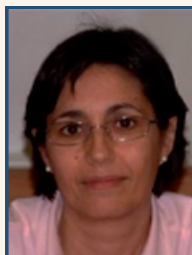


LA ESTRATEGIA DE CREATIVIDAD SISTEMÁTICA TRIZ CON EQUIPOS MULTIDISCIPLINARES DE DISEÑO DE PRODUCTO



TRIZ, THE SYSTEMATIC CREATIVITY STRATEGY, USED IN MULTIDISCIPLINARY PRODUCT DESIGN TEAMS



M^a Carmen González Cruz
Dr. Ingeniero Industrial
Universidad Politécnica de Valencia



Jaime Alberto Aguilar-Zambrano
MSc Ingeniero Eléctrico
Pontificia Universidad Javeriana
– Cali- Colombia



José Javier Aguilar-Zambrano
MSc Ingeniero Químico
Universidad Nacional de Colombia –Medellin-



Mickaël Gardoni Colombel
Dr. Ingeniero Industrial
Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Estrasburgo INSA

Recibido: 11/06/08

Aceptado: 14/07/08

RESUMEN

Los procesos creativos sistemáticos y la evaluación de sus resultados son fundamentales para soportar la

capacidad innovadora de las empresas. En la literatura son escasos los estudios sobre creatividad en grupos multidisciplinares usando técnicas sistemáticas como TRIZ. En este artículo se evaluó el Proceso Creativo y el Producto Creativo, a partir de un ex-

perimento de laboratorio multidisciplinar con TRIZ. Participaron en el estudio estudiantes de último curso de Ingeniería y Diseño Industrial. Para la medición del Producto Creativo se utilizó la técnica de análisis multicriterio, AHP. Se obtuvieron los siguientes re-

sultados: el trabajo de equipos multidisciplinarios conduce a mejores resultados en la generación de ideas respecto a su Calidad, Novedad y Variedad; el inadecuado análisis de un problema es una limitación para la Variedad de las propuestas, y finalmente, por su enfoque a la tarea, el uso de TRIZ favorece el proceso creativo en equipos multidisciplinarios.

Palabras Clave: creatividad sistemática, TRIZ, equipos multidisciplinarios.

ABSTRACT

The systematic creative processes and the evaluation of their results are essential to support the innovative capability of enterprises. There are few studies in the literature on creativity in multidisciplinary groups using systematic techniques such as TRIZ. This article presents the results of a multidisciplinary lab experiment with TRIZ aimed at assessing the Creative Process and the Creative Product. Final-year Industrial Design and Engineering students participated in the study. The Analytic Hierarchy Process, AHP, was used for the measurement of Creative Product. Results showed that the work of multidisciplinary teams yields better results in the generation of ideas as regards their Quality, Novelty and Variety, that the inadequate analysis of a problem is a limitation to the Variety of the proposals and that, because of its approach to the task, the use of TRIZ favours the creative process in multidisciplinary teams.

Keywords: systematic creativity, TRIZ, multidisciplinary teams.

1. INTRODUCCIÓN

La dinámica de los mercados y el entorno de las organizaciones han hecho que las empresas deban responder más rápidamente a los ambientes de cambio, no solamente aumentando la productividad de los procesos existentes, sino también orientando sus esfuerzos a la genera-

ción permanente de procesos y productos innovadores. En este sentido, las prácticas orientadas a la generación de nuevo conocimiento, como es el desarrollo de las habilidades para la búsqueda de soluciones creativas a los problemas, se convierte en factor predominante de las organizaciones.

La creatividad se ha estudiado bajo diversas perspectivas: los diferentes factores que motivan la innovación; de qué manera opera en las organizaciones dentro de un marco de gestión de desarrollo de nuevos productos; la importancia del empresario creativo en la visión del crecimiento económico (Schumpeter 1939); los perfiles de los individuos creativos (Nappier & Nilson 2006), y la resolución de problemas asociado con la creatividad.

También han sido numerosas las aportaciones en técnicas de creatividad. Shah, Vargas y Smith (2003) proponen una clasificación de los métodos de generación de ideas en: intuitivos y lógicos. Los métodos intuitivos se clasifican, a su vez, en cinco grupos: Germinales (Análisis morfológico, Brainstorming y Método K-j); Transformacionales (checklist, estímulo aleatorio y método PMI); Progresivos (método 635 y C-sketch); Organizacionales (método de afinidad, storyboarding, y diagrama de espina de pescado) e Híbridos (sinéctica). Por su parte, los métodos lógicos se clasifican en dos categorías: Métodos basados en la historia (Tablas de Pahl y Beitz, y TRIZ) y Analíticos (Pasos adelante, Inversión y SIT). Los métodos intuitivos presentan la ventaja de su rápido aprendizaje, y buscan la inspiración en el interior del diseñador para la generación de ideas; por el contrario los lógicos, como TRIZ, invitan a hacer uso de un conocimiento ya preparado para la inspiración (Ogot & Okudan 2006) y amplían el espacio de búsqueda para la generación de ideas.

La Teoría de la Resolución de problemas de inventiva, TRIZ, se inicia en 1946 con los trabajos de Genrich Altshuller y sus colegas en la antigua Unión Soviética. TRIZ es un conjunto

de herramientas sistemáticas para el desarrollo de las invenciones, que parten de la hipótesis de que existe un conjunto de principios básicos que son la base de la evolución de la tecnología. Los conceptos claves de TRIZ son la Idealidad, ARIZ, las Contradicciones, el Análisis Campo-Sustancia, las leyes de Evolución de los Sistemas y la Base de Conocimiento de los Efectos y Principios Inventivos (Goel & Singh 1998).

Pese a la existencia de diversas técnicas de creatividad, la literatura sobre los aspectos que hacen énfasis en el trabajo grupal y multidisciplinar para la solución de problemas técnicos como primer insumo del desarrollo de productos ha sido muy limitada (Peeters et al 2007). Adicionalmente, Moherle (2005), en una revisión de la literatura sobre el uso de las herramientas de TRIZ en procesos creativos, concluye sobre la importancia de mostrar el uso y la efectividad de las herramientas de TRIZ en el proceso creativo.

El objetivo de este estudio es evaluar el Proceso Creativo y su efectividad (el Producto Creativo) mediante el trabajo de equipos multidisciplinarios. De acuerdo con este objetivo se plantea la hipótesis de que el uso de TRIZ con equipos multidisciplinarios mejora el Proceso y el Producto Creativo. Se realizó un experimento de laboratorio para generar ideas a partir de la propuesta de un problema de diseño de un producto, con la participación de estudiantes de último curso de Ingeniería y de Diseño Industrial. Con los resultados obtenidos se midió la Variedad (en relación con el Proceso Creativo) y la Calidad y Novedad (en relación con el Producto Creativo). El proceso de medida se realizó utilizando la técnica de análisis multicriterio (AHP), mediante juicios, por diferentes expertos. El método Analítico Jerárquico, AHP, es una técnica que permite integrar los juicios de un conjunto de expertos para ponderar criterios y evaluar distintas alternativas en un problema de decisión (Saaty 1980).

Este artículo está estructurado de la siguiente manera: las secciones 2 y

3 abordan el tema de la creatividad, en cuanto a su importancia con la innovación, sus características y tendencias investigativas; la sección 4 presenta las herramientas TRIZ que se utilizaron en el estudio; la sección 5 describe el experimento de laboratorio realizado y presenta los resultados obtenidos; finalmente, la sección 6 presenta una discusión de los resultados.

2. LA CREATIVIDAD EN EL PROCESO DE LA INNOVACIÓN

La innovación es un proceso complejo de aprendizaje (Dodgson 1991) que está asociado a las capacidades de una organización para crear conocimiento novedoso e incorporarlo en productos y procesos que sean valorados en el mercado (Rangone 1999, Fernandez 2006). La producción de conocimiento empieza entonces a ser vista como el resultado de procesos cuya eficacia depende de la capacidad de las empresas para poder crearlo, lo cual involucra a varios actores en situaciones de interdependencia y en relaciones de tipo formal e informal. Bajo este enfoque se plantea la importancia del trabajo creativo multidisciplinar y de las nuevas formas de aprender a través del aprovechamiento del conocimiento externo e interno a las organizaciones. Es así como la creatividad, como parte del proceso de innovación, ha crecido en importancia por parte de empresarios e investigadores. Ambos argumentan la importancia de cómo la creatividad se ha convertido en un recurso de mantenimiento de ventajas competitivas para las organizaciones.

3. SOBRE EL CONCEPTO DE CREATIVIDAD Y SUS ORIENTACIONES INVESTIGATIVAS

Existen desacuerdos sobre la definición de creatividad y los énfasis en los que se ha desarrollado la investigación de esta temática (Huidrobo 2002). En el presente estudio se asume una definición de tipo operacional de la creatividad propuesta por Ama-

bile (1983). Esta definición permitirá encontrar el objetivo que el estudio pretende:

“Un producto o respuesta es creativa cuando observadores independientes acuerdan que así lo es. Observadores independientes son aquellos que son familiares al dominio específico en el cual el producto fue creado o en la que determinada respuesta es articulada.”

Con respecto a los énfasis de la investigación en creatividad, en general, se han planteado cuatro orientaciones en los estudios: 1. la Persona Creativa (Huidrobo 2002), enfocado a las habilidades cognitivas del individuo y del dominio de una disciplina específica; 2. el Producto Creativo (Amabile 1983) dirigido a las características observables de un producto destacando la novedad y la apropiación como factores relevantes que dan lugar a un producto creativo; 3. el Proceso Creativo, en el cual se plantea la manera cómo a lo largo de una búsqueda creativa se van captando las características de un problema y sus relaciones para encontrar una solución final. En esta orientación se encuentran numerosas aportaciones, Wertheimer (1945) con la Gestalt; Koestler (1970) con la disociación; Conti, Coon y Amabile (1996), y Ruscio et al (1995) con aspectos tales como la motivación a la tarea, las habilidades en un dominio específico y las destrezas creativas para la desagregación de un problema para su análisis; y 4. el Contexto Creativo, donde el ambiente que rodea la situación creativa y los contextos específicos personales de aquellos que participan en una solución se convierten en un elemento básico del desempeño creativo. Con respecto a este último factor, diversos trabajos han considerado aspectos relacionados con los comportamientos en los grupos de trabajo, lo cual incluye la motivación por el logro de metas, la coordinación de esfuerzos y contribuciones, el análisis de sus relacionales con variables cognitivas individuales (Taggar 2002), la experiencia (Ruscio et al 1995, Kay 1991, Rostan 1994, Voss et al 1991, Barrick & Spilker 2003,

Ward et al 1997, Mumford et al 1994, Gero & Neil 1998, Von der Weth 1999), el aprendizaje (Taggar 2002) y los estilos de trabajo (Amabile 1983, Wingert 1985, Eistentraut & Gunter 1996, Eistentraut 1999)

La mayoría de los estudios centrados en la Persona Creativa y los basados en el Contexto, se han realizado desde el ámbito de la Psicología y la Ciencia Cognitiva. En el contexto de la ingeniería de producto, donde el diseño está orientado al cumplimiento de unas determinadas especificaciones, el análisis del resultado es fundamental, puesto que un método de generación de ideas se considera efectivo si su uso da como resultado buenas ideas (Shah et al 2003). De acuerdo con esto último, en este estudio sólo se han considerado dos aspectos asociados a la creatividad: el Producto Creativo y el Proceso Creativo. En el Producto Creativo se analiza la Novedad y la Calidad del producto. La primera corresponde a una o varias características inusuales en un producto y la segunda corresponde a qué tan cerca está una solución de alcanzar las especificaciones de un diseño. Para el Proceso, se analiza la Variedad, que es la medida del espacio de exploración durante la generación de ideas (Shah et al 2003).

4. LA TEORÍA DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS INVENTIVOS TRIZ

La teoría de la resolución de problemas de inventiva, TRIZ, es un conjunto de herramientas desarrolladas por Genrich Altshuller y sus colegas en la antigua Unión Soviética desde 1946 hasta mediados de los años noventa. Estas herramientas parten de la hipótesis de que existe un conjunto de principios básicos para el desarrollo de las invenciones, los cuales son la base para el avance inventivo de las tecnologías (Salamatov 1999). Al ser estos principios identificados y codificados, los procesos de invención son más predecibles. El trabajo del equipo de Altshuller se basó en el análisis de más de dos millones de patentes. Para Goel y Singh (1998),

los conceptos claves en la teoría TRIZ son la Idealidad, ARIZ, las Contradicciones, el Análisis Campo-Sustancia, las leyes de Evolución de los Sistemas y la Base de Conocimiento de los Efectos y Principios Inventivos.

Una descripción del panorama general del trabajo de Altshuller lo presenta Cavallucci (2002) quien plantea una estructura que parte de las fuentes de información hasta los resultados de la teoría, tal y como se muestra en la Figura 1 (Cavallucci 2002). Los resultados del trabajo de Altshuller (Figura 1), se clasifican en tres grupos: Nociones esenciales, Herramientas para evitar o prevenir la inercia psicológica y Herramientas de solución.

En el primer grupo, Nociones esenciales, la *Inercia Psicológica* hace referencia a las características, internas y externas que impiden al diseñador salirse de una forma

predefinida de pensamiento convencional; la *Idealidad* es la principal ley de la evolución de la tecnología donde todos los sistemas evolucionan hacia un estado utópico donde el sistema no pierde energía pero realiza su función; por otra parte, la *Contradicción* es la principal fuerza de evolución tecnológica que surge cuando se requiere mejorar la Función Principal de un sistema; los *Recursos* son los elementos que están a disposición de un sistema y su ambiente.

En el segundo grupo, Herramientas para prevenir la inercia psicológica, la técnica de las *Nueve ventanas* es una forma de evaluar la evolución técnica; el método de los *Hombres miniatura*, simboliza el funcionamiento del sistema, utilizando pequeños hombres en lugar de elementos inanimados que deben interaccionar y actuar como grupo; los *Sistemas alternativos* son propuestas a sistemas

con base en un comportamiento opuesto al de análisis, para después trabajarlos conjuntamente; Los *Operadores tamaño, tiempo y coste* permiten generar ideas para la solución de un problema con situaciones extremas de esos operadores.

En el tercer grupo, Herramientas de solución, el *Análisis campo-sustancia y estándares*, permite resolver un problema mediante la modelización de un sistema, utilizando 76 estrategias estándar a partir de reglas gráficas; la *Matriz para resolver contradicciones técnicas* es un método para encontrar principios de solución a partir de la identificación de contradicciones. *ARIZ* corresponde a un algoritmo de resolución de problemas inventivos y la *Base de datos de efectos científicos* es un conjunto de elementos asociados con funciones de los sistemas.

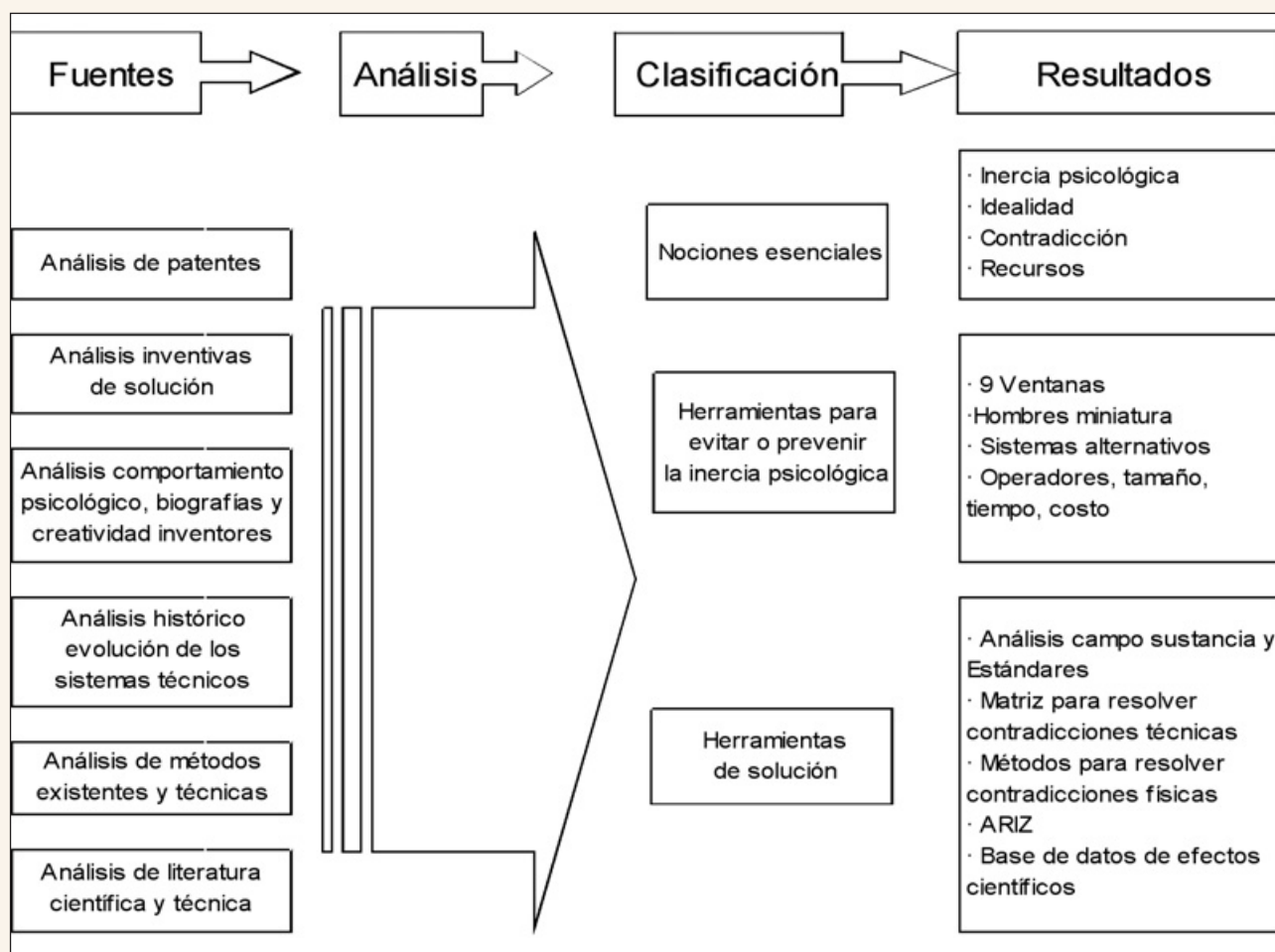


Figura 1. Campos analizados por Altshuller y sus resultados. Fuente: Cavallucci, D, 2002

4.1 LAS NUEVE VENTANAS

Las nueve ventanas (multi-screen scheme of thinking) es una de las herramientas de TRIZ para visualizar un sistema como una estructura jerárquica y una estructura de tiempo, lo cual sirve para comprender de una manera desagregada las características de un determinado problema. Este diagrama es útil porque puede plantear algunas hipótesis de evolución de los siste-

presenta el tiempo, situándose en el centro el tiempo actual, el pasado, a la izquierda y el futuro, a la derecha. El eje vertical representa la visión del problema, en el centro está el sistema técnico que desempeña alguna función, el nivel inferior es su composición (el subsistema) y el nivel superior es su contexto (supersistema).

Cuando el diseñador aborda un problema se sitúa en la Ventana 1, y

ma, que surge, cuando al tratar de mejorar un parámetro, otro se ve afectado negativamente. Por ejemplo, si se quiere construir un dispositivo que realice mediciones de manera *rápida y fiable*, los dispositivos tradicionales de medición mostrarían que la *fiabilidad* de la medida sería un parámetro que se vería afectada negativamente al aumentar la *rapidez*.

Altshuller sugirió una matriz de parámetros que permite encontrar principios inventivos de solución de problemas a partir de la identificación de contradicciones en esos parámetros. Los parámetros originalmente propuestos fueron 39 y los principios inventivos 40. Los parámetros se pueden clasificar en tres grupos (Savransky 1999): parámetros comunes físicos y geométricos, tales como peso, longitud, área y temperatura; parámetros negativos independientes de la técnica, como la duración de la acción, la energía gastada por los subsistemas, el consumo de tiempo, etc., y parámetros positivos independientes de la técnica, como la adaptabilidad, la productividad, el nivel de automatización etc. Así mismo, las contradicciones se clasifican en contradicciones técnicas y contradicciones físicas. Una contradicción técnica es aquella que tiene los dos parámetros diferentes y una física es aquella que los tiene iguales.

Para el uso de la matriz de contradicciones, una vez cumplimentadas las nueve ventanas, debe analizarse la transición entre la ventana del sistema en el tiempo actual (ventana 1) y la ventana del sistema en el tiempo futuro (ventana 9), lo cual permite identificar los parámetros que se encuentran en contradicción. Dichos parámetros deben ubicarse en la matriz de contradicciones para utilizar los principios inventivos de solución sugeridos por el método.

La Figura 3 muestra, en un ejemplo, como se identifican los principios inventivos a partir de dos parámetros en conflicto. El parámetro que se favorece es el Esfuerzo (parámetro 14) y el que se desfavorece es el Peso del objeto fijo (parámetro 2). Los principios inventivos (40, 26, 27, 1)

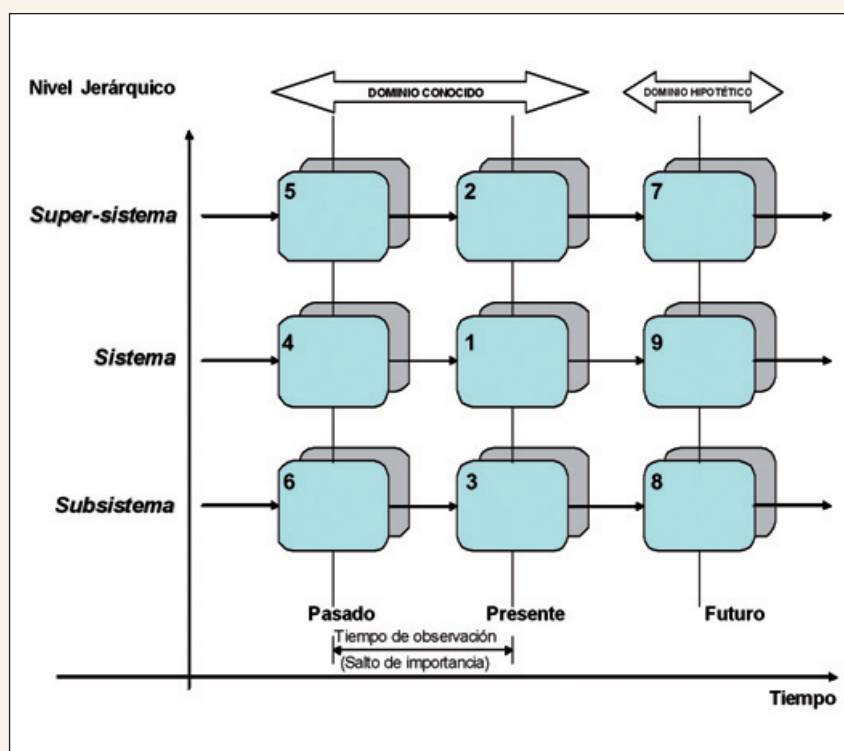


Figura 2. Diagrama de las nueve ventanas. Fuente: INSA, 2007

mas técnicos a través de la identificación de un conjunto de parámetros evolutivos del sistema. Los parámetros, a su vez, pueden ayudar a definir los elementos técnicos, organizacionales o comportamentales que contribuyen a la evolución.

El grupo de parámetros encontrados es una herramienta útil para determinar las contradicciones de un problema una vez se tenga definida la función principal de dicho problema. La Figura 2 muestra el diagrama de las nueve ventanas o multi-screen, el cual debe ser cumplimentado por el diseñador. En el eje horizontal se re-

se recomienda seguir la secuencia numérica que se indica en la Figura 2. Las transiciones en el tiempo representan las contradicciones técnicas que han sido superadas (a través del cambio de determinados parámetros), cuando se va del pasado al presente, y para determinar las contradicciones del problema actual, cuando se va del presente al futuro.

4.2 LA MATRIZ DE CONTRADICCIONES

En TRIZ, una contradicción es un conflicto en el análisis de un proble-

son la base para que el diseñador genere ideas de solución para su problema particular de diseño.

formado por un usuario, y profesionales de Ingeniería y de Diseño Industrial (Figura 6).

del espacio de exploración durante la generación de ideas (Shah et al 2003).

	Factor que se desfavorece	Peso del Objeto móvil	Peso del Objeto fijo	Longitud del Objeto móvil
Factor que se mejora		1	2	3
1 Peso del objeto móvil				15, 8, 29, 34
2 Peso del objeto fijo				
3 Longitud del objeto móvil	8, 15, 29, 34			
4 Longitud del objeto fijo			35, 28, 40, 29	
5 Área del objeto móvil	2, 17, 29, 4			14, 15, 18, 4
6 Área del objeto fijo			30, 2, 14, 18	
7 Volumen del objeto móvil	2, 26, 29, 40			1, 7, 4, 35
8 Volumen del objeto fijo			35, 10, 19, 14	19, 14
9 Rapidez	2, 28, 13, 38			13, 14, 8
10 Fuerza	8, 1, 37, 18		18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36
11 Esfuerzo de presión	10, 36, 37, 40		13, 29, 10, 18	35, 10, 36
12 Forma	8, 10, 29, 40		15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4
13 Estabilidad de la composición del objeto	21, 35, 2, 39		26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28
14 Esfuerzo	1, 8, 40, 15		40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35
15 Duración de la acción del objeto móvil	19, 5, 34, 31			2, 19, 9
16 Duración de la acción del objeto estacionario			6, 27, 19, 16	
17 Temperatura	36, 22, 6, 38		22, 35, 32	15, 19, 9
18 Intensidad de la iluminación	19, 1, 32		2, 35, 32	19, 32, 16
19 Uso de energía por el objeto móvil	12, 18, 28, 31			12, 28
20 Uso de energía por el objeto fijo			19, 9, 6, 27	
21 Potencia	8, 36, 38, 31		19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37
22 Pérdida de energía	15, 6, 19, 28		19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13
23 Pérdida de sustancia	35, 6, 23, 40		35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 39

Figura 3. Ejemplo de uso de la matriz de contradicciones

5. MÉTODO

Se realizó un experimento de laboratorio, con dos procesos secuenciales para evaluar el Proceso Creativo y el Producto Creativo, en equipos multidisciplinarios, utilizando la estrategia de creatividad sistemática, TRIZ. En el primer proceso, para la generación de ideas (Figura 4), participaron estudiantes de último curso de carrera de ingeniería, de diversas especialidades, y de Diseño Industrial, a partir del cual, se evaluó el Proceso Creativo. En el segundo, para la evaluación del Producto Creativo, participó un grupo de expertos,

Para conformar el grupo de trabajo se realizó una convocatoria entre los estudiantes que habían ya iniciado su Proyecto Final de Carrera, interesados en una experiencia multidisciplinaria con una herramienta de creatividad sistemática (TRIZ). Se conformó un grupo de 16 estudiantes.

5.1. MÉTODO DEL PRIMER PROCESO

Las actividades llevadas a cabo para la evaluación del Proceso Creativo se muestran en la Figura 4. El Proceso Creativo se mide con la variable Variedad. La Variedad es la medida

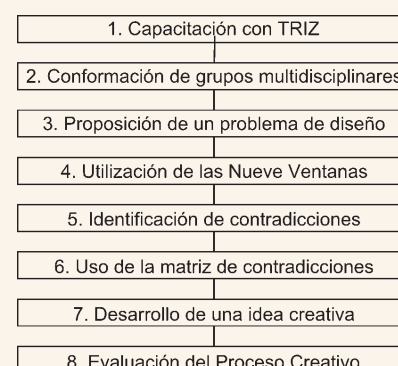


Figura 4. Proceso para la generación de ideas creativas utilizando TRIZ con grupos multidisciplinarios

La primera etapa, Capacitación de TRIZ, tuvo una duración de 12 horas, y se estructuró en cuatro sesiones. La capacitación se centró en los fundamentos de TRIZ, los principios inventivos, el uso de las nueve ventanas y la matriz de contradicciones. Las razones por las cuales los estudiantes deberían estar en último curso son dos: la primera, el mayor conocimiento de la profesión, respecto a otros estudiantes de cursos inferiores, lo cual favorece la interpretación y uso de los principios inventivos de TRIZ; y la segunda, su madurez, que garantiza cierta agilidad en el proceso de instrucción.

La segunda etapa, Conformación de grupos multidisciplinares, consistió en organizar a los estudiantes en 4 grupos de trabajo, todos multidisciplinares, excepto uno de ellos. Las características de los grupos de trabajo, se detalla en la Tabla 1.

trabajando sentadas, y en muchas ocasiones en posturas incorrectas. La posibilidad de alternar durante la jornada laboral, el trabajo de pie con el trabajo sentado, puede suponer una mejora de salud y de productividad. Las mesas actuales, que presentan la funcionalidad buscada, son generalmente de pequeña superficie de trabajo, por lo que también interesa que hubiese mesas más grandes y que fuesen fáciles de elevar para cambiar la postura con el tiempo. La mesa está dirigida fundamentalmente a mobiliario de oficinas para empresas.

La cuarta etapa, Utilización de las nueve ventanas, consistió en el trabajo de los equipos utilizando el multiscreen de acuerdo con la metodología que se había presentado en la fase de instrucción.

La quinta etapa, Identificación de contradicciones, la realizó cada grupo

nativas de solución al problema.

La séptima etapa, Desarrollo de una idea creativa, consistió en seleccionar una idea entre las alternativas generadas en la etapa anterior. Cada equipo plasmó en un boceto la idea de producto que solucionaba el problema planteado.

La octava etapa, Evaluación del Proceso creativo, se realizó a través de la Variedad, que es la medida del espacio de exploración durante la generación de ideas (Shah et al 2003). Con base en este concepto, se propone la ecuación (1) para medir la Variedad en el experimento, donde n es el número de contradicciones identificadas en el análisis del problema. El número de contradicciones identificadas es un indicador de la amplitud del campo de búsqueda de soluciones. El número de principios utilizados por cada contradicción es un elemento de control del adecuado uso de la estra-

Equipo	Número de personas	Disciplinas
Equipo de trabajo 1 (Sólo Ingeniería)	4	Ingeniería Electrónica (3) Ingeniería Mecatrónica (1)
Equipo de trabajo 2 (Multidisciplinar)	5	Diseño Industrial (2), Ingeniería Electrónica (1), Ingeniería de Sistemas (1), Ingeniería Industrial (1)
Equipo de trabajo 3 (Multidisciplinar)	4	Ingeniería Industrial (1), Ingeniería Mecatrónica (1) Ingeniería de Sistemas (1), Diseño Industrial (1)
Equipo de trabajo 4 (Multidisciplinar)	3	Ingeniería Industrial (1), Diseño Industrial (1) Ingeniería Electrónica (1)

Tabla 1. Composición de los grupos participantes

La tercera etapa, Proposición de un problema de diseño, consistió en la entrega de un mismo problema de diseño para los cuatro grupos participantes. El enunciado del problema, se muestra a continuación y las instrucciones para su desarrollo, en el Apéndice A.

Se pretende diseñar una nueva mesa para oficina que permita elevarse y bajarse fácilmente para compaginar el trabajar de pie con el trabajar sentado. Son muchas las personas que pasan la jornada laboral entera

de trabajo a partir del análisis con las nueve ventanas.

La sexta etapa, Uso de la matriz de contradicciones, consistió en el

tegia TRIZ, puesto que la solución debería concebirse con uno sólo de los principios inventivos de solución, para cada una de las contradicciones.

$$Variedad = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\text{principios_utilizados_contradicción}_i} \quad (1)$$

trabajo realizado por cada equipo para reconocer los principios inventivos sugeridos por TRIZ, y plantear alter-

5.1.1. Resultados

En la etapa de utilización de las nueve ventanas, el Grupo 4, de carác-

ter multidisciplinar, no desarrolló de forma completa la tabla de las nueve ventanas, dejando vacías las celdas del supersistema. El resto de grupos cumplimentó completamente el multi-screen. La tabla 2 muestra un ejemplo de los resultados obtenidos en esta etapa.

nes identificadas por los grupos de trabajo son diferentes (Tabla 3). Como ejemplo de los resultados obtenidos, se muestran las contradicciones identificadas por uno de los grupos (Grupo 2), y los principios de solución sugeridos por TRIZ (Tabla 4).

En la etapa Evaluación del Proceso Creativo, los resultados de la aplicación de la ecuación (1), se muestran en la Tabla 5, siendo el Grupo 2 el que obtuvo el mayor índice en la Variedad.

- Carpintería - Talleres rudimentarios - Artesanos - Mesa a pedido - Una mesa es acomodada a la necesidad	- Producción en línea de mesas de trabajo - Hay distinción en la producción de mesas - Procesos automatizados	- Producción sin distinción - La mesa se acomoda al entorno - Amigable con el ambiente - Procesos automatizados mejorados
- Mesas de madera de propósito general - Mesas metálicas	- Mesa de madera - Mesa de formica - Mesa ajustable en la altura por guía de áreas pequeñas - Mesa con patas cruzadas que determinan su altura - Mesas modulares	- Mesas ajustables a la altura y área de trabajo - Rápida de ajustar y fácil - Mesa aerodeslizable o levitadora - Mesa de fibra de carbono - Mesa de fibra de vidrio
- Madera - Elementos de sujeción - Pintura - Laca - Cajones - Estructura de soporte - Metales - Patas	- Patas - Cajones - Madera - Formica - Elementos de sujeción - Sierra sinfín - Polietileno - Rieles - Materiales metálicos - Pintura y laca	- Fibra de carbono - Fibra de vidrio - Polímero - Guadua - Materiales biodegradables - Elementos de sujeción del mismo material de la mesa

Tabla 2. Nueve ventanas cumplimentadas por el Grupo 1.

En la etapa de Identificación de Contradicciones, los resultados muestran que, a pesar de trabajar con el mismo problema, las contradiccio-

nes identificadas por los grupos de trabajo son diferentes (Tabla 3). Como ejemplo de los resultados obtenidos, se muestran las contradicciones identificadas por uno de los grupos (Grupo 2), y los principios de solución sugeridos por TRIZ (Tabla 4).

5.2 MÉTODO DEL SEGUNDO PROCESO

Las actividades llevadas a cabo para la evaluación del Producto Creativo se muestran en la Figura 6. Los bocetos de las ideas generadas en el primer proceso, son los elementos a evaluar mediante las variables Novedad y Calidad, utilizando la técnica de análisis multicriterio, AHP. La Novedad es la medida de lo no usual o inesperado de la idea propuesta y la Calidad es la medida de qué tan cerca está la solución de lograr las especificaciones del diseño (Shah et al 2003).

Equipo de Trabajo	Contradicciones
Equipo de Trabajo 1	1-13, 12-1, 35-19
Equipo de Trabajo 2	5-1, 13-35, 1-25
Equipo de Trabajo 3	36-32, 34-25
Equipo de Trabajo 4	1-23, 14-2, 25-13

Tabla 3. Resultados de la etapa de Identificación de Contradicciones.

Grupo de trabajo	Contradicciones encontradas (Favorable – desfavorable)	Principios Sugeridos (Número principio – descripción)
Grupo No. 2	Area del objeto móvil (5) – Peso del objeto móvil (1)	2. Separación 17. Cambio dimensional 29. Neumática e hidráulica 4. Asimetría
	Estabilidad del objeto (13) – Adaptabilidad (35)	35. Cambio de parámetros 30. Membranas flexibles 34. Rechazar y reponer 2. Separación
	Peso del objeto móvil (1) – Consumo de tiempo (25)	10. Acción previa 35. Cambio de parámetros 20. Acción continua 28. Remplazar sistemas mecánicos

Tabla 4. Contradicciones identificadas por un grupo de trabajo

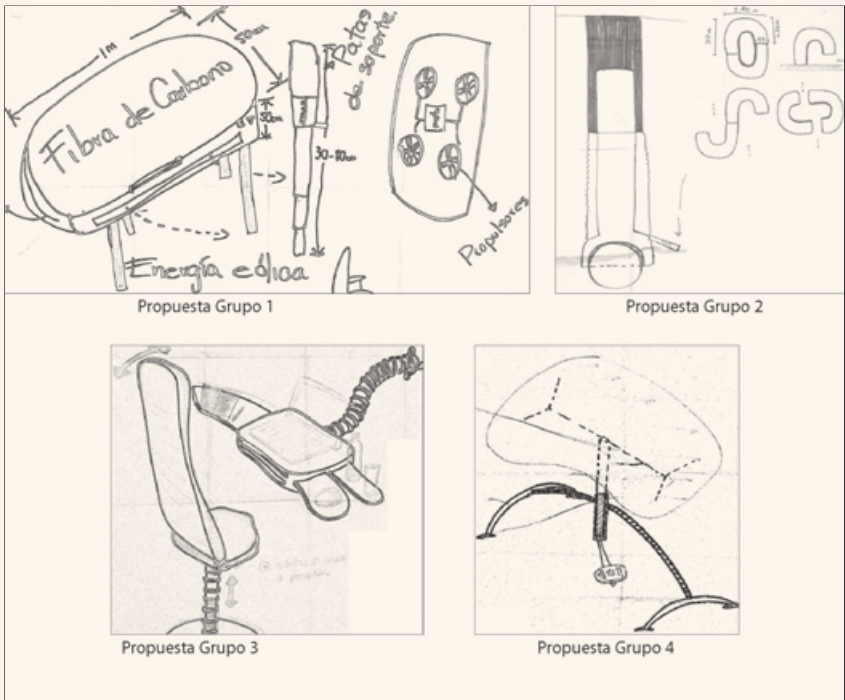


Figura 5. Propuestas de solución de los grupos participantes

	Grupo No. 1	Grupo No. 2	Grupo No. 3	Grupo No. 4
Variedad	3/2 (1.5)	7/3 (2.3)	3/2 (1.5)	1 (1)

Tabla 5. Medida de la Variedad

La primera etapa, Conformación de un equipo de expertos, consistió en invitar a participar en el proceso, a un conjunto de profesionales. Se utiliza el término expertos para asociarlo básicamente con la experiencia profesional. Los integrantes del equipo de expertos fueron dos Ingenieros: una Ingeniera Industrial y un Ingeniero Eléctrico, dos Diseñadoras Industriales y una usuaria que trabaja en una oficina de diseño para productos cerámicos.

La segunda etapa, Determinación de los criterios para evaluar la Novedad y la Calidad de las ideas, se realizó a partir de los modelos jerárquicos de cada una de las variables (Figura 7 y Figura 8). Para la Novedad, se definieron cuatro criterios: El sistema de movimiento de la mesa (subdividido en uso de nuevas tecnologías y bajo consumo de energía), la facilidad de manejo, la superficie de trabajo y su adecuación para oficinas. Básicamente, el modelo jerárquico definido responde a la descomposición de las características principales del problema (Shah et al 2003). Para la Calidad se definieron los criterios: superficie de trabajo, seguridad de operación, facilidad de instalación y la orientación a mobiliario de oficinas, que son carac-

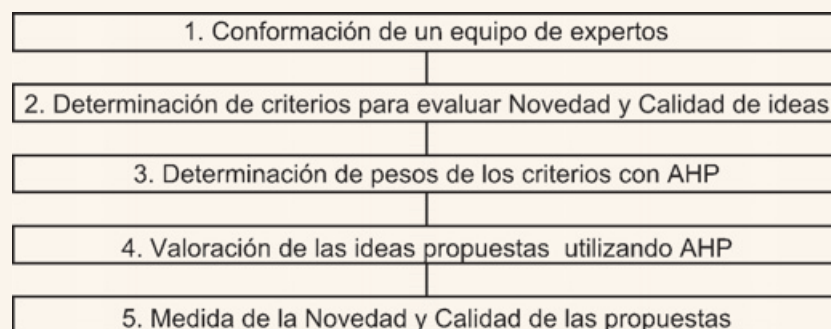


Figura 6. Proceso para la evaluación del Producto Creativo

terísticas asociadas a las especificaciones del diseño y de interés en el ámbito de la ingeniería (Shah et al 2003).

La tercera etapa, Determinación del peso de los criterios, se realizó a partir de aplicación de la técnica de análisis multicriterio, AHP. Cada uno de los expertos realizó una comparación por parejas frente a la importancia relativa de los criterios, posteriormente, se utiliza un proceso de ponderación con los resultados de todos los expertos utilizando la media geométrica, que es la más adecuada para tener en cuenta la decisión en grupo (Saaty 1980). Para el proceso de comparación y medida se utilizó el software Expert Choice (EC 2000)

La cuarta etapa, Valoración de las ideas propuestas, se realizó mediante los juicios de los expertos, utilizando AHP. Esta técnica establece la preferencia de las propuestas (bocetos) a través de comparaciones por parejas. Al igual que en el caso de los criterios, los resultados de la preferencia de las propuestas obtenidas por cada experto se integran con la media geométrica.

La quinta etapa, Medida de la Novedad y la Calidad de las propuestas, es el resultado del procesamiento de las matrices de comparación de las dos etapas anteriores.

5.2.1 Resultados

Los valores resultantes de los pesos para cada uno de los criterios de la Novedad y Calidad se muestran en las Figuras 7 y 8, respectivamente.

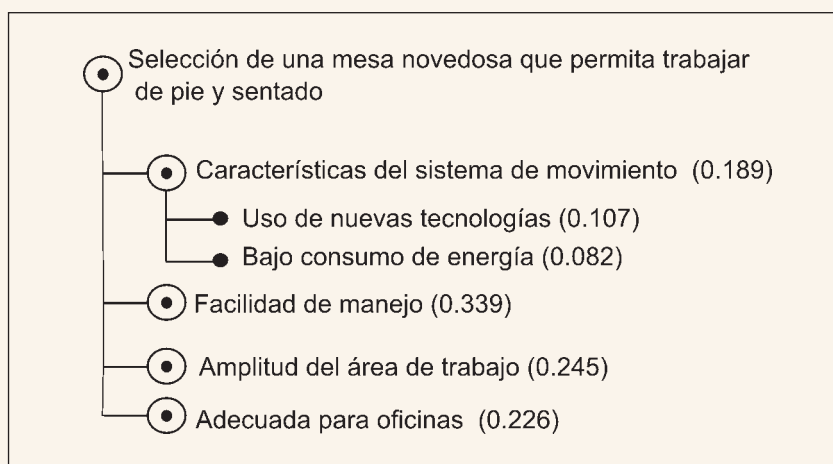


Figura 7. Diagrama jerárquico y pesos obtenidos para evaluar la Novedad de las propuestas

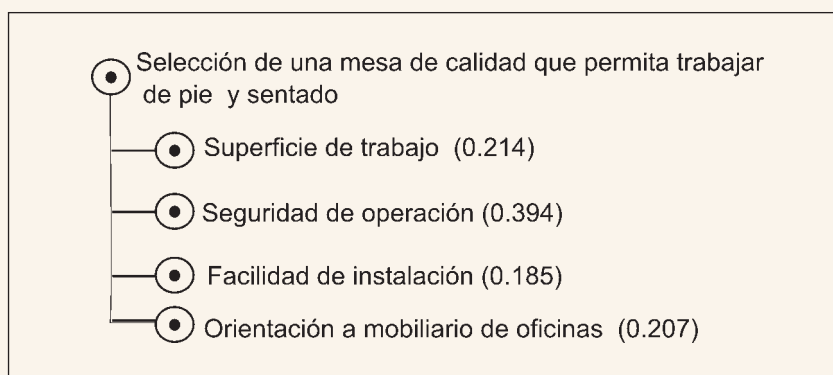


Figura 8. Diagrama jerárquico y pesos obtenidos para evaluar la Calidad de las propuestas

se corresponden con la evaluación conjunta del grupo de expertos.

6. DISCUSIÓN

Del análisis de los resultados obtenidos en el experimento, (Ver Tabla 4, Figura 9 y Figura 10), se puede afirmar lo siguiente:

1. El trabajo multidisciplinar lleva a mejores resultados en la generación de ideas, en los aspectos de Variedad, Novedad, y Calidad (resultados de los grupos 2 y 3).

Las Figuras 9 y 10 presentan el resultado de la medida de la Novedad y la Calidad de las propuestas sugeridas utilizando la técnica de análisis multicriterio, AHP. Estos resultados

2. El inadecuado análisis del problema a través de las nueve ventanas parece indicar una limitación en las posibilidades de Variedad y Calidad de las propuestas (resultados del grupo 4).

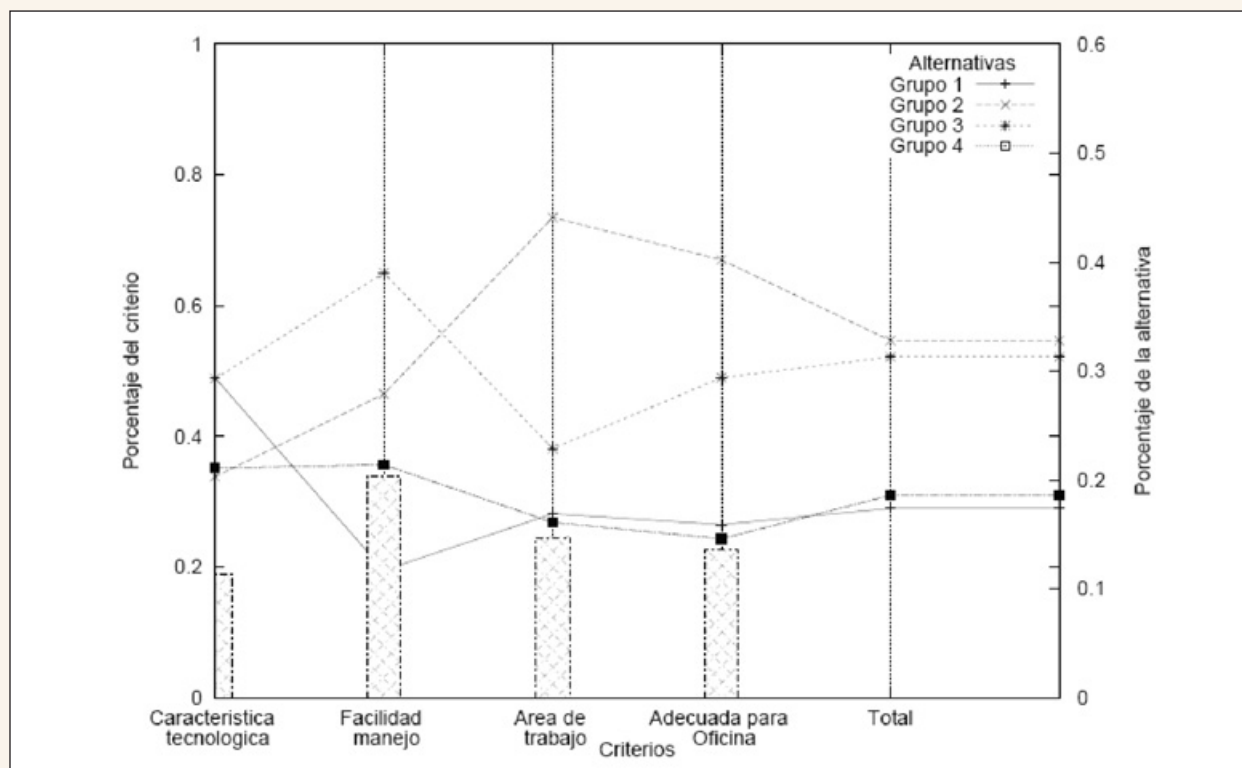


Figura 9. Resultados de la evaluación conjunta de la Novedad de las propuestas

El análisis de los resultados obtenidos con la herramienta de las Nueve ventanas muestra la influencia que

ejercen las disciplinas. Para el Grupo 1, formado sólo por ingenieros, se observa un alto componente de des-

cripción técnica del sistema; en los demás grupos se encuentra un análisis global de la situación, consideran-

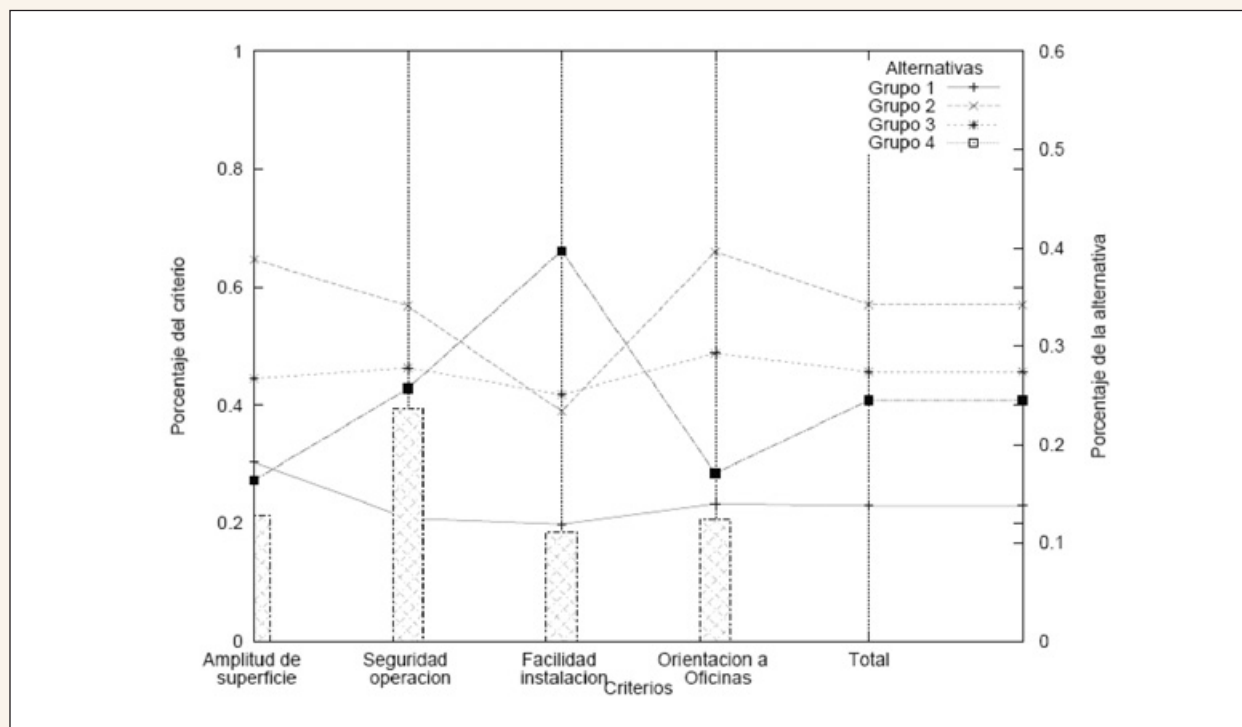


Figura 10. Resultados de la evaluación conjunta de la Calidad de las propuestas



do la utilidad del sistema, la producción y la relación del producto con el usuario. Esto es particularmente evidente en el Grupo 2.

Existen aspectos como la comunicación, la toma de decisiones en grupo y el liderazgo, entre otros, que deben ser evaluados en este tipo de experiencias. El análisis de estos factores es un tema de actualidad investigativa que va más allá de los perfiles profesionales de los participantes y tienen alta influencia en el desempeño del equipo (Peeters 2007). Sin embargo, la presencia de Diseñadores Industriales amplía la visión del problema, lo que se verifica en el análisis del supersistema realizado. Dos grupos (2 y 3), que incluyen Diseñadores Industriales, consideraron específicamente aspectos de uso, lo cual no es evidente en el Grupo 1 (de sólo ingenieros).

Desde el punto de vista de la actitud de los participantes frente al uso de técnicas sistemáticas de creatividad, los Diseñadores Industriales fueron quienes se mostraron desde el inicio del experimento más escépticos respecto a su uso porque consideraban que restringían la capacidad de expresión creativa. Los ingenieros, por su parte, valoraron positivamente la existencia de este tipo de técnicas para resolver problemas porque les permitió adquirir nuevos elementos

para concebir las soluciones. Con todo, se puede afirmar que el trabajo multidisciplinar con la estrategia TRIZ fue adecuado. TRIZ, al tener una orientación al cumplimiento de tareas, favorece la convergencia de los distintos puntos de vista de las diferentes disciplinas y disminuye la presión de los integrantes (Groth & Peters, 1999), de esta forma, cada miembro del equipo se convierte en un orientador del trabajo desde su disciplina.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el experimento, se puede afirmar que el trabajo con equipos multidisciplinarios conduce a mejores resultados de las variables Calidad, Novedad y Variedad de las ideas generadas en el proceso de diseño. Este resultado verifica la hipótesis establecida en el estudio, y permite corroborar las argumentaciones teóricas de otros autores que afirman que las soluciones con participación multidisciplinar son muy efectivas para crear productos fiables y robustos.

El inadecuado análisis del problema, junto a factores relacionados con la comunicación e interacción del grupo, parece indicar que constituye una limitación para las posibilidades

de Variedad de las propuestas. Algunos autores han reconocido estos factores como inconvenientes en las fases creativas del diseño, por lo que no basta con el aprendizaje de la técnica, para conseguir buenos resultados en la fase creativa.

El uso de la técnica de análisis multicriterio, AHP, para la medición de la Novedad y la Calidad de las propuestas creativas, resulta útil en procesos en donde participan un conjunto de evaluadores. AHP, es un método que favorece el consenso de los posibles sesgos de las disciplinas de los evaluadores.

El uso de la estrategia de creatividad sistemática TRIZ, comparado con el uso de estrategias de creatividad intuitivas, implica el empleo de mayor tiempo para el adiestramiento, lo cual puede causar un rechazo inicial en profesionales fuera del ámbito de la ingeniería. Sin embargo, al ser una estrategia orientada a la tarea, favorece la convergencia del proceso, e integra los diferentes enfoques aportados por las disciplinas.

8. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Centro de Cooperación al Desarrollo de la Universidad Politécnica de Valencia, su colaboración en el desarrollo de este estudio.

APÉNDICE A

Materiales para la experiencia de generación de ideas

Para el experimento, los estudiantes recibieron las instrucciones que se muestran a continuación, junto con la matriz de contradicciones, rotuladores y papel para escribir las ideas y presentar resultados.

Instrucciones del experimento

Enunciado del experimento:

Se pretende diseñar una nueva mesa para oficina que permita elevarse y bajarse fácilmente para compaginar el trabajar de pie con el trabajar sentado. Son muchas las personas que pasan la jornada laboral entera trabajando sentadas, y en muchas ocasiones en posturas incorrectas. La posibilidad de alternar durante la jornada laboral, el trabajo de pie con el trabajo sentado, puede suponer una mejora de salud y la productividad. Las mesas actuales que presentan la funcionalidad buscada son generalmente de pequeña superficie de trabajo, por lo que también interesa que hubiera mesas más grandes y que fueran fáciles de elevar para cambiar la postura con el tiempo. La mesa está dirigida fundamentalmente a mobiliario de oficinas para empresas.

Para el uso de TRIZ, realicen el siguiente procedimiento:

- 1. Analicen el problema con las nueve ventanas que les permita identificar la función principal y las contradicciones del problema*
- 2. Determinen los principios inventivos utilizando la matriz de contradicciones y generen en forma colectiva ideas para la solución del problema*
- 3. En forma colectiva escojan una idea, desarrollen la solución y presenten un dibujo detallado de la propuesta.*

Procedimiento

Antes del experimento, los estudiantes recibieron 12 horas de instrucción, durante cuatro sesiones de tres horas cada una, sobre los fundamentos de la estrategia de creatividad TRIZ. Se trabajó con la herramienta de las nueve ventanas, la utilización de la matriz de contradicciones y el significado de los principios inventivos, entre otros.

La sesión del experimento tuvo tres partes: la primera, la entrega de las instrucciones de la práctica; la segunda, el trabajo en grupo con las nueve ventanas y la matriz de contradicciones; por último, la presentación de los resultados. El tiempo de trabajo fue de 2 horas y 30 minutos, organizados de la siguiente forma:

Primera parte:

15 minutos de presentación del trabajo y preguntas iniciales.

Segunda parte:

- 50 minutos para el trabajo con las nueve ventanas, determinación de la Función principal e identificación de contradicciones.
- 15 minutos para seleccionar una idea para desarrollar a partir de las contradicciones.
- 50 minutos para desarrollar la idea.

Tercera parte:

20 minutos para presentación, en grupo, de la idea final.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ALTSHULLER, Genrich; SHAPIRO, R. "Psychology of Inventive Creativity". *Journal for the Altshuller Institute for Triz Studies*. 2000, Otoño, p. 23-27.
- AMABILE, Teresa. "The Social Psychology of Creativity: A Componential Conceptualization". *Journal of Personality and Social Psychology*. 1983, vol 45, núm. 2, p. 357-376.
- BARRICK, John; SPILKER, Brian. "The relations between knowledge, search strategy, and performance in unaided and aided information searchT". *Organizational Behavior and Human Decision Processes*. 2003, vol 90, p.1-18.
- CAVALLUCCI, Denis. "TRIZ, the altshullerian approach to solving innovation problems". En: Chakrabarti, Amaresh. (ed). *Engineering Design Synthesis*. London: Springer, 2002. p. 131-148. ISBN:1852334924
- CONTI, Regina; COON, Heather; AMABILE, Teresa. "Evidence to support the componential model of creativity: Secondary analysis of three studies". *Creativity Research Journal*. 1996, vol 9, p. 385-389.
- DODGSON, Mark. "Technology Learning, Technology Strategy and Competitive Pressures". *British Journal of Management*. 1991, vol 2, p.133-149.
- EISENTRAUT, Renate; GÜNTHER, Joachim. Individual styles of problem solving and their relation to representations in the design process. AKIN, O.; SAGLAMER, G. (eds.) *Memorias del primer simposio internacional Descriptive Models of Design*. Istanbul, Technical University, Faculty of Architecture, 1996.
- EISENTRAUT, Renate. "Styles of problem solving and their influence on the design process". *Journal of Design studies*. 1999, vol 20, núm. 5, p 431-437.
- EC 2000. Expert Choice 2000 Team. Pittsburgh: Expert Choice Inc.; 2001.
- FERNANDEZ, JUAN. "Pilotar la innovación con equipos humanos de alto rendimiento". *DYNA Ingeniería e Industria*. 2006, vol 81, núm 6, P. 6-10.

- GERO, John.; NEILL, Thomas. "An approach to the analysis of design protocols". *Journal of Design studies*. 1998, vol 19, núm. 1, p. 21-61.
- GOEL, Parveen; SINGH, Nanua. "Creativity and Innovation in Durable Product Development". *Computers & Industrial Engineering*. 1998, vol 35, núm. 1-2, p. 5-8.
- GROTH, John.; PETERS, John. "What Blocks Creativity? A Managerial Perspective". *Creativity and Innovation Management*. 1999, vol 8, núm. 3, p. 179-187.
- HUIDROBO, Teresa. "Una definición de la creatividad a través del estudio de 24 autores seleccionados". Director: Javier González Marqués. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Psicología, Madrid, 2002.
- INSA – Institut National des Sciences Appliquées [Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas]. "Theoretical grounding and principles of TRIZ - Ariz: Theory and practice". [Material de los cursos del Master Avanzado en Innovative Design], Strasbourg, 2007.
- KAY, Sandra. "The figural problem solving and problem finding of professional and semiprofessional artists and nonartists". *Creativity Research Journal*. 1991, vol 4, núm. 3, p. 233-252.
- KOESTLER, Arthur. *The act of creation*, United Kingdom: Pan Books, 1970. ISBN:
- MOEHRLE, Martin "What is TRIZ? From Conceptual Basics to a Framework for Research". *Creativity and Innovation Management*. 2005, vol 14, núm. 5, p. 3-13.
- MUMFORD, Michael; REITER-PALMON, Roni; REDMOND, M. R. "Problem construction and cognition: Applying problem representations in ill-defined domains". RUNCO, Mark (ed.), *Problem finding, problem solving, and creativity*. New Jersey: Ablex Publishing Corporation, 1994. ISBN: 1567500137
- NAPPIER, Nancy; NILSSON, Mickael. The Development of Creative Capabilities in and out of Creative Organizations: Three Case Studies. *Creativity and Innovation Management*. 2006, vol 15, núm. 3, p. 268-278.
- OGOT, Madara; OKUDAN, Gül. "Systematic Creativity Methods in Engineering Education: A Learning Styles Perspective". *International Journal of Engineering Education*. 2006, vol 22, núm. 3, p.566-576.
- PEETERS, Miranda; RUTTE, Christel; VAN TUIJL, Harrie; REYMER, Isabelle "The development of a design behavior questionnaire for multidisciplinary teams". *Design Studies*. 2007, vol 28, núm. 6, p. 623-643.
- RAFOLS, Ismael; MEYER, Martin. "Knowledge-sourcing strategies for cross-disciplinarity in bionanotechnology". Brighton: SPRU *Electronic Working Paper Series*: 152.
- RANGONE, Andreas. "A resource-based approach to strategy analysis in small-medium sized enterprises". *Small Business Economics*. 1999, vol 12, p. 233-248.
- ROSTAN, Susan. "Problem finding, problem solving, and cognitive controls: An empirical investigation of critically acclaimed productivity". *Creativity Research Journal*. 1994, vol 7, núm. 2, p. 97-110.
- RUSCIO, John; WHITNEY, Dean; AMABILE, Teresa. "Exploratory analysis of the creative process in problem-solving". *Memorias de The Meeting of The Eastern Psychological Association*, Boston, 1995
- SAATY, Thomas. *The Analytic Hierarchy Process*, Nueva York: McGraw-Hill, 1980. ISBN: .
- SALAMATOV, Yuri. *TRIZ: The right solution at the right time*. Holanda: Insytex B.V, 1999. ISBN: 9080468010
- SAVRANSKY, Semyon. *Engineering of Creativity*. Boca Raton, USA: CRC Press. 2000. ISBN: 0849322553
- SCHUMPETER, Joseph. *Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. Fels, Rendings (prol.), New York: McGraw Hill, 1939. 461 p.
- SHAH, Jami; SMITH, Steven; VARGAS-HERNANDEZ, Noé. "Metrics for measuring ideation effectiveness". *Design Studies*. 2003, vol 24, núm. 2, p. 111-134.
- TAGGAR, Simon. "Individual Creativity and Group Ability to Utilize Individual Creative Resources: A Multilevel Model". *Academy of Management Journal*. 2002, vol 45, núm. 2, p. 315-330.
- VON DER WETH, R. "Design instinct?—the development of individual strategies". *Journal of Design Studies*. 1999, vol 20, núm. 5, p. 453-463.
- VOSS, James; WOLFE, Christopher; LAWRENCE, Jeanette; "From Representation to Decision: An Analysis of Problem Solving in International Relations". En: Sternberg, Robert; Frensch, Peter. (ed). *Complex Problem Solving: Principles and Mechanisms*. Lawrence Erlbaum Associates, 1991. p. 1119-158. ISBN: 0805806512
- WARD, Thomas; SMITH, Steven; VAID, Jyotsna "Conceptual Structures and processes in creative thought". En: Ward, Thomas; Smith, Steven; Vaid, Jyotsna (ed). *Creative Thought: An Investigation of Conceptual Structures and Processes*. American Psychological Association (APA), 1997. p. 1-27. ISBN: 1557984042
- WERTHEIMER, Max. *Productive Thinking*. New York: Harper and Row, 1945.
- WINGERT, B. Ist Konstruieren ein psychologischer Handlungstyp? En: Hubka, V. (ed.) *Memorias de ICED 85.- Theory and Practice of Engineering*. Vol 2, Edición Heurista. Zurich, 1985. p. 884-892. ■