

# MODELO DEL PROCESO DE DISEÑO PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA COMPUTACIONAL DE ASISTENCIA AL DISEÑO

*Mulet E<sup>(1)</sup>, Vidal R<sup>(p)</sup> (1)*

*(1) Universitat Jaume I, Castellón*

## SUMMARY

One of the most interesting topics to enhance CAD systems consists of developing tools that further assist the designer during the conceptual phase. Those tools work in an interactive way.

Two of the more broadly accepted computational models to assist design are:

- The model proposed by Takeda and his colleagues, which models and makes use of different types of knowledge and reasoning, mainly the deductive and abductive reasoning types.

- Chakrabarti's model, in which a set of alternative solutions are synthesised to satisfy some initial functions of the problem, at the same time that they are used to check those functions. By doing so, co-evolution in the design process is achieved.

With the aim to provide new insights into the development of computational tools that will further assist designers, an analysis of the most important characteristics of these models is done. As a result, the basis for a design process model, integrating Takeda's and Chakrabarti's models, is presented. The proposed model also includes the most recent experimental findings about the design process.

## RESUMEN

Una de las líneas de interés en la mejora de los sistemas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD) consiste en obtener herramientas que asistan en mayor medida al diseñador durante la fase de diseño conceptual, interactuando con éste.

Dos de los modelos computacionales de asistencia al diseño que mayores avances están consiguiendo son:

- El modelo computacional de Takeda y sus colaboradores, basado en el modelado y uso de diversos tipos de conocimiento y de razonamiento, principalmente el razonamiento deductivo y el abductivo;

- El modelo basado en razonamiento funcional de Chakrabarti, en el que se parte de algunas de las funciones iniciales del problema, para las que se sintetiza un conjunto de alternativas, que son utilizadas a su vez para revisar las funciones, procediendo así de forma recursiva para conseguir la co-evolución del proceso de diseño.

Con el fin de establecer nuevas propuestas para el desarrollo de herramientas computacionales que supongan una mayor asistencia al diseñador, se ha hecho un análisis de las características más importantes de estos modelos.

Como resultado se presentan las bases de un modelo del proceso de diseño que fusiona los modelos desarrollados por Takeda y Chakrabarti y en el que también se consideran los resultados experimentales más recientes sobre el proceso de diseño.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD) constituyen un conjunto de herramientas de soporte a las actividades de diseño que han experimentado una importante evolución desde sus inicios hasta el momento actual. Las funciones que desempeñan los sistemas de soporte al diseño son variadas y cada herramienta

adopta unas funciones u otras todas ellas relacionadas con asistir al diseñador como, por ejemplo, estimular la creatividad o gestionar el conocimiento y diseñar.

La función diseñar comprende las etapas de análisis, síntesis y evaluación y toma de decisiones del proceso de diseño. Habitualmente en la etapa de análisis se obtiene una lista de especificaciones que cumplir y de funciones a implementar. 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 que además se influyen mutuamente en lo que se denomina co-evolución [Dorst et al., 2001; Maher et al., 1996].

Las posibilidades de disponer de un sistema computacional para el diseño que sea capaz de generar nuevas soluciones de forma automática resulta un motivo de controversia. A pesar de los avances obtenidos gracias al desarrollo de los múltiples sistemas computacionales, algunos autores defienden que, aunque algunos sistemas tienen relevancia en el soporte de la creatividad, ésta posee una naturaleza tan impredecible que explicar en detalle los procesos que dan lugar a la misma y poder predecirla no es posible en términos generales [Boden, 1999]. Es necesario investigar qué funciones pueden realizar los ordenadores para potenciar a los usuarios basándose en el estudio del proceso creativo más allá de las de usabilidad y transferencia de información [Candy, 1997; Candy et al., 2000].

Otras opiniones defienden el potencial de los ordenadores en la obtención de soluciones novedosas. Uno de ellos es Indurkha, que plantea la utilización de dos mecanismos cognitivos para la creatividad que son la yuxtaposición de conceptos muy distintos y la desconceptualización de los conceptos familiares para llegar a nuevos significados. Estos mecanismos requieren un esfuerzo cognitivo elevado debido a que, por inercia, los humanos aplicamos los mecanismos opuestos; sin embargo, los ordenadores no presentan este problema y por tanto están más inclinados hacia la creatividad [Indurkha, 1998].

También Parmee recoge dos aproximaciones para el soporte de las etapas iniciales del diseño, una de ellas se centra en la evolución del espacio de diseño basada exclusivamente en la computación, y que se relaciona con soluciones identificadas mediante técnicas de búsqueda apropiadas y la otra sostiene que el mayor potencial de las técnicas computacionales se da cuando éstas se integran con los procesos humanos interaccionando así el diseñador y la máquina [Parmee, 2001], [Parmee et al., 2000]. Mediante sistemas basados totalmente en el computador es posible llevar a cabo diseño innovador aunque se necesita implementar captura del conocimiento y aprendizaje automatizado. La aplicación de técnicas evolucionarias interactivas soporta la evolución constante del espacio de diseño a través de la extracción de información de procesos de búsqueda evolucionarios/adaptativos, lo cual conduce a entornos de diseño evolucionario interactivos, permitiendo así el diseño creativo. Los algoritmos computacionales se encargarían de proponer unas soluciones y el diseñador procesaría esta información off-line para redefinir el problema e introducirlo de nuevo en el ordenador y refinar el espacio del diseño junto con el ordenador. También sería importante la participación del equipo de diseño en la evaluación y toma de decisiones de los conceptos que genera el ordenador como resultado de los procedimientos computacionales.

Por lo tanto, la mayoría de los autores defienden la postura de potenciar el desarrollo de sistemas que, lejos de trabajar de forma independiente del diseñador, interactúen con él, ya que los procesos cognitivos que tienen lugar durante el diseño conceptual son muy imprevisibles y sin contar con la participación humana sólo se espera conseguir soluciones de diseño obvias.

El objetivo de este trabajo es establecer las bases de un modelo para el desarrollo de sistemas computacionales de asistencia al diseño basado en los modelos computacionales existentes y en los resultados experimentales, con el fin de potenciar los sistemas en los que se realiza el diseño de forma interactiva con el diseñador.

## 2. MODELOS DE PARTIDA

Se ha realizado una búsqueda de los modelos computacionales que puedan implementarse para diseñar de forma interactiva con el diseñador y que consideren aspectos del proceso de diseño como la co-evolución y otras observaciones experimentales. En este sentido, dos de los modelos que mayores avances están consiguiendo en la mejora de la función de diseñar son el modelo de Takeda y el de Chakrabarti.

### 2.1. Modelo de Takeda

El modelo de síntesis de Takeda es un modelo computacional basado en la Teoría General de Diseño (GDT), según la cual el diseño consiste en encontrar la correspondencia entre el espacio de las funciones y el espacio de los atributos [Yoshikawa, 1981].

El estudio experimental de la actividad de diseño llevó a este grupo de autores a definir un modelo cognitivo del proceso de diseño según el cual el diseño está formado por ciclos que se repiten sucesivamente y compuestos de cinco pasos: concienciarse del problema, sugerencia, desarrollo, evaluación y conclusión [Takeda et al., 1990; Yoshioka et al., 1993]. Un ciclo de diseño permite, bien resolver un pequeño problema de diseño o bien dividirlo en subproblemas más pequeños. Además de los ciclos de diseño, en este modelo cognitivo se distinguen dos niveles: el nivel de objeto y el nivel de proceso. En el nivel de objeto el diseñador piensa en los propios objetos que se diseñan, en sus propiedades; mientras que en el nivel de proceso el diseñador piensa en cómo actuar con su diseño. Estos dos niveles de pensamiento parecen estar presentes simultáneamente en el diseño.

El modelo computacional de Takeda se fundamenta en dichos modelos descriptivo y cognitivo y consta de una parte dependiente del objeto y otra independiente, para cada una de las cuáles se hace uso de un determinado conocimiento y de diversos tipos de razonamiento, principalmente el razonamiento deductivo y el abductivo. La ecuación (1) modela el proceso lógico de la síntesis en el modelo de Takeda, donde A representa los axiomas o la teoría, que se compone de conocimiento (K) y de hechos dados (Fd), y Th representa los teoremas, que equivale a fenómenos, hechos explicables y requerimientos. Esta fórmula indica que con los axiomas A se demuestran los teoremas, de manera que encontrar teoremas a partir de los axiomas es deducción, mientras que encontrar los axiomas a partir de teoremas es abducción. Como se realizan deducciones a partir de conocimiento y hechos, los axiomas se dividen en hechos dados, Fd, (dados antes del razonamiento y sin explicación) y conocimiento, K, como se indica en la ecuación (2).

$$A|-Th \quad (1)$$

$$K \cup Fd \vdash Th \quad (2)$$

A diferencia de Fd, se pueden encontrar hechos que aparecerían en los teoremas y que pueden ser explicados, son los hechos observables, Fo. Con esta diferenciación entre Fd y Fo se puede categorizar la abducción con más precisión:

1. Encontrar K y Fd a partir de Th (= Fo)

2. Encontrar K a partir de Th y Fd.
3. Encontrar Fd a partir de Th y K.

La abducción en el descubrimiento científico es de los tipos 1 y 2. La abducción en el proceso de síntesis es del tipo 3, donde Fd pueden considerarse como las soluciones y el proceso de síntesis consiste en encontrar soluciones (Fd) a partir de los requerimientos (Fo) y del conocimiento (K).

El proceso para la síntesis está formado por los siguientes pasos [Takeda et al., 2001] y se esquematiza en la figura 1.

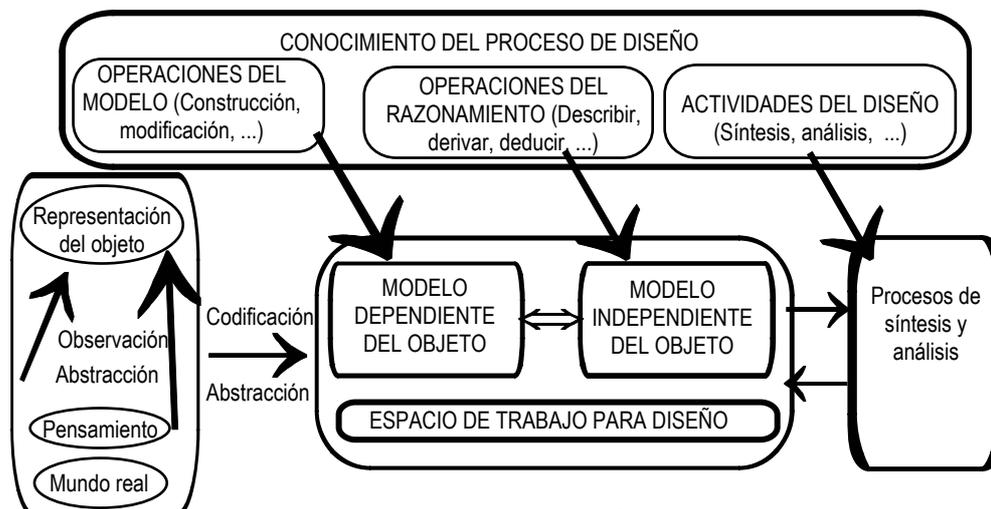


Figura 1. Modelo de síntesis de Takeda

1. Descripción de requerimientos, R, como teoremas.

Los requerimientos para la síntesis R son descritos como teoremas.

2. Extracción de requerimientos de interés.

A partir de R, sólo centramos nuestro interés en hechos observables como Fo.

3. Selección de axiomas o el conocimiento.

4. Derivar soluciones a partir de los requerimientos y los axiomas, es decir, derivar soluciones a partir de los requerimientos y el conocimiento.

Las soluciones Fd se derivan a partir de K y Fo. El razonamiento básico para derivar soluciones es el de abducción, aunque también se pueden utilizar otros algoritmos para llegar a las soluciones.

5. Derivar teoremas a partir de axiomas y hechos, es decir, derivar requerimientos a partir de conocimiento y soluciones.

Los teoremas (requerimientos) se derivan a partir del conocimiento K y Fd (soluciones) deductivamente.

6. Verificar teoremas frente a los requerimientos.

Verificación de las especificaciones de las soluciones frente a los requerimientos iniciales. Es decir, verificar si se cumplen las especificaciones y con ello comprobar que la solución Fd es satisfactoria.

7. Verificar teoremas frente a otros axiomas conocidos, es decir, verificar especificaciones frente a otro conocimiento no considerado inicialmente.

Los teoremas derivados (especificaciones de las soluciones) se comprueban frente a otros conjuntos de axiomas (conocimiento). El test verifica si Fd (solución) es compatible no sólo con K (conocimiento seleccionado inicialmente) sino también con K' (nuevo conocimiento).

El bloque independiente del modelo computacional se encarga de controlar la actuación sobre el nivel dependiente y en él se definen las operaciones de

deducción de propiedades de los objetos a partir de soluciones de diseño y de abducción de objetos a partir de propiedades de objetos.

El modelo computacional de Takeda consta de una parte dependiente del objeto en la que se construyen los modelos que son necesarios para definir los objetos. En esta parte se implementan operaciones que utilizan conocimientos necesarios para utilizar los modelos para definir los objetos, que se denominan operaciones de modelado: seleccionar un sistema de modelado, construir un modelo, modificar un modelo, introducir un nuevo sistema de modelado, modificar la base de conocimientos de un sistema de modelado y mantenimiento de los modelos [Yoshioka et al., 2000].

## 2.2. Modelo de Chakrabarti

Algunos trabajos demuestran que los diseñadores que exploran una mayor cantidad de ideas tienen más éxito en el desarrollo de soluciones de mayor calidad que aquellos que exploraron pocas soluciones [Ehrlenspiel et al., 1993]. Pero esta actividad está limitada por los conocimientos del diseñador y por las restricciones de la memoria cuando la cantidad de información crece de forma importante. Es por ello que una posibilidad es establecer un marco computacional donde al diseñador se le presente un gran abanico de posibles ideas y que pueda evaluarlas y modificarlas antes de seleccionar aquellas más prometedoras para un desarrollo posterior [Chakrabarti et al., 2002].

En el modelo de diseño basado en el razonamiento funcional de Chakrabarti y Bligh se dispone inicialmente de un conjunto de estructuras conocidas, denominadas “building blocks” y de un problema de diseño definido mediante un conjunto de funciones y se requiere encontrar estructuras compuestas por las estructuras conocidas que resuelvan el problema dado.

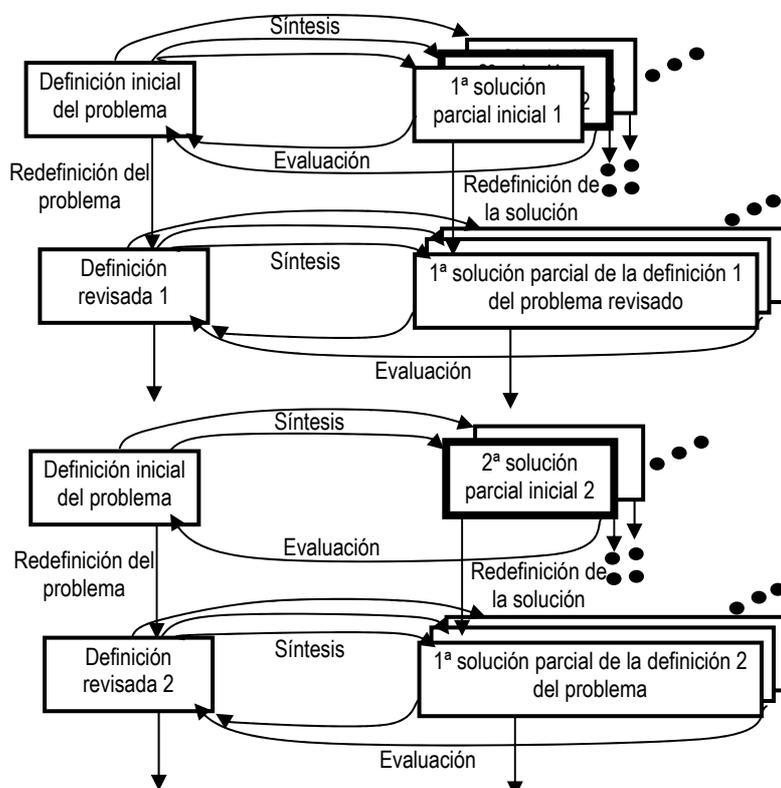


Figura 2. Modelo de Chakrabarti.

Se toma una parte de las funciones correspondientes a la definición inicial del problema para las que se sintetiza un conjunto de alternativas a partir de las estructuras conocidas. Una vez obtenidas estas alternativas, se utilizan para revisar la definición del problema, estableciendo cuál es el siguiente nivel de funciones requeridas para resolver el problema y generando así una definición del problema revisada de cada una de las soluciones generadas. Seguidamente se generan alternativas para cada definición revisada y con cada nueva alternativa se vuelve a revisar la definición procediendo así de forma recursiva [Chakrabarti et al., 2001]. La figura 2 esquematiza este proceso.

### **3. PROPUESTA DE MODELO FUSIONANDO LOS MODELOS DE TAKEDA Y CHAKRABARTI**

Observaciones experimentales del proceso de diseño revelan que todas las actividades de diseño (análisis, síntesis, evaluación) influyen sobre las demás y, a su vez, se ve afectada por ellas, ya que durante el diseño se suceden ciclos en los que se repiten todas ellas. Además los diseñadores incorporan nuevas funciones en el tiempo y nuevas especificaciones de diseño [Mulet et al., 2003]. Se ha observado que los diseñadores comienzan proponiendo posibles ideas para algunas funciones o aspectos del problema de diseño y a medida que se desarrollan posibles soluciones, escogen otras funciones del problema y empiezan a proponer ideas para éstas.

Teniendo en cuenta los modelos computacionales de Takeda y Chakarbarti y las observaciones experimentales, se propone un primer borrador para un modelo del proceso de diseño que unifica ambas aproximaciones y que se esquematiza en la figura 3. Este modelo está formado por una parte independiente del objeto y otra dependiente así como de una base de conocimientos, al igual que el modelo de Takeda y se ha planteado un proceso de revisión de la definición del problema basado en el modelo de Chakrabarti. En la base de conocimientos se dispone de varios modeladores para construir el modelo del objeto, como modeladores matemáticos, geométricos, cinemáticos, etc [Yoshioka et al., 2001]. Las operaciones independientes del objeto, que van precedidas por la letra I, y las operaciones dependientes del objeto, precedidas por la letra D.

Operaciones de conocimiento dependientes del modelo del objeto:

D1: seleccionar el sistema de modelado adecuado para construir el modelo.

D2: construir el modelo del objeto.

D3: modificar el modelo del objeto.

D4: introducir un nuevo sistema de modelado.

D5: modificar la base de conocimientos del sistema de modelado.

D6: mantener la consistencia del modelo.

D7: obtener nueva información del objeto mediante razonamiento con el conocimiento (K) del sistema de modelado.

Operaciones de conocimiento independientes del modelo del objeto, tanto para la síntesis como para el análisis:

I1: descripción de los requerimientos iniciales del problema (hechos iniciales).

I2: extracción de una parte de los requerimientos.

I3: selección de axiomas (K).

I4: derivar estructuras de diseño a partir de los requerimientos funcionales y del conocimiento.

I5: deducir las especificaciones o funciones a partir de las soluciones parciales.

I6: verificar las especificaciones y funciones frente a la definición inicial del problema.

I7: verificar las especificaciones y funciones frente a otro conocimiento.  
 I8: revisar la definición inicial teniendo en cuenta la solución parcial incorporada.  
 El modelo parte de la determinación de unos requerimientos iniciales (I1), a partir de los cuáles se extrae una parte (I2), con los que se selecciona el conocimiento necesario (I3, D1). Con el conocimiento y los requerimientos se derivan las estructuras de diseño (abducción) (I4) y se construye el modelo del objeto (D2). Una vez definido el objeto o la solución, se deducen las especificaciones y funciones del mismo (I5) y se verifican frente a la definición inicial del problema (I6) y frente a otro conocimiento (I7). En caso de satisfacer los requerimientos, se revisa la definición inicial considerando la solución parcial incorporada (I8). Si no se cumplen los requerimientos hay varias opciones, como seleccionar otro conocimiento y modificar el modelo del objeto (D3), obtener nueva información del objeto mediante razonamiento con el conocimiento (D7) o incluso modificar la base de conocimientos o introducir un nuevo sistema de modelado (D5, D7).

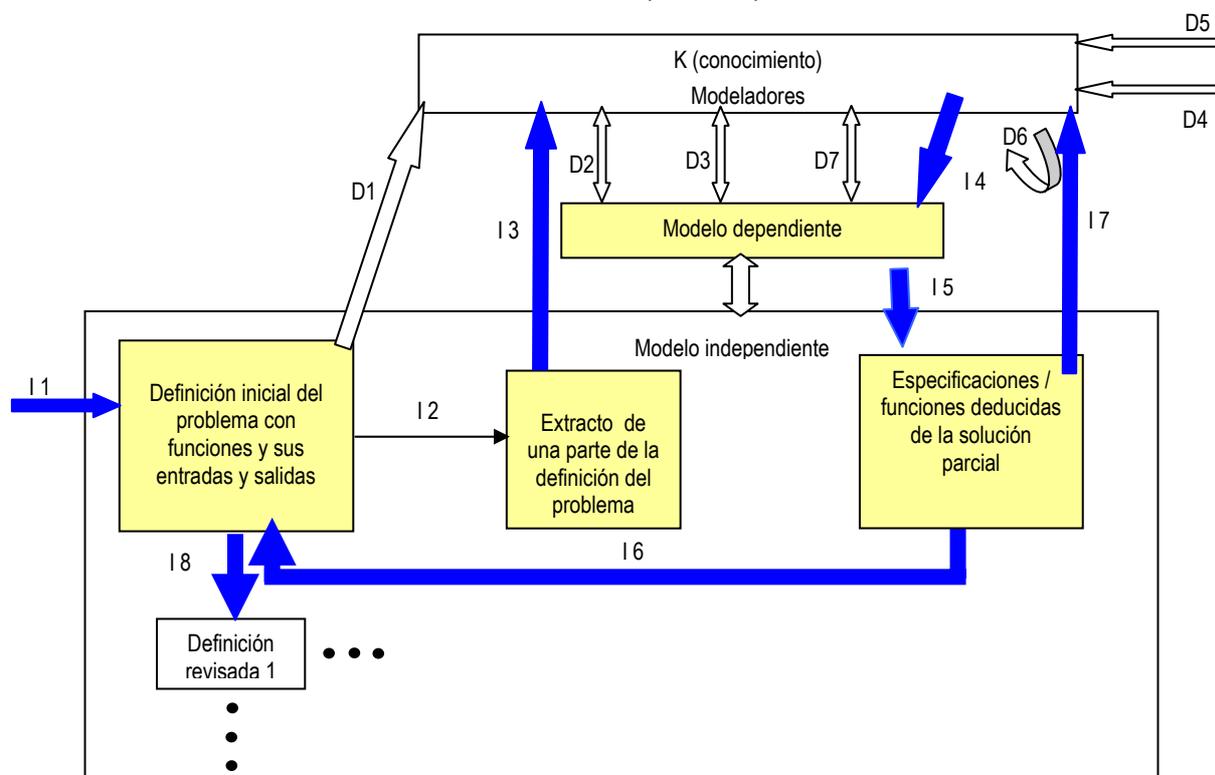


Figura 3. Modelo fusionado.

#### 4. CONCLUSIONES

En esta investigación se propone un modelo que constituye un punto de partida para el desarrollo de sistemas computacionales de asistencia al diseño. Este modelo fusiona el modelo basado en múltiples razonamientos de Takeda y el modelo de razonamiento funcional de Chakrabarti. Además considera observaciones experimentales extraídas del análisis de la evolución del proceso de diseño que han seguido grupos de personas sin ayuda de herramientas computacionales.

#### AGRADECIMIENTOS.

La investigación ha sido posible gracias a la ayuda DPI2002-04357-C03-01 del Ministerio de Ciencia y Tecnología con la co-financiación de fondos FEDER.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Candy, L. *Computers and Creativity Support: Knowledge, Visualization and Collaboration*. Knowledge -Based Systems. 1997. Vol 10, 1. pp 3 - 13.
- Candy, L. and Edmonds, E. *Creativity Enhancement with Emerging Technologies*. Communications of the ACM. 2000. Vol 43, 8. pp 62 - 65.
- Chakrabarti, A. and Bligh, T. *A Scheme for Functional Reasoning in Conceptual Design*. Design Studies. 2001. Vol 22, pp 493 - 517.
- Dorst, K. and Cross, N. *Creativity in the Design Process: Co-Evolution of Problem-Solution*. Design Studies. 2001. Vol 22, pp 425 - 437.
- Ehrlenspiel, K. and Dylla, N. *Experimental Investigation of Designers Thinking Methods and Design Procedures*. Journal of engineering design. 1993. Vol 4, 3. pp 201 - 212.
- Maher, M. and Poon, J. *Modelling Design Exploration as Co-Evolution*. Microcomputers in Civil Engineering. 1996. Vol 11, 3. pp 195 - 210.
- Mulet, E., Vidal, R. and Gómez-Senent, E. *Evolución Del Proceso De Diseño Con La Incorporación De Funciones*. VII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Pamplona, España, 2003. pp
- Parmee, I. and Bonham, C. *Towards the Support of Innovative Conceptual Design through Interactive Designer/Evolutionary Computing Strategies*. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (AIEDAM). 2000. Vol 14, pp 3 - 16.
- Parmee, I. C. *Evolutionary and Adaptive Computing in Engineering Design*. Springer-Verlag. London, 2001.
- Takeda, H., Veerkamp, P., Tomiyama, T. and Yoshikawa, H. *Modeling Design Processes*. AI Magazine. 1990. Vol 11, 4. pp 37-48.
- Takeda, H., Yoshioka, M. and Tomiyama, T. *A General Framework for Modelling of Synthesis- Integration of Theories of Synthesis*. ICED'01. Glasgow, 2001. pp 307-314.
- Yoshikawa, H. *General Design Theory and a Cad System*. IFIP Working Group 5.2 Working Conference. Tokyo, 1981. pp 35 - 58.
- Yoshioka, M., Nakamura, M. and Tomiyama, T. *A Design Process Model with Multiple Design Objects Models*. In Design Theory and Methodology - DTM '93. 1993. pp 7-14.
- Yoshioka, M., Nomaguchi, Y. and Tomiyama, T. *Proposal of an Integrated Design Support Environment Based on the Model of Synthesis*. DETC ASME'01 Design Engineering Technical Conference and Computers and Information in Engineering Conference. Pittsburg, Pennsylvania, USA, 2001.
- Yoshioka, M. and Tomiyama, T. *Model-Based Abduction for Synthesis*. 2000 ASME, DETC2000. 2000. pp 103-111.

## CORRESPONDENCIA

Elena Mulet. *Universitat Jaume I*. Avda Sos Baynat s/n. 12007 Castellón. SPAIN.  
Telf. +34 96 472 8188. E-mail: [emulet@tec.uji.es](mailto:emulet@tec.uji.es) URL: [www.gid.uji.es](http://www.gid.uji.es)