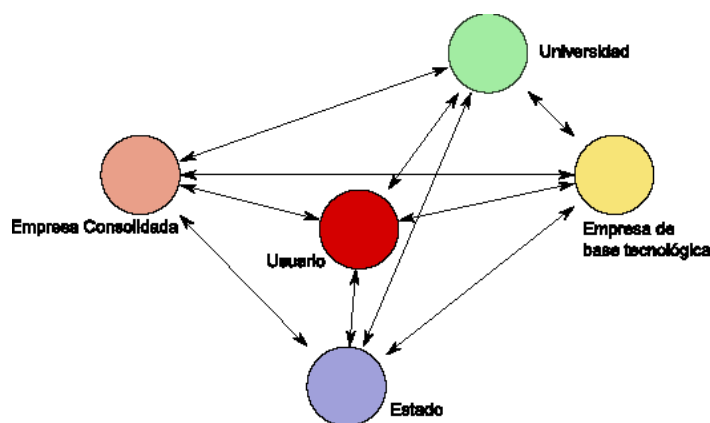


Figura 2. Modelo de Gestión de la Innovación

Como se discutió en la sección anterior, una relación basada en objetivos institucionales no favorece el diálogo entre las partes involucradas, por eso en este modelo el centro de convergencia es la Necesidad Social la cual está asociada con el usuario. Cuando el mercado deja de ser el principal centro de convergencia de la relación, los actores (Universidad, Estado, Usuario y Empresa) pueden satisfacer sus propios intereses al involucrarse en la necesidad social desde su campo de acción y no son simples extensiones de la empresa para alcanzar un solo propósito. De esta forma, no sólo se generan productos innovadores, sino que todos los actores ganan en la relación. Así, la Empresa diversifica sus productos; la Universidad realiza análisis crítico desde lo social, identifica oportunidades investigativas y aporta conocimientos para el desarrollo de productos innovadores; el Estado se beneficia de los análisis para sus políticas e incentiva la economía cuando soporta estas estrategias; el Usuario participa activamente en el proceso del diseño y obtiene mejores productos que los tradicionales.

La participación multidisciplinar, que sugiere el modelo, amplía la visión del producto que a su vez contribuye al acotamiento en el espacio de búsqueda de las soluciones y a la generación de mejores propuestas de diseño. Lo anterior, unido a la presencia del usuario, permite abordar las problemáticas de usabilidad desde el inicio del problema de diseño.

En la siguiente tabla se muestra una relación de los potenciales de los actores que se involucran en el modelo y de las ventajas obtenidas por cada uno de ellos con el modelo planteado.

<b>Actores</b>	<b>Potencialidades</b>	<b>Ventajas de la cooperación en el diseño de producto con eje la Necesidad Social</b>
Universidad	Trabajo investigativo en diversas áreas de conocimiento. Infraestructura tecnológica Desarrollo de teorías, Métodos y técnicas	Contextualización del conocimiento Oportunidad de trabajo multidisciplinar Uso de resultados investigativos, métodos y técnicas con la empresa.
Empresa consolidada	Conocimiento del mercado Infraestructura de producción Conocimientos de los canales para producción y venta Experiencia empresarial	Apropiación de nuevo conocimiento desde diversas fuentes. Uso de nuevos métodos y técnicas Ampliación de la gama de productos
Empresa de base tecnológica	Rápida aplicación de resultados de investigación Organización flexible Comunicación fluida con la Universidad	Aprendizaje de los procesos de producción masiva Conocimiento del mercado Fortalecimiento de la estructura organizacional
Usuario	Posee las necesidades Decide la adquisición del producto	Conoce e interactúa en el proceso de diseño
Estado	Posee recursos para fortalecer estrategias de innovación Posee organismos para generación de políticas y ejecución de programas	Incentiva el proceso de innovación para mejorar productividad del país Le permite generar políticas o acciones para la sociedad a partir de estudios con equipos

## 7. El Diseño Axiomático como eje teórico de convergencia en el trabajo multidisciplinar del diseño de producto

Como fue descrito en las secciones anteriores, existen muchos métodos y técnicas que son usados parcialmente por las empresas y adicionalmente, los estilos personales adaptan estos métodos con resultados válidos dentro del proceso de diseño de producto. Con todo esto, sugerir nuevos métodos no debe ser la estrategia más adecuada para el Diseño de productos, sino el uso de una teoría general que sea conceptualmente entendida por los miembros multidisciplinarios del equipo. Se considera que la teoría más adecuada es el Diseño Axiomático. El Diseño Axiomático, a diferencia de las teorías prescriptivas basadas en fases, tiene una aproximación al problema de diseño a partir del enlace de cuatro dominios: el Dominio del usuario, el Dominio Funcional, el Dominio Físico y el Dominio del Proceso. El proceso de diseño se basa en la verificación permanente del cumplimiento del Axioma de Independencia y el Axioma de información a través de un proceso de relación entre los dominios funcional y físico, como se muestra en la Figura 3.

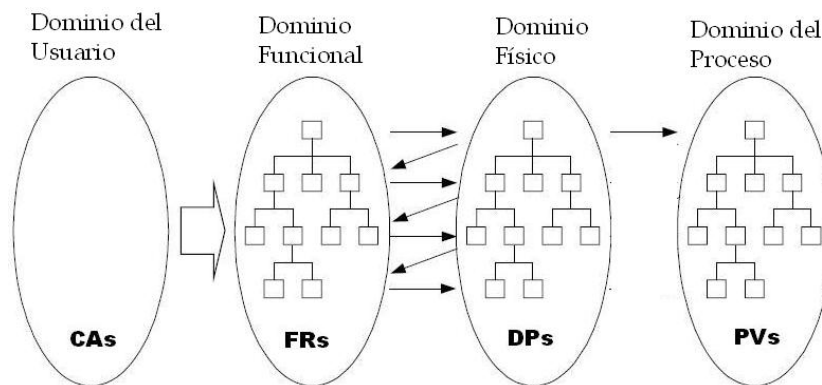


Figura 3. Dominios del Diseño Axiomático y relación entre los dominios

En el diseño axiomático el proceso creativo es complementado con el proceso analítico de tal forma que las propuestas de diseño son permanentemente evaluadas para que alcancen las necesidades del usuario y verifiquen el cumplimiento de los dos axiomas. La Figura 4 muestra el proceso de diseño con los actores involucrados, la diferencia de este planteamiento con el modelo originalmente propuesto por Suh, es que la necesidad social es ahora observada desde miradas diferentes para ampliar la visión del problema y no solo desde el mercado con la sola participación de la empresa. Una ventaja adicional de este tipo de trabajo con un equipo de diseño multidisciplinar es la búsqueda de soluciones desde diferentes campos de la ciencia puesto que se afirma que muchas de las soluciones inventivas en un área de la ciencia provienen de otras de las cuales se originó el problema (Salamatov 1999).

El Diseño Axiomático actúa como la estructura general del proceso de diseño. Para el proceso creativo se sugiere el uso de la teoría de creatividad sistemática TRIZ que permite delimitar el campo de búsqueda de soluciones y ubicarse en los procesos de evolución técnica de los productos. Las profesiones, con sus teorías, técnicas y herramientas, se involucran en todo el proceso jerárquico del Diseño. Existen profesiones asociadas al Diseño Industrial y a las Ciencias Humanas y sociales que tienen mayor incidencia en los niveles superiores de la jerarquía y hay otras como las ingenierías que tienen mayor incidencia en los niveles inferiores de los requerimientos funcionales. Se sugiere asegurar



la presencia de diseñadores industriales e ingenieros en los equipos de diseño puesto que las visiones del problema desde cada una de estas profesiones son complementarias. Los diseñadores visualizan el problema del contexto a la función, mientras que los ingenieros lo hacen en sentido opuesto (Hosnedl and Dvorak 2008). Desde el diseño axiomático esto obliga a que el ingeniero trabaje en forma conjunta en los niveles superiores con el diseñador para clarificar la intencionalidad del diseño, e invita al diseñador a conocer y proponer estrategias en los niveles inferiores de los requerimientos funcionales que generalmente son de mejor dominio del ingeniero.

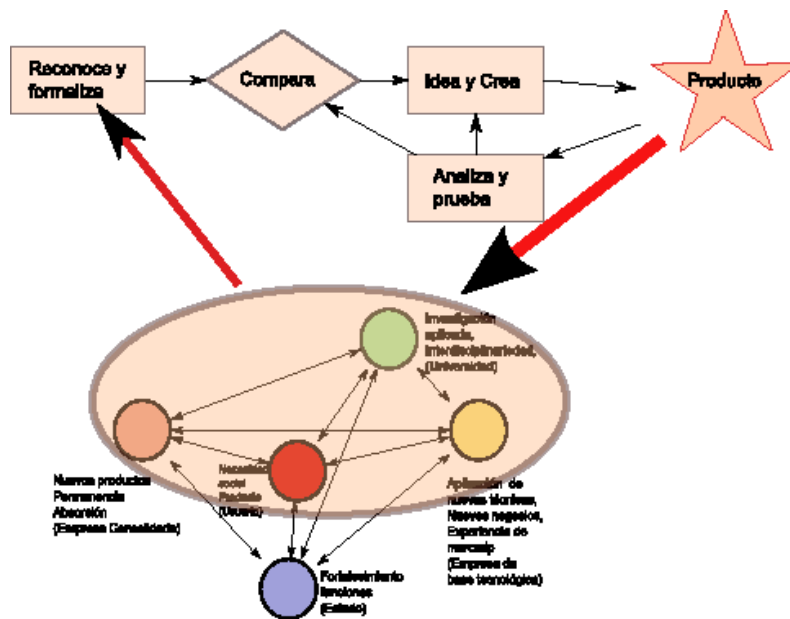


Figura 4. Modelo de Diseño con equipos multidisciplinares

Adicionalmente, se sugiere una ampliación del Diseño Axiomático puesto que en su formulación original (Suh 1990), éste trabaja específicamente con los requerimientos funcionales del producto y considera como restricciones todos los otros que no son funcionales. Se considera que el diseño de un producto basado únicamente en lo funcional no garantiza la aceptación del producto en el mercado. De esta forma, en el modelo propuesto de trabajo multidisciplinar se sugiere manipular los otros requerimientos del producto, que algunos autores llaman requerimientos subjetivos (Ulla 2004), ya sea como una representación en forma de Requerimiento Funcional o como elementos que influyen en los rangos del diseño del producto, disminuyendo de esta forma el número de restricciones para tener elementos intencionales de diseño de un mayor número de propiedades del producto. Para este propósito, a partir de un problema de diseño expresado en un lenguaje natural se tomará como referencia la expresión lingüística y se buscará la forma a partir de las propiedades del producto, de expresar los sustantivos como requerimientos funcionales y utilizar los adjetivos como elementos de definición de los rangos del diseño. En otras ocasiones, los adjetivos mismos podrán ser expresados en forma de requerimiento funcional del producto y el rango de diseño aparecerá del análisis de dichos requerimientos. Los adverbios serán elementos que influirán en el rango de diseño del requerimiento funcional que está directamente asociado con los verbos. Puesto que las expresiones provenientes de adjetivos y adverbios son de naturaleza cualitativa, se trabajará con los usuarios y con los expertos, dentro del equipo diseñador multidisciplinar, para definir los rangos cuantitativos de los rangos de diseño. Se sugiere el uso de la lógica difusa para este proceso.

Para ilustrar la situación anterior se plantea el siguiente ejemplo: si la expresión lingüística para el requerimiento de un producto es: “Se necesita un sistema grande de desplazamiento de gran velocidad para personas de la ciudad”. La expresión, en formato de requerimiento funcional para diseño axiomático, sería: Requerimiento Funcional 1: Transportar personas con velocidad; Rango de diseño: Especificación a través de un experto de la expresión (sustantivo-adjetivo) gran velocidad. El experto en este caso está asociado con el conocedor de las normas de tránsito que pueda establecer un rango dentro del contexto de uso del sistema. Por ejemplo 40 – 60 Km/hora en un medio urbano. Requerimiento Funcional 2: Alojarse personas; Rango de diseño: Especificar a través de un experto el adjetivo grande del sustantivo sistema. La presencia de un experto que conozca la estructura vial y características de transporte masivo. Puede subdividirse en Alojarse de pie y sentado, con rangos de diseño por ejemplo 20-30 personas sentadas.

## **8. Estrategia de trabajo a partir del modelo cooperativo con el Diseño Axiomático**

La estrategia de diseño con los equipos multidisciplinares incluye las siguientes etapas

1. Identificación de la necesidad social con participación de empresa, usuario y universidad.
2. Conformación del equipo de diseño, deben participar diseñadores industriales, ingenieros y otros profesionales de acuerdo a la problemática tratada
3. Análisis del estado de evolución de los sistemas técnicos comerciales con TRIZ (Leyes de evolución de los sistemas técnicos).
4. Caracterización del usuario a través de la evaluación de la población con la necesidad social.
5. Revisión de patentes.
6. Elaboración y análisis de encuesta a los usuarios. Debe destacarse el aspecto de usabilidad.
7. Realización de estudio de mercado.
8. Determinación de requerimientos generales de producto
9. Planteamiento de requerimientos funcionales del producto, transformación de los requerimientos cualitativos en requerimientos funcionales.
10. Diseño conceptual a partir del Diseño Axiomático, uso de bocetos en la descripción jerárquica.
11. Materialización del diseño.
12. Elaboración de planos
13. Estrategia de producción

## **9. Conclusiones**

El diseño de productos con equipos multidisciplinares es una adecuada opción para generar productos innovadores porque amplía la visión del problema, favorece la generación de invenciones utilizando conocimientos de diversas áreas del saber y reduce el espacio de búsqueda de mejores soluciones.

El trabajo multidisciplinar en el diseño de productos requiere el uso de modelos de gestión que involucren a la Universidad, la Empresa y el Estado con un punto de encuentro basado

en la necesidad social conservando los objetivos de las entidades involucradas. A saber, el conocimiento para la Universidad, el mercado para la empresa y las funciones constitucionales para el Estado. Esta situación evita los conflictos de trabajar la relación basada solo en el mercado y genera productos útiles para todos los actores.

Los métodos y técnicas de diseño que soportan el diseño de producto son poco utilizadas en las empresas y los estilos personales inciden en su aceptación y forma de aplicación. Esta situación permite afirmar que un trabajo multidisciplinar debe basarse en una estructura simple pero rigurosa del proceso de diseño como lo ofrece el Diseño Axiomático.

Para un adecuado trabajo multidisciplinar con el diseño axiomático que considere de manera intencional un mayor número de requerimientos de producto, se sugiere una transformación a través de la lógica difusa de los requerimientos cualitativos del producto con el propósito de involucrarlos dentro de la formulación original de la propuesta.

## Referencias

Araujo, C., Benedetto-neto, H., Campello, C., Segre, F., and Wright, I. The utilization of product development methods: A survey of UK Industry. *Journal of engineering design*, Vol.7, No. 3, 1996, pp. 265-277

Asimow M. *Introducción al Proyecto*. Editorial Herrero Hermanos, México, 1968.

Cross, N. "Engineering Design Methods", Editorial John Wiley & Sons, 1998.

Dickinson, A. Integrating Axiomatic Design into a Design For Six Sigma Deployment. In *Proceedings of Fourth International Conference on Axiomatic Design*, Firenze, 2006, pp. 1-6.

Etzkowitz H and Leydesdorff L. "The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university–industry–government relations". *Research Policy* 29 2000, pp. 109–123

Fujita Kikuo and Matsuo Takahiro. Utilization of product development tools and methods: Japanese survey and international comparison. *International conference on engineering design*. ICED05 Melbourne, August 15-18, 2005

González-Cruz M, Aguilar-Zambrano Jaime, Aguilar-Zambrano José and Gardoni Mickael. La estrategia de creatividad sistemática TRIZ con equipos multidisciplinarios de diseño de producto. *DYNA* Vol. 83, No. 6, pp. 337-350.

Gonzalez-Cruz, M., Mulet, E., and Aguilar, J. Analysis of individual styles of problem solving and their relations with representations in design process. *Proceedings International Conference on Engineering Design*, 2007, Paris (France), pp. 339-340 (exec summary)

Hayrinen-Alestalo, M. & Peltola, U. The problem of market-oriented university. *Higher Education*. Vol 52 issue2:251-281. 2006.

Hosnedl S and Dvorak J. Cooperation of engineering & industrial designers on industrial projects. *International Design Conference - DESIGN2008*, Dubrovnick, Croacia. Vol. 2 pp.1227-1234

Hosnedl, S. and Dvorak, J. Cooperation of engineering & industrial designers on industrial projects. In *Proceedings of the DESIGN 2008, 10th International Design Conference*, Croatia, May 2008, pp.1227-1234, (Published by: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb. The Design Society)

Janhager Jenny, Persson Sara and Warell Anders. Survey on product development methods, design competences, and communication in swedish industry. *Proceedings of*

fourth international symposium on tools and methods of competitive engineering. TMCE2002, pp. 189-199

Jones, J.C. "Métodos de Diseño", Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1978 [2da ed. 1992]

Maher, M and Poon J. "Modelling Design Exploration as co-evolution". Microcomputers in Civil engineering 11 (3) 195-210, 1996

Pahl, G. and Beitz, W. "Engineering Design: A Systematic Approach", Ed. Springer, 1995

Peeters, M., van Trujill, H. and Reymen, I. The development of a design behaviour questionnaire for multidisciplinary teams. Design Studies, 2007, 28(6),623-643

Pugh, S. Total Design, 1991, (Addison-Wesley, Wokingham)

Rafols, I. and Meyer, M. Knowledge-sourcing strategies for cross-disciplinarity in bionanotechnology. 2006. SPRU Electronic Working Paper Series. University of Sussex, 1-18.

Roijackers, N. and Hagedoom, J. Inter-firm R&D partnering in pharmaceutical biotechnology since 1975. Trends, pattern and networks. Research Policy. 2006, 35(3), 431-446.

Salamatov, Y. TRIZ: The right solution at the right time. Insytec B.V. 1999. ISBN 90-804680-1-0

Savransky, S. Engineering of Creativity. CRC Press, 2000. ISBN 0-8493-2255-3

Suh, N. Principles of Design, 1990, (Oxford University Press, NewYork)

Suh, N. Axiomatic Design. Advances and applications, 2001, (Oxford University Press, NewYork)

Tovar A, Arbola N and Gómez A. Técnicas de diseño óptimo multidisciplinario. Revista ingeniería e investigación Vol. 27 No.1, ABRIL DE 2007 (84-92)

Ulla, S. Handling design perceptions: an Axiomatic Design perspective. Research in Engineering Design. 2004, 16(1), 109-117.

Xu, L., Li, Z., Li, S. and Tang, F. A decision support system for product design in concurrent engineering. Decision Support Systems, Vol 42, 2007, pp. 2029-2042

Xue, D. and Yang, H.A concurrent engineering-oriented design database representation model. Computer-aided design, Vol 36, 2004, pp. 947-965

## **Agradecimientos**

Esta investigación cuenta con el apoyo del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología "Francisco José de Caldas" COLCIENCIAS. Contrato RC No. 652-2008

## **Correspondencia** (Para más información contacte con):

Jaime Aguilar-Zambrano

Pontificia Universidad Javeriana- Cali

Calle 18 No. 118-250, Cali, Colombia

Teléfono: +57 2 3218200 ext. 665

jaguilar@javerianacali.edu.co