

EVOLUCIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO CON LA INCORPORACIÓN DE FUNCIONES

Elena Mulet Escrig ^{1p}, Rosario Vidal Nadal¹, Eliseo Gómez-Senent Martínez²

¹Universitat Jaume I, ²Universidad Politécnica de Valencia

Resumen

El objetivo de esta comunicación es aportar conocimiento sobre una nueva función, guiar al diseñador sobre qué hacer a continuación para alcanzar una solución de diseño más efectiva, que esperamos que en un futuro incorporen los sistemas computacionales de diseño.

Como pilares básicos de nuestras hipótesis nos sustentamos en una investigación experimental con equipos de diseñadores, que ha sido analizada con la técnica del protocolo para obtener la evolución del modelo Function-Behaviour-Structure que considera las funciones, estructuras y comportamiento del proceso de diseño.

Otro pilar de nuestra investigación es la revisión de los actuales modelos del proceso de diseño y la discusión de los mismos utilizando nuestros resultados experimentales.

Como resultado final, y basándonos en ciclos de divergencia-convergencia, proponemos unas primeras pautas que permitan guiar al diseñador desde la fase de diseño conceptual.

Palabras clave: proceso de diseño, función, especificación, FBS, modelos computacionales de diseño, divergencia, convergencia.

Abstract

The aim of this communication is to provide knowledge regarding a new function: guiding the designer in what to do next in order to find a design solution in a more effective way. We expect this function to be included in computational design systems in future.

Our hypothesis are based on experimental research with design teams. This research has been analysed with the design protocol technique to obtain the evolution of the FBS model, which considers functions, structures and behaviour of the design process.

This research is also sustained on the revision of the state of the art of design process models and its discussion with our experimental results.

As a result, we propose some preliminary approaches based on the cycles of divergence and convergence to guide the designer from the conceptual design phase.

Keywords: design process, function, specification, FBS, computational design models, divergente, convergente.

Correspondencia

Elena Mulet. Universidad Jaume I. Campus de Riu Sec. 12071 Castellón.
Tel.: 964 72 81 88 Fax: 964 72 81 06 E-mail: emulet@tec.uji.es

EVOLUCIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO CON LA INCORPORACIÓN DE FUNCIONES

Elena Mulet Escrig ^{1p}, Rosario Vidal Nadal¹, Eliseo Gómez-Senent Martínez²

¹Universitat Jaume I, ²Universidad Politécnica de Valencia

1. INTRODUCCIÓN.

La eficiencia del proceso de diseño en las empresas depende en gran medida de las habilidades individuales de cada miembro del equipo encargado de un proyecto y de las capacidades de las herramientas disponibles en el mercado. En este sentido, son muchos los avances realizados para optimizar las distintas etapas del proceso de diseño mediante el uso de sistemas computacionales.

Los sistemas CAD constituyen un conjunto de herramientas de soporte a las actividades de diseño y han experimentado una importante evolución desde sus inicios hasta el momento actual. No obstante, existen importantes retos que alcanzar para llegar a un sistema ideal de soporte al diseño. Para el desarrollo futuro de sistemas informáticos de soporte al diseño es necesario tener en cuenta las actividades que realiza el diseñador con el fin de analizar cuáles de ellas puede implementar el ordenador y conseguir así progresos importantes.

Ullman estableció 17 funciones para el desarrollo de sistemas CAD basándose en las actividades desempeñadas por los diseñadores y en los tipos de información desarrollados por ellos y obteniendo los tipos de información que deben gestionar los sistemas CAD y las actividades que deben realizar [Ullman, 2002].

Una de estas actividades consiste en guiar al diseñador sobre qué hacer a continuación, función que hasta el momento ha recibido menor atención que otras. La necesidad de guiar al diseñador sobre qué hacer a continuación surge del hecho de que durante el proceso de diseño, diversas cuestiones asaltan repetidamente al diseñador, como por ejemplo: ¿Interesa generar más soluciones potenciales?; ¿Interesa redefinir el problema en estos momentos?; ¿Interesa descomponer una parte del problema?.

Actualmente no hay una metodología que guíe en el proceso de diseño sobre qué hacer a continuación. Frecuentemente los diseñadores se decantan por hacer aquello que resulta más sencillo y no aquello que conducirá a una mejor decisión. Es importante no confundir la actividad de guiar con la de planificar, ya que esta última es una tarea previa al diseño, mientras que el guiado actúa durante el curso del diseño. Por lo tanto, la investigación en esta línea ofrece grandes oportunidades para el desarrollo de futuros sistemas CAD. Si se consigue automatizar un conjunto de criterios para el guiado de las tareas de diseño, se conseguirá un buen resultado de forma más eficiente.

Una de las fases del proceso de diseño en la que se necesita dedicar mayor esfuerzo para descubrir cómo soportar mejor al diseñador es la de diseño conceptual, ya que se caracteriza por una gran incertidumbre debido a que el problema no está bien definido y por tanto los procesos de pensamiento del diseñador adquieren un gran protagonismo.

Los modelos clásicos del diseño conceptual establecen dos pasos fundamentales: el paso divergente, en el que un conjunto de conceptos es generado y al que le sigue el paso convergente, en el que se realiza la evaluación y selección de esos conceptos [Pugh, 1990; Cross, 1994; Roozenburg, 1995].

Buena parte de las investigaciones encaminadas a mejorar las distintas etapas del diseño adoptan la hipótesis de que la fase crucial es aquella en la que se generan las ideas bajo la premisa de que si no se generan estas ideas el proyecto no tendrá éxito. No obstante, otras aproximaciones al diseño consideran que para diseñar de forma eficiente, además de mejorar la generación de soluciones, es muy importante controlar cómo conseguir la convergencia del problema.

El problema de diseño consiste en obtener una solución a un conjunto de necesidades las cuales es necesario analizar antes de abordar la etapa de generación de alternativas. Habitualmente en este análisis se obtiene una lista de especificaciones que cumplir y de funciones a implementar. Está aceptado que, de forma general, las funciones organizan y facilitan la búsqueda de principios de solución y que las especificaciones se utilizan para evaluar el cumplimiento de las necesidades por parte de los principios de solución generados. Además, la definición del problema no es estática sino que evoluciona durante el proceso de diseño en el que continuas interacciones tienen lugar entre la solución y la definición del diseño.

La clarificación del papel que desempeñan las funciones y especificaciones de diseño en la divergencia y convergencia del proceso de diseño constituye una de las áreas de investigación que puede aportar nuevos avances en los sistemas de soporte al diseño basados en el conocimiento.

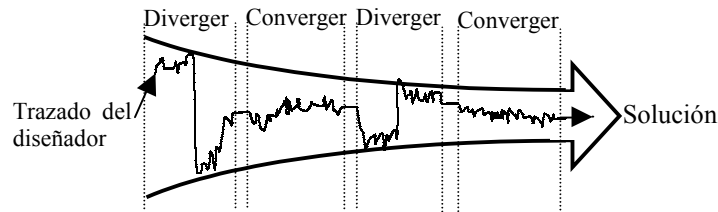
El objetivo de esta comunicación es determinar cómo soportar el diseño de forma más efectiva utilizando los datos de un experimento de diseño y teniendo en cuenta los futuros requisitos de los sistemas de soporte al diseño y el papel de la definición del problema.

2. ANTECEDENTES.

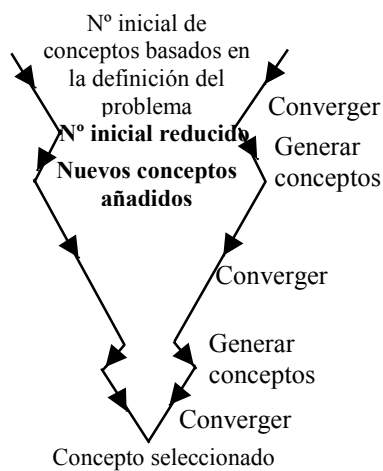
La definición del problema de diseño no es estática, sino que se va construyendo junto con las soluciones a lo largo del proceso de diseño. El estudio de esta característica del diseño dio lugar a la obtención del marco FBS para describir el diseño, según el cual el diseño avanza de un estado a otro y se caracteriza por tres elementos: la función (function, F); el funcionamiento (behaviour, B), que describe el cambio secuencial del estado; y el estado de la estructura (structure, S), que identifica el estado de la solución del problema [Umeda et al, 1990; Gero, 1990]. Además de modelar el diseño, este marco sirve también como método para analizar el proceso de diseño, ya que permite trazar la evolución del mismo en el tiempo.

Partiendo de la consideración de una etapa divergente y otra convergente, son varias las aproximaciones al proceso de diseño que han caracterizado en mayor medida estas etapas. Por ejemplo, para Cross, el proceso de diseño es principalmente convergente, aunque manteniendo en él cierta divergencia para ampliar la búsqueda de nuevas ideas [Cross, 1994]. Pugh estableció que se debe llevar a cabo la generación de conceptos y su evaluación de un modo progresivo para alcanzar los mejores resultados, mediante un proceso iterativo de divergencia y convergencia que se repite sucesivamente consiguiendo un número de soluciones decreciente [Pugh, 1990]. La Teoría de las

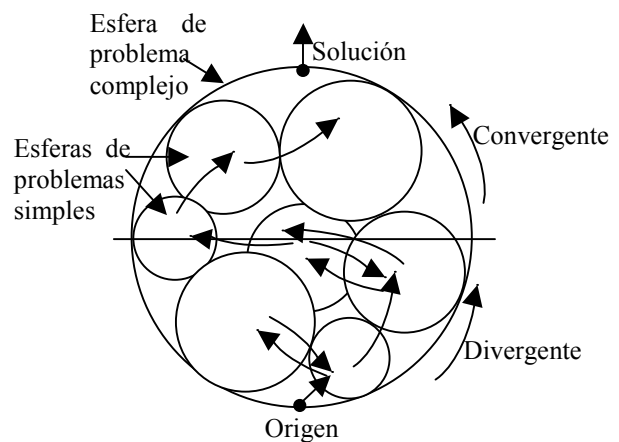
Dimensiones [Gómez-Senent, 1998] propone como estrategia general de resolución de problemas complejos, la resolución de problemas simples cada uno de los cuáles se resuelve mediante una primera etapa divergente seguida por una convergente, coincidiendo por tanto en la idea de que la divergencia y la convergencia se suceden repetidamente a lo largo de un proyecto. La figura 1 ilustra estas tres caracterizaciones.



a) Modelo de Cross



b) Modelo de Pugh



c) Modelo de Gómez-Senent

Figura 1. Modelos de divergencia y convergencia del problema de diseño.

Una de las últimas aproximaciones al diseño apuesta por potenciar la convergencia en base a la Teoría de Resolución de Problemas Inventivos (TRIZ), que ayuda a inventar e innovar tecnológicamente mediante la aplicación de los principios extraídos del análisis de más de millón y medio de patentes de todo el mundo [Altshuller, 1997]. Una de las muchas herramientas de esta teoría proviene de la observación de que los sistemas técnicos evolucionan según unas leyes objetivas que resultan muy útiles para la previsión tecnológica. La propuesta para la convergencia del proceso de diseño consiste en utilizar las leyes de la evolución de los sistemas técnicos para reducir el gran espectro de alternativas que pueden generarse cuando sólo se consideran las restricciones habituales y las especificaciones de diseño obtenidas de las demandas del cliente. De este modo se llega más eficientemente a un número pequeño de soluciones válidas tal y como se muestra en la figura 2 [Cavalluci et al, 2002].

Otro de los modelos más recientes establece que la mejor aproximación para el diseño conceptual en un entorno computacional, consiste en aproximarse a la solución pasando por diversos niveles de abstracción de las soluciones y hacer repetidos ciclos de

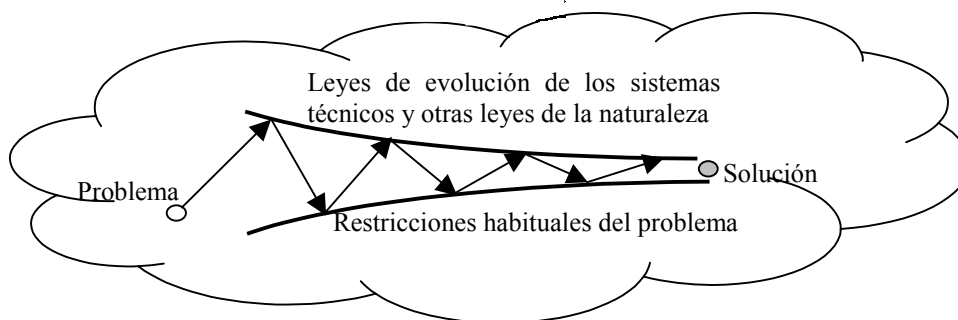


Figura 2. Aplicación de TRIZ para reducir la búsqueda de alternativas.

divergencia-convergencia. El diseño conceptual es esencialmente divergente en una primera parte y esencialmente convergente después. Sin embargo, dentro de la etapa divergente, además de ampliar el número de soluciones interesa aplicar también pasos de convergencia que consisten en evaluar aquellos aspectos que lo permitan y realizar así algunas selecciones para evitar un número muy elevado de soluciones. Del mismo modo, una vez el diseño es esencialmente convergente y se está evaluando y seleccionando las alternativas, también se van añadiendo de forma cíclica algunos conceptos que amplían el espacio de soluciones. Es decir, el modelo más eficiente para un entorno computacional consiste en aplicar múltiples pasos de divergencia-convergencia dentro de una tendencia que al principio es de divergir y al final de converger y en la que las soluciones se obtienen primero para niveles de abstracción mayores y luego menores [Liu et al, 2003]. La figura 3 ilustra este modelo.

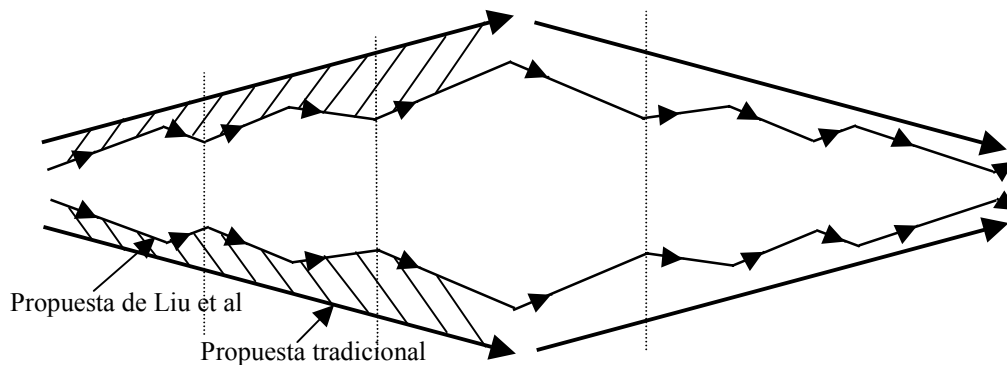


Figura 3. Modelo de múltiple divergencia-convergencia de Liu et al.

3. METODOLOGÍA.

Con el fin de aportar nuevos conocimientos sobre los procesos de pensamiento del diseñador, se realizó un estudio a nivel experimental en el que equipos de cinco estudiantes diseñaban una mesa de dibujo que ocupara el menor espacio cuando no se utilizara. Tres funciones se deducen de la definición inicial del problema: soportar, regular la inclinación y disminuir el volumen.

Una tercera parte de los equipos del experimento dispuso de medios verbales para generar ideas, mientras que otro tercio usó medios visuales y el restante pequeñas piezas

con las que implementar las ideas físicamente. Dicho experimento fue analizado mediante técnicas de análisis del protocolo para determinar la efectividad en el proceso de diseño al diseñar con otros medios de representación para construir las soluciones de diseño [Vidal et al, 2003]. Como resultado se identificaron diversos parámetros del proceso que mostraron diferencias significativas en función de los medios de expresión empleados. La efectividad medida en términos de adecuación a las especificaciones de diseño era más elevada en el caso de utilización de objetos. También se observó una mejor comunicación y una mayor motivación de los componentes del equipo [Gómez-Senent et al, 2001].

El siguiente paso consistió en analizar la obtención y evolución de las alternativas de diseño mediante la representación del modelo FBS del experimento, que representa la evolución del estado del diseño en términos de las funciones de diseño, el funcionamiento y las soluciones (estructuras) en cada momento del diseño. Los detalles de la representación del modelo FBS para este experimento pueden consultarse en las referencias [Mulet et al, 2002 y 2003].

El modelo FBS permite analizar la evolución de los procesos de divergencia y convergencia del proceso de diseño así como la evolución de las funciones y especificaciones del problema. Partiendo de los resultados de efectividad obtenidos para este experimento, se ha analizado la divergencia y convergencia de dos procesos de diseño más efectivos del experimento y de dos menos efectivos comparándolo con el modelo de divergencia-convergencia de Liu.

Con el fin de establecer cómo soportar el diseño desde la función de guiar al diseñador se han buscado relaciones entre la utilización de las funciones del problema a lo largo del proceso de diseño y el guiado del proceso hacia una solución conceptual de forma más efectiva.

4. RESULTADOS

Una vez obtenido el modelo FBS se ha identificado el número de alternativas de diseño obtenidas para cada una de las tres funciones del enunciado inicial del problema y el número de soluciones que realizan las tres funciones conjuntamente. También hay algunas alternativas para dos de las tres funciones. El caso de las alternativas obtenidas para más de una función del diseño se debe a dos causas:

- Se han combinado alternativas parciales de diseño
- Se han generado directamente alternativas para más de una de las funciones. Es decir, en lugar de mantener una descomposición del problema durante el diseño, en ocasiones se generan alternativas sin descomponer las funciones del problema.

Estos resultados se muestran en la tabla 1, diferenciados para el proceso de diseño en el que había un menor cumplimiento de los requerimientos del problema (menos efectivos) y los que cumplían mejor (más efectivos). La última columna muestra el número de soluciones potenciales para las tres funciones que se podría haber conseguido si se hubieran combinado todas las soluciones parciales. Este valor se ha calculado eliminando las incompatibilidades siguiendo el método AIDA [Jones, 1992].

El primer aspecto que llama la atención es la gran cantidad de alternativas potenciales que se generan con las soluciones aportadas por un equipo durante una hora. Sin embargo, el número de alternativas generadas es mucho menor, debido a la tendencia a

converger en una solución adecuada en un tiempo limitado. Se comprueba, por otra parte, cómo en el proceso de diseño más efectivo hay una mayor convergencia, dado que, pese a obtener un número similar de soluciones finales, la mayoría de ellas son soluciones para las tres funciones, resultado inverso al del proceso menos efectivo.

	Alternativas válidas para las 3 funciones	Alternativas válidas para 1 ó 2 de las funciones iniciales	Alternativas potenciales
Más efectivo	10	2.5	179
Menos efectivo	1.5	8.5	135

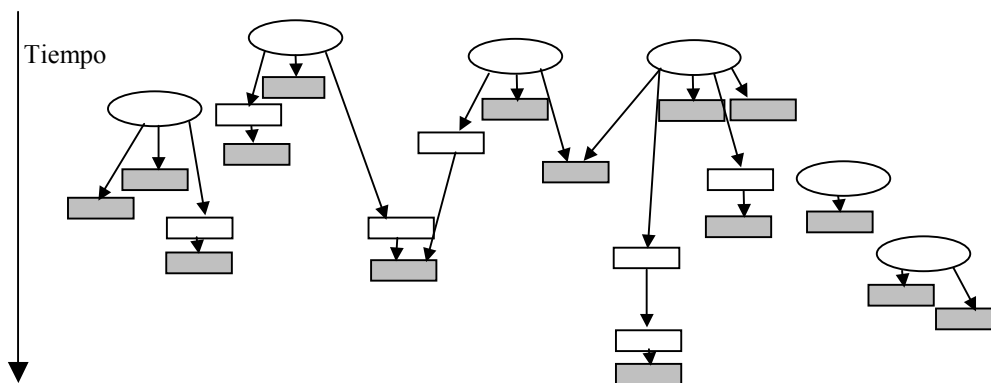
Tabla 1. Alternativas obtenidas y potenciales.

El modelo FBS de los casos escogidos del experimento, muestra también diferencias significativas en el número de funciones y especificaciones que se añaden durante el proceso de diseño. En el proceso menos convergente se introducen más del doble de especificaciones y funciones de diseño que en el más convergente. Precisamente esta tendencia a incorporar un gran número de funciones nuevas al principio es lo que causa que no haya tanta convergencia como en el otro caso, ya que los diseñadores dedican una parte importante del tiempo a generar soluciones para esas nuevas funciones.

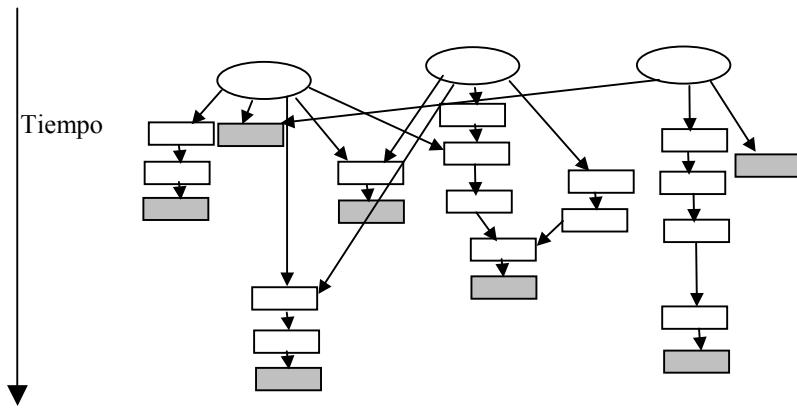
Analizando la fotografía final del proceso de diseño en el modelo FBS se ha contabilizado el número total de caminos abiertos en el proceso de diseño. Cada uno de dichos caminos corresponde a una de las alternativas de diseño que se ha generado durante el proceso. Algunas de ellas corresponden a las funciones iniciales del problema y otras a las restantes. Del mismo modo, al finalizar el tiempo del experimento, algunas de estas alternativas permanecían aisladas mientras que otras se combinaron entre sí en mayor o menos grado, como se ilustra en la figura 4. Finalmente se ha calculado el ratio entre las alternativas abiertas y el número total de funciones y especificaciones del diseño. La tabla 2 resume estos resultados.

	Caminos abiertos	Caminos abiertos no desechados	Funciones y especificaciones	Ratio entre alternativas y funciones y especificaciones
Más efectivo	16.5	14.5	15.5	0.9
Menos efectivo	58	57	31.5	1.8

Tabla 2. Funciones y especificaciones añadidas y alternativas obtenidas.



a) Proceso de diseño con gran incorporación de funciones.



b) Proceso de diseño con poca incorporación de funciones.



Figura 4.a) y b) Diferencias en la divergencia del proceso de diseño observadas en el modelo FBS

El experimento realizado corresponde básicamente a la etapa esencialmente divergente del diseño conceptual, puesto que se ha realizado en un período de tiempo pequeño. Además, una de las instrucciones que se les dio a los estudiantes era que no se les asignaba realizar la evaluación de las soluciones, sino que sólo tenían que obtenerlas. No obstante, se ha podido comprobar cómo se cumple experimentalmente el modelo indicado por Liu para esta etapa, ya que, no sólo se han generado alternativas, sino que también se han realizado algunas evaluaciones para descartar alternativas. Pero no sólo las eventuales evaluaciones han controlado el proceso evitando un crecimiento excesivo del número de alternativas, sino que otros factores también han influido en ello:

- La obtención de soluciones directamente para más de una función.
- La combinación de algunas soluciones parciales no en todas las posibles combinaciones sino sólo en aquellas que el diseñador considera más interesantes.

Estas diferencias permiten avanzar de forma más directa hacia una solución final, ya que simplifican la etapa de generación de soluciones convergiendo en mayor medida y llegando a un resultado satisfactorio en menos tiempo. El inconveniente que presenta es que es más difícil obtener una solución inusual y por lo tanto habrá que tener muy en cuenta cuáles son las expectativas y las limitaciones de cada situación. La figura 5 muestra gráficamente las diferencias de los casos analizados en comparación con el modelo de Liu. Para el proceso de diseño en el que se introducen más funciones adicionales, se explora una mayor cantidad de soluciones en el mayor nivel de abstracción. Además durante el tiempo del experimento sólo se ha llegado a proponer muy pocas alternativas del siguiente nivel de abstracción. Sin embargo, en el proceso en el que menos funciones adicionales aparecen, para el mismo tiempo de diseño hay una menor divergencia y se consigue llegar al menor nivel de abstracción del diseño conceptual gracias a la utilización de objetos para expresar las soluciones y a que se centra el tiempo disponible en un menor número de funciones.

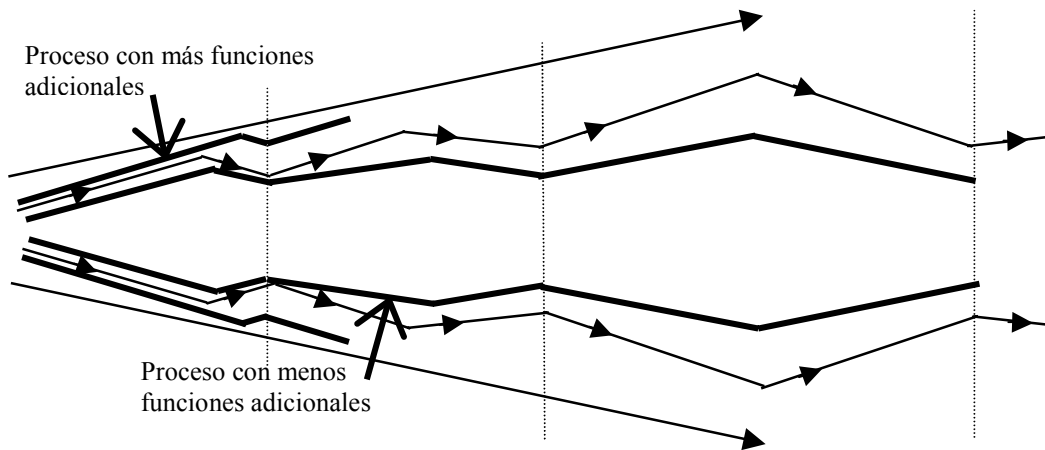


Figura 5. Diferencias en los ciclos de divergencia-convergencia sobre el modelo de Liu et al.

5. DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos se proponen nuevas pautas para realizar la función de guiar al diseñador sobre qué debe hacer en los sistemas de soporte al diseño basados en el conocimiento. Cuando se introduce un número mayor de funciones al principio, se genera un mayor número de soluciones y hay una mayor divergencia del problema. Esto implica una prolongación del tiempo de diseño necesario para obtener una solución final. Por tanto, no se debe introducir de forma intensiva nuevas funciones al principio, sino que la introducción de las mismas debe ser más repartida en el tiempo.

Realizar más combinaciones de soluciones parciales en soluciones a todas las funciones de diseño desde un primer momento en lugar de esperar a combinarlas al final hace que el proceso de diseño también guía al proceso hacia una solución más rápidamente. Lo mismo ocurre al fomentar la generación de soluciones conjuntas para varias funciones en lugar de generar sólo soluciones parciales.

Estas pautas provocan un mayor refinamiento de diseño, es decir, se produce un mayor número de ciclos de evaluación que se llevan a cabo de forma alternativa con la propuesta de nuevas ideas. Por tanto, se comprueba de forma experimental que hay más ciclos pequeños de síntesis-análisis cuando se quiere llegar antes a la solución. Considerando estos resultados, las tareas a implementarse en los sistemas CAD para guiar al diseñador son: mantener al diseñador trabajando con un número reducido de funciones; e indicarle cuándo interesa seguir trabajando con otra de las funciones que estén en juego e incluso indicarle la conveniencia de que genere una nueva función.

Es interesante que el ordenador le vaya presentando al diseñador las soluciones obtenidas para otras funciones para fomentar nuevas combinaciones que permitan converger el problema y también nuevas asociaciones de ideas.

6. CONCLUSIONES

Los modelos computacionales de diseño requieren explicaciones sobre el proceso de diseño en un nivel de detalle muy superior al de las tradicionales teorías del proceso de diseño para conseguir que los sistemas computacionales adquieran funciones que hasta hace poco quedaban restringidas a los humanos. En este sentido, los modelos que recientemente están apareciendo en la bibliografía aportan una nueva visión sobre el proceso de diseño que hasta ahora se consideraba como un simple proceso de divergencia-convergencia.

Aún resta mucho hasta que tengamos un completo conocimiento del proceso de diseño y sepamos cómo realmente los diseñadores diseñan. Con este objetivo, las técnicas de investigación experimental pueden aportarnos interesantes resultados.

En nuestra investigación, se ha analizado la evolución de las funciones y especificaciones en el proceso de diseño y su análisis nos permite establecer unas primeras pautas para que el sistema computacional pueda guiar al diseñador basadas en la oportunidad de introducir nuevas funciones sobre las que organizar y facilitar la búsqueda de soluciones.

AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido posible gracias a la ayuda DPI 2002-04357-C03 del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

REFERENCIAS.

- Altshuller, G. *Introducción a la innovación sistemática: TRIZ*, 1997.
- Cavallucci, D., Lutz P., Kucharavy D. *Converging in problem formulation: a different path in design*. Design Engineering Technical Conferences and Computer and Information in Engineering Conference, Montreal, Canada, ASME, 2002.
- Cross, N. *Engineering design methods. Strategies for product design.*, John Wiley & Sons, 1994.
- Gero, J. *Design prototypes: A knowledge representation schema for design*. AI magazine Vol.11(núm.4), 1990, pp 26-36.
- Gómez-Senent, E. *La ciencia de la creación de lo artificial. Un paradigma para resolución de problemas*. Valencia, Servicio de Publicaciones de la UPV, 1998.
- Gomez-Senent, E., Mulet E., Vidal R.. *Análisis de distintas variantes de brainstorming con la teoría de las dimensiones*. Actas del VI Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos, Murcia, 2001.
- Jones, J. C. *Design methods*, John Wiley & Sons, 1992.
- Liu, Y., Bligh T., Chakrabarti A. *Towards an 'ideal' approach for concept generation*. Design Studies Vol 24. 2003, pp341-355.
- Mulet, E., Vidal R., Bermell-García P. *Influences of representations on designing and implications for computer-based design synthesis*. ICED03, International conference in engineering design, Stockholm, 2003.
- Mulet, E., Vidal R., Gómez-Senent E. *Experimental research on creative models*. Proceedings of the VI International Congress on Project Engineering, Barcelona. 2002.
- Pugh, S. *Total design*. Addison-Wesley, 1990.
- Ullman, D. G. *Toward the ideal mechanical engineering design support system*. Research in Engineering Design. Vol 13, 2002. pp 55 - 64.
- Umeda, Y, Takeda H., Tomiyama T, Yoshikawa H. *Function, behaviour, and structure*. Applications of Artificial Intelligence in Engineering V. Vol.1 1990. pp 177-194.
- Vidal, R., Mulet, E. and Gómez-Senent, E. *Effectiveness of the means of expression in creative problem solving in design groups*. Aceptado en Journal of Engineering Design.

CORRESPONDENCIA.

Elena Mulet. Universidad Jaume I. Campus de Riu Sec. 12071 Castellón.
Tel.: 964 72 81 88 Fax: 964 72 81 06 E-mail: emulet@tec.uji.es