

CAPÍTULO 2

INGENIERÍA DEL DISEÑO

2 INGENIERÍA DEL DISEÑO

2.1 Introducción

En este capítulo se presenta el tema de la ingeniería del diseño, mostrando los diferentes matices del concepto y haciendo una revisión detallada del estado del arte. El diseño como tarea consiste en pensar (idear) y describir una estructura que aparece como una portadora de características deseadas (particularmente funciones); el diseño como proceso consiste en transformar información de las condiciones, necesidades y requisitos a la descripción de una estructura que las satisfaga. De esta manera, se podría entender al individuo que diseña, como un medio de transformación de información, que proviene inicialmente del cliente, pero que se alimenta también de conocimiento propio del diseñador y conocimiento adquirido durante el proceso, para dar lugar a una estructura imaginada que una vez hecha realidad, confirma las características con las que se pensó.

El hecho de la intervención cognitiva del individuo además de elementos subjetivos que se unen en un sistema a los elementos técnicos, confieren a la ingeniería del diseño una complejidad elevada. Su estudio ha cobrado relevancia en las últimas décadas, generando un movimiento de investigación importante. Hoy día se habla del diseño como una ciencia (Hubka y Eder, 1992) y se reconoce la interacción de un gran conjunto de características dentro de su definición, como por ejemplo: solución de problemas, toma de decisiones, creatividad, búsqueda heurística, evolución, aprendizaje, negociación, conocimiento, optimización, organización, satisfacción de necesidades, etc.; todos ellos necesarios, pero no suficientes por si solos (aisladamente).

Los estudios sobre el proceso de diseño, entre otras cosas, ha dejado como resultado un sin número de propuestas para representarlo (modelos descriptivos), para realizarlo (modelos prescriptivos), para entenderlo (modelos cognitivos) y para «automatizarlo» (modelos computacionales); además de la gran cantidad de técnicas y herramientas que sirven para asistirlo. Aún así, se puede afirmar que el desarrollo ha sido desequilibrado. El proceso de diseño se suele subdividir en dos clases de acciones mentales: el análisis y la síntesis. Los sistemas de apoyo al diseño se han centrado especialmente en el análisis, incluso se puede decir que los currículos académicos de la ingeniería se sesgan hacia esa misma tendencia, dejando a la síntesis un tanto en el aire, bajo el supuesto de que la experiencia y el conocimiento del ingeniero de diseño son suficientes para desarrollarla con éxito. Sin embargo, las exigencias del mundo globalizado actual, por productos cada vez más competitivos, más creativos, más innovadores, han desvelado la necesidad de que la etapa de síntesis, aquella en la que la creatividad juega papel

fundamental, sea mejor asistida. Este reconocimiento ha dado lugar a nuevas tendencias de las investigaciones en la ingeniería de diseño.

En este capítulo se pretende recoger aquellas tendencias, exponiendo resultados que se han estado proponiendo en los últimos años. Para ello se ha dividido en cuatro partes principales. Se comienza con la definición del concepto de diseño, con el propósito de marcar con claridad el campo en el que se sitúa la presente investigación. En segundo lugar se hace una recopilación de los principales métodos y modelos del diseño que se han propuesto para integrar todas las acciones realizadas durante el proceso de diseño. Allí se muestran las principales propuestas de modelos descriptivos, prescriptivos, cognitivos y computacionales.

En la tercera parte se hace una presentación de técnicas y herramientas modernas de ayuda al proceso de desarrollo de nuevos productos, como por ejemplo la técnica de despliegue de la función calidad, el análisis modal de fallos y efectos, el diseño por factores, etc.

Finalmente, en la cuarta parte se presentan algunos de los grupos de investigación más representativos a nivel mundial, mostrando sus principales líneas de investigación y los proyectos que actualmente adelantan. Allí se habla entonces de los centros de investigación de universidades de gran prestigio internacional como el MIT, Stanford, la de Sydney, la de Delf, etc. señalando sus logros y expectativas en la investigación de la ingeniería del diseño.

2.2 El concepto de «diseño»

Conviene iniciar este capítulo aclarando la diferencia conceptual del término «diseño» bajo la perspectiva hispanoparlante y la anglosajona. Tal como lo señalan Alcaide, Diego y Artacho (2001a, p.18) diseño en castellano tiene un significado limitado a lo formal o adjetivado, hasta el punto de que se habla de «objetos de diseño», haciendo referencia a las características externas (formas, texturas, colores, etc.) del artefacto, pero no al artefacto en su conjunto. Entre tanto, el término anglosajón «design» hace referencia a toda la actividad de desarrollo de una idea de producto, de tal manera que se acerca más al concepto castellano de «proyecto», entendido como el conjunto de planteamientos y acciones necesarias para llevar a cabo y hacer realidad una idea.

Es importante decir que en esta investigación se asume el concepto de diseño tal como lo entendería un anglosajón, es decir, en el sentido amplio de su significado y no en el

sentido limitado de la forma del producto. Esta aclaración es importante porque se quiere establecer un vínculo entre dos disciplinas académicas que siendo naturalmente afines, se han considerando esencialmente diferentes, como son el diseño industrial y la ingeniería, hasta el punto de generar el imaginario equivocado de que el diseño industrial se preocupa únicamente por la forma del producto (y es vista como una disciplina de corte “artístico”) y de que el diseño en ingeniería se preocupa únicamente por los cálculos de los elementos que conforman el producto.

Las diferentes definiciones de diseño que se encuentran en la literatura evidencian el concepto antes explicado. Por ejemplo, Pugh (1990) lo define bajo el término “diseño total” como la actividad sistemática desarrollada para satisfacer una necesidad y que cubre todas las etapas desde la identificación de la necesidad hasta la venta del producto. Pahl y Beitz (1995) lo definen como una actividad que afecta a casi todas las áreas de la vida humana, utiliza leyes de la ciencia, se basa en una experiencia especial y define los requisitos para la realización física de la solución.

La vinculación del dominio funcional al dominio físico es el objetivo del diseño según Suh (1990), lo cual implica una continua interacción entre lo se quiere conseguir y la forma como se consigue. Mientras que Hubka y Eder, citado por Alcaide (2001a, p.20) define la actividad de diseñar como la reflexión y descripción de una estructura que potencialmente incorpora unas características deseadas.

Dym (2002, p.9) después de revisar muchas de las definiciones que se han dado a diseño en ingeniería, propone la siguiente: «es la generación y evaluación sistemática e inteligente de especificaciones para artefactos cuya forma y función alcanzan los objetivos establecidos y satisfacen las restricciones especificadas».

El ICSID (2004) define diseño como «una actividad creativa cuyo propósito es establecer las cualidades multifacéticas de objetos, procesos, servicios y sus sistemas, en todo su ciclo de vida. Por lo tanto, es el factor principal de la humanización innovadora de las tecnologías, y el factor crítico del intercambio cultural y económico»

Se podría seguir mencionando muchas otras definiciones de diseño. Sin embargo las expuestas aquí son una muestra representativa del significado moderno del término y recoge los principales elementos inherentes a él. Así, se puede hablar de que el diseño busca la satisfacción de una necesidad, es decir, aborda la solución a una situación problemática. Un segundo elemento importante es que para lograr obtener tal solución se debe tener en cuenta el entorno en el que se aplicará y las interrelaciones entre sus componentes, es decir, tener un enfoque sistémico, lo cual implica una actuación

multidisciplinaria y la consideración de todo el ciclo de vida del producto. La tercera consideración tiene que ver con las limitaciones impuestas por factores externos de orden físico, económico, social y funcional, a lo que comúnmente se le denomina restricciones. Y el cuarto elemento que define al diseño es su identificación como una actividad creativa por excelencia, en la que se tiene la posibilidad de desplegar en toda su magnitud esta característica inherente del ser humano.

En resumen, el diseño se entiende como el desarrollo de una estructura o un sistema que sea portador de características deseadas (particularmente, funciones) y que logra básicamente por la transformación de información sobre condiciones, necesidades, demandas, requisitos y exigencias, en la descripción de una estructura capaz de satisfacer esas demandas, que pueden incluir no solo los deseos del cliente, sino también requisitos de todo el ciclo de vida, esto es, de todos los estados intermedios por los que pasa el producto.

2.3 Metodologías de diseño

Nigel Cross define metodología de diseño como «el estudio de los principios, prácticas y procedimientos de diseño en un sentido amplio. Su objetivo central está relacionado con el cómo diseñar, e incluye el estudio de cómo los diseñadores trabajan y piensan; el establecimiento de estructuras apropiadas para el proceso de diseño; el desarrollo y aplicación de nuevos métodos, técnicas y procedimientos de diseño; y la reflexión sobre la naturaleza y extensión del conocimiento del diseño y su aplicación a problemas de diseño» (Lloyd, 2004).

Conviene en este punto precisar la diferencia entre los términos método, técnica, modelo y metodología, ya que ellos son utilizados de diferentes maneras en la literatura y puede prestarse a confusión. A este respecto Cross (1984, p.vii) transcribe las palabras de Christopher Alexander (1971), que traducidas dicen lo siguiente: «Si usted llamara a eso: ¡una buena idea para aplicar!, me sentiría feliz. Si lo llamara ¡un método!, igual me gustaría, pero comenzaría a cambiar de opinión. Si lo denomina ¡una metodología!, yo no querría hablar más del tema». Palabras que saliendo de uno de los líderes de las metodologías de diseño, llaman a la precaución sobre el verdadero significado de tales términos y la necesaria distinción de su significado.

De acuerdo con las definiciones formales¹ de estos términos (Salvat, 1997; RAE, 2002), se puede entender que la relación entre ellos se da a diferentes niveles. Así, método hace referencia a la manera cómo una persona (un ingeniero de diseño, en este caso), realiza su tarea (diseñar); las técnicas son las herramientas que utiliza tal persona para aplicar su método; el modelo es la forma de representar el método, con el fin de estudiarlo y comprenderlo; la metodología es el estudio formal del método. De esta manera, mientras que las técnicas son herramientas para el método, el modelo lo es para la metodología.

Se presenta a continuación una breve recopilación de los modelos, métodos y teorías de diseño más relevantes en la actualidad, para dar un marco teórico a la investigación que aquí se adelanta.

2.3.1 Métodos de diseño

Tal como lo señala Julian (2002) existe una tendencia a aceptar la necesidad de métodos que muestren el camino a recorrer durante el diseño de productos y de modelos que los representen, citando a Doesburg y Gropius, quienes desde principios del siglo XX afirman esta necesidad, aunque fue solo a finales de los 50 y principios de los 60 que el tema de los métodos de diseño cobran relevancia como respuesta a la creciente complejidad del proceso de desarrollo de productos. Jones, en su comunicación “A Method of Systematic Design” en la primera conferencia de métodos de diseño realizada en el año 62 en el Imperial Collage, formaliza el inicio de la época de las “metodologías” de diseño (Jones, 1984).

Cross (1984) hace una recopilación de los diferentes métodos de diseño desarrolladas en los siguientes 20 años (1962-1982), partiendo precisamente de la propuesta de Jones, pasando por Alexander, Archer, Darke y Ritter, para citar solamente las más conocidas. En su compilación, Cross identifica cuatro periodos, el primero comprendido entre 1962-67, en el que se refleja el intento por aplicar nuevos métodos y técnicas desarrolladas en la segunda guerra mundial, en la estructuración y gestión de todo el proceso de diseño,

¹ Método: modo de decir o hacer con orden una cosa. Modo de obrar o proceder; hábito o costumbre que cada uno tiene y observa.

Modelo: ejemplo o forma que uno sigue en la ejecución de una obra artística o en otra cosa. Esquema teórico, de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión y estudio de su comportamiento.

Técnica: relativo o perteneciente a las aplicaciones de las ciencias y de las artes. Conjunto de procedimiento y recursos de que se sirve una ciencia o un arte.

Metodología: estudio formal de los procedimientos utilizados en la adquisición o exposición del conocimiento científico. Ciencia del método.

intento que, se puede afirmar, fracasó. El segundo periodo entre 1966-73, se describe como aquel en el que se intenta entender la complejidad de los problemas de diseño, habida cuenta del fracaso en los intentos previos de estructurar el proceso.

Otro enfoque de la complejidad del tema se aborda tratando de entender la forma cómo los diseñadores abordan el proceso tradicional de diseño, para lo cual se recurre desde entrevistas abiertas hasta laboratorios controlados, enfoque este que tuvo su máximo interés a finales de los 70. Entre 1972-82 se define el cuarto periodo en el que emerge un enfoque más filosófico del diseño, que busca comprender y asimilar las experiencias ganadas en los años anteriores. La historia de los métodos de diseño se resume hasta la década de los 90's como aparece en la Tabla 2.1.

2.3.2 Modelos de diseño

En general se entiende como modelo de diseño la forma de representación del proceso que desarrolla el diseñador en su labor. Los modelos y métodos de diseño se pueden enmarcar dentro del campo que los expertos califican como «investigación en diseño»², cuyo objetivo genérico es establecer nuevas formas o recomendaciones que potencien la eficiencia en el diseño.

Cross (1999) clasifica los modelos de diseño en dos grupos: descriptivos y prescriptivos, mientras que Takeda (1990) citando a Finger y Dixon (1989) adiciona dos más: cognitivos y computacionales. Los modelos descriptivos muestran la secuencia de actividades que ocurren en diseño, dentro de los cuales se puede mencionar el modelo básico y el modelo de French. Los prescriptivos, como su nombre lo indica, prescriben un patrón de actividades de diseño, como lo intentan Archer, Pahl y Beitz, el modelo alemán VDI 2221, el de March y el de Pugh entre otros. Mientras que los cognitivos, explican el comportamiento del diseñador y los computacionales, expresan la forma en que un ordenador podría desarrollar la tarea de diseño.

Conviene hacer una breve presentación de estos modelos con el fin de identificar las diferentes etapas y fases que se desarrollan en el proceso de diseño.

² Según Reymen (2001), en el mundo del diseño puede identificarse tres áreas de trabajo: el diseño en la práctica, la educación en diseño y la investigación en diseño.

Tabla 2.1 Historia de los métodos de diseño

Autores Representativos	Descripción
Asimow (1962)	Dos etapas: <ul style="list-style-type: none"> • Planeación y Morfología • Diseño detallado.
Jones (1963)	La intuición y los aspectos no-rationales tienen el mismo rol que los lógicos y los procedimientos sistemáticos.
Archer (1963),	Listas de chequeo (¡más de 229 items!), para verificar tres fases: <ul style="list-style-type: none"> • Análisis. • Creatividad • Ejecución.
Alger y Hays (1964)	Énfasis en la valoración de alternativas del proyecto.
Alexander (1964)	Análisis riguroso del problema. Adaptación del programa de diseño al problema específico División del problema complejo en subgrupos de problemas.
Luckman (1967)	Método AIDA, tres fases: <ul style="list-style-type: none"> • Análisis • Síntesis • Evaluación. No son lineales sino interactivas.
Levin (1966)	Caracterización de propiedades de sistemas. Relación causa – efecto (controlables y no controlables)
Gugelot (1963) Burdel (1976)	Información sobre necesidades del usuario. Aspectos funcionales Exploración de posibilidades funcionales Decisión Detalle: cálculos, normas, estándares. Prototipo.
Jones (1970)	No es un método, pero expone dos tendencias: Caja negra: la parte más importante del diseño se realiza en el subconsciente del diseñador, no puede ser analizada. Caja de cristal: todo el proceso se hace transparente.
Jones (1971) Alexander Tudela	Contracorriente: Los métodos de diseño destruyen la estructura mental del diseñador. Se produce una abolición de la racionalidad funcional.
Manuri (1974)	No es correcto proyectar sin método. Indica que primero se hace un estudio sobre materiales y procesos, que alimentan la generación de ideas.
Maldonado (1977) Dorfles (1977)	Deben integrarse al proceso de diseño los factores: funcionales, simbólicos o culturales, de producción.
Bonsiepe (1985)	Dos métodos: Reducción de la complejidad de Alexander. Búsqueda de analogías o Sinéctica de Gordon.
Quarante (1992)	Para cada problema hay un método. No universalidad de métodos.

Fuente: Elaboración propia a partir de Julian et al (2002) y Cross (1984).

a. Modelos descriptivos del diseño

El modelo lineal del proceso de diseño, aunque resulta muy básico, permite identificar las fases del diseño que son comúnmente aceptadas por la mayoría de investigadores. La Figura 2.1 muestra las fases de diseño conceptual, preliminar y detallado.

En la primera fase se buscan conceptos o principios de solución al problema, para la cual se analiza el problema identificado, se sintetiza una o varias posibles soluciones y se evalúan con respecto a restricciones (especificaciones) impuestas. Algunos la denominan fase de «síntesis» del diseño. En esta fase se generan principios de solución, pero no se obtienen estructuras de solución lo suficientemente válidas (o acabadas) como para materializar la respuesta al problema.

Sin embargo, es la etapa que demanda del diseñador una alta dosis de abstracción y de creatividad, caracterizada por la incertidumbre del éxito y por la dinámica de la evolución hacia estructuras válidas.

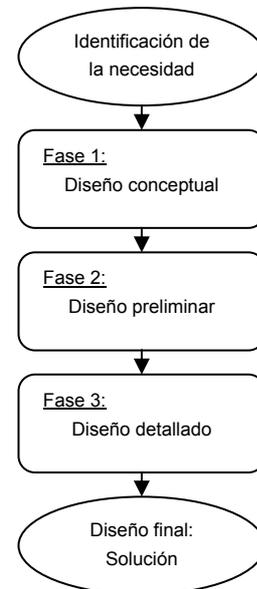


Figura 2.1 Modelo Descriptivo lineal del diseño

En la fase de diseño preliminar se avanza en la concretización de una solución al problema, determinando componentes e interacciones con el suficiente grado como para poderla evaluar objetivamente. Se obtienen formas específicas, materiales propuestos y planos de conjunto con dimensiones generales, que representan al producto como un conjunto organizado de piezas, componentes, enlaces y acoplamientos. Se puede decir, que esta fase es más «comprendida» por los ingenieros de diseño que la anterior, dada la formación curricular específica.

La fase de diseño de detalle corresponde a la generación de todas las especificaciones necesarias para la producción del producto-solución. La elaboración de planos de detalle, la determinación de etapas de fabricación, la identificación de proveedores, etc., son típicas actuaciones en esta fase, que es la mejor desarrollada a nivel empresarial, dado su interés particular y su organización orientada a la materializar soluciones.

Así, estas fases, además de describir el proceso, evidencian la diferenciación de intereses en la práctica del diseño. La primera, suele ser de interés para los investigadores de diseño que buscan mejores métodos para abordar la tarea. La

segunda, interesa especialmente a los académicos que quieren forjar profesionales capaces de concretar soluciones, y la tercera, es de interés de la industria o del nivel empresarial que quiere materializar productos innovadores.

Existen otros modelos descriptivos mucho más elaborados, como el de French (1999), pero en esencia sigue existiendo un acuerdo en la predominancia de aquellas tres fases descritas.

b. Modelos prescriptivos

Como se mencionó, los modelos prescriptivos además de describir, dan pautas para desarrollar cada una de las fases y etapas del proceso de diseño. En esta categoría existe una gran variedad de propuestas, siendo las más conocidas las de Archer, VDI21, March, Pugh y Pahl y Beitz (Cross, 1999). Se presenta a continuación los dos últimos por ser representativos de las tendencias en la definición de modelos prescriptivos de diseño.

El modelo denominado «Total Design» propuesto por Pugh (1990) está basado en un núcleo descriptivo del proceso, compuesto de actividades genéricas (válidas para cualquier producto que se diseñe) tales como: análisis de mercado, diseño conceptual, diseño de detalle, fabricación y venta. Aparte del núcleo, que se representa en la Figura 2.2, existirán las “especificaciones de diseño” que son aquellas características particulares que rodean al caso concreto que se esté abordando y que delimitan el campo de actuación del núcleo del diseño. Pero las principales características de este modelo son: la necesaria interacción de tantas disciplinas como sea necesario para resolver el problema, sean estas disciplinas técnicas o no; la definición clara de las especificaciones de diseño, que serán tenidas en cuenta durante todo el proceso y que definen la “frontera del diseño”; y el continuo acercamiento a la solución mediante la retroalimentación que conduce a estadios intercalados de divergencia (generación de conceptos) y convergencia (evaluación sistemática).

Esta aproximación gradual a la solución es denominada por Pugh como «método de convergencia controlada» y utiliza una matriz de valoración que enfrenta a las alternativas de solución contra los criterios previamente establecidos.

El método de Pahl y Beitz utiliza la teoría de sistemas para sustentar la propuesta de trabajo a través de funciones y subfunciones, que combinan los efectos físicos con las características geométricas y los materiales, para que surja el principio de solución (Alcaide, Diego y Artacho, 2001).

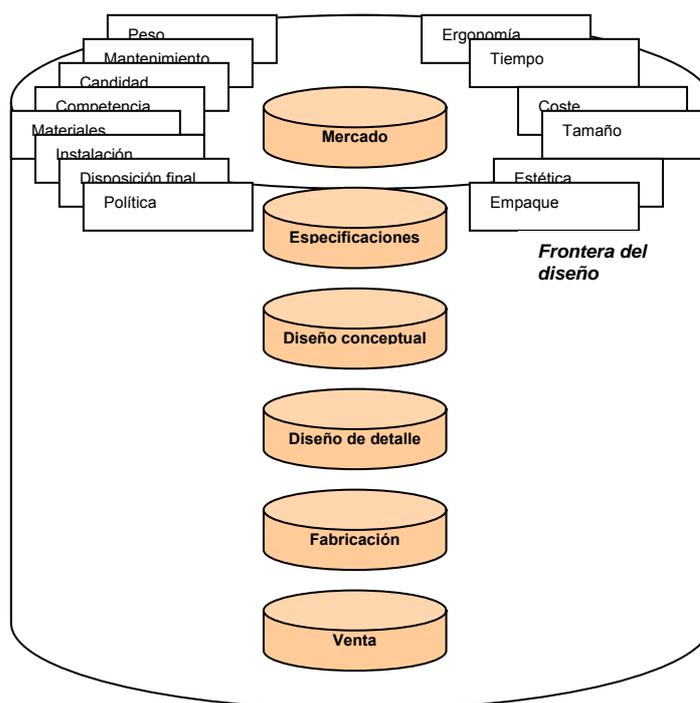


Figura 2.2 Núcleo y especificaciones del proceso de diseño

El método centra su atención en el denominado «embodiement design» (diseño de conjunto), pero para ello, propone un desarrollo de proyecto por módulos funcionales separados, lo cual tiene como ventaja la simplificación del análisis, pero la desventaja de que puede llegarse a una propuesta de conjunto muy compleja (Syed, Agarwal y Malik, 2000). Es uno de los métodos más utilizados en el diseño mecánico y su estructura se muestra en la Figura 2.3.

Algunos críticos del tema sugieren que los modelos no son aplicables tal como se presentan en forma teórica. Por ejemplo Rasmussen (1994) indica que en lugar de tales modelos secuenciales, que pretenden mostrar al diseño como un proceso ordenado, se debe percibir el diseño como una compleja interacción entre las diferentes personas y de estas con el ambiente, de manera que se considera al diseño como un proceso variable y oportunista, que no puede ser predecible y, además, cuyas decisiones se toman bajo la perspectiva particular que el diseñador reconoce dentro de ese contexto.

Al analizar cada uno de los métodos de diseño aquí expuestos se puede concluir que a pesar de las diferencias que pueden existir entre ellos, muestran algunas coincidencias que llevan a afirmar el reconocimiento de etapas comunes, como es el caso concreto de la etapa de generación de conceptos de diseño, esto es, de alternativas de solución al problema que se aborda en un momento determinado y en el cual la creatividad es protagonista principal.

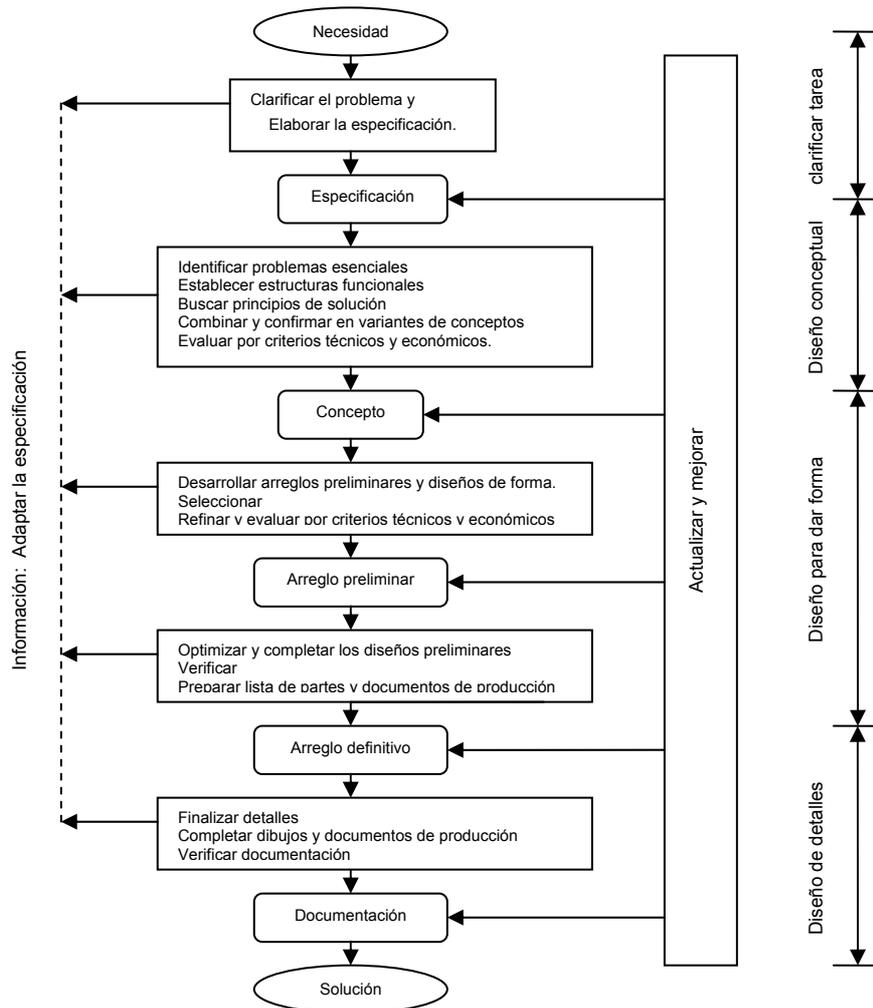


Figura 2.3 Modelo de Pahl y Beitz

Fuente: Adaptado de Cross (1999 p.37)

Por ejemplo, Manuri (Julian, 2002) denomina esta etapa como Creatividad: elaborar una síntesis. French, por su parte la relaciona dentro del Diseño conceptual, apuntando que es la fase que impone mayores demandas al diseñador y donde hay más oportunidades de cambios (Cross, 1999). Archer (1999) habla de ella explícitamente como Fase Creativa que comprende análisis, síntesis y desarrollo. Pugh (1994) la llama Diseño conceptual e incluye en ella la generación y evaluación de ideas que cumplan con los parámetros de diseño. Pahl y Beitz (1995) las sitúa dentro de la fase preliminar de Aclaración de la Tarea, llamándola definición y selección de ideas de producto. Gómez-Senet en su teoría de las dimensiones del proyecto, la propone como una de las Fases: fase creativa (Alcaide, Diego y Artacho, 2001). Tate y Nordlund (1996) en su propuesta, que busca desarrollar el modelo de Suh, la denominan generación y selección de conceptos. Rassmussen también toca el tema de la creatividad indicando que es

precisamente la fase no normativa, aquella en la que el diseñador hace una búsqueda de soluciones que pueden ser factibles y que él denomina exploraciones del «mundo del objeto» (Rasmussen, 1994).

Esta conclusión es importante para la investigación que aquí se presenta, toda vez que queda claro que la fase de generación de ideas creativas es algo reconocido, pero a la vez, poco tratado en la literatura de ingeniería de diseño.

Como una segunda conclusión importante de esta discusión, se puede afirmar que los modelos de diseño pueden ser útiles en la medida que reúnan dos condiciones básicas:

- Que se tenga claridad total de lo que hay detrás, es decir, una visión de que el modelo no es otra cosa que una herramienta que puede orientar un proceso, pero que no lo debe limitar ni subyugar. El método representado estará sometido al proceso y no al contrario.
- El solo modelo no es suficiente para garantizar un correcto diseño, principalmente debido a la incapacidad de representar el contexto del proyecto como un sistema y un sistema con interacciones complejas.

c. Modelos cognitivos

Los modelos cognitivos buscan hacer una descripción formal de la forma de actuación del conocimiento del individuo que diseña. Existen algunos trabajos que buscan identificar los procesos cognitivos del proceso de diseño, como el de Akin (1979) y Jeffries (1981), pero el tema sigue siendo de difícil tratamiento. Tal como lo comenta Feijó (1991), la representación del proceso de diseño será siempre incompleta, y estará enmarcada en los dos niveles más simples de modelación, tal como lo muestra en la Figura 2.4.



Figura 2.4 Los tres niveles de la modelación del diseño
Fuente: Feijó (1991)

La dificultad de construir modelos que representen la actividad cognitiva del diseñador obedece, entre otras cosas, a que el diseñar es una clase de aprendizaje en la que las habilidades y las capacidades son adquiridas después de aprender técnicas, de asimilar conocimiento específico y general, y de inspeccionar experiencias exitosas del pasado (Suwa et al., 1998); tales habilidades y capacidades suelen ser tácitas y ni aun los diseñadores más experimentados son concientes de las acciones cognitivas que hay detrás de sus trabajos.

Una de las primeras aproximaciones realizadas para clasificar las acciones cognitivas fue la de Suwa y Tversky citada por Suwa et al. (1998). En ella, las actividades se dividen principalmente en información visual y no-visual, las primeras se subdividen en elementos descritos (esquemáticos) con sus características percibidas y relaciones espaciales; tal tipo de modelo se basa en la distinción cognitiva del qué y del dónde. Mientras que la información no-visual se clasifica en «pensamientos funcionales» y en conocimiento. De esta manera, todo el contenido del proceso de diseño puede relacionarse con alguna de estas subdivisiones.

Esta primera aproximación es complementada posteriormente por el mismo autor al dividir las acciones cognitivas de los diseñadores en cuatro categorías: físicas, preceptuales, funcionales y conceptuales. Se sustenta esta división en el hecho de que la información es procesada por el individuo primero sensorialmente, luego perceptualmente y al final, semánticamente; de manera que las acciones físicas corresponden al nivel sensorial, las preceptuales al nivel perceptual, y las funcionales y conceptuales al nivel semántico. Es posible, por lo tanto, identificar y representar el proceso de diseño bajo estas cuatro categorías.

El modelo “reflectivo” presentado por Valkenburg (1998) basado en la teoría de la práctica reflectiva de Schön, muestra una estructura del proceso cognitivo en el diseño, tal como se muestra en la Figura 2.5. Clasifica las actividades de diseño en cuatro categorías: nombramiento, estructuración, movimiento y reflexión.

El diseñador inicia el proceso nombrando (identificando) los aspectos relevantes de la situación, pasando a estructurar el problema en cierta manera, haciendo movimientos hacia una solución y reflexionando en esos movimientos y la estructura construida. Tal reflexión es una acción consciente y racional que puede conducir a replantear la estructura del problema, al desarrollo de nuevos movimientos o a fijar la atención en nuevos aspectos del problema.

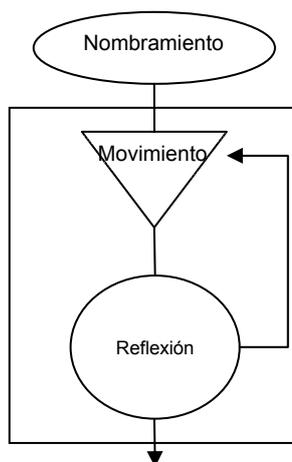


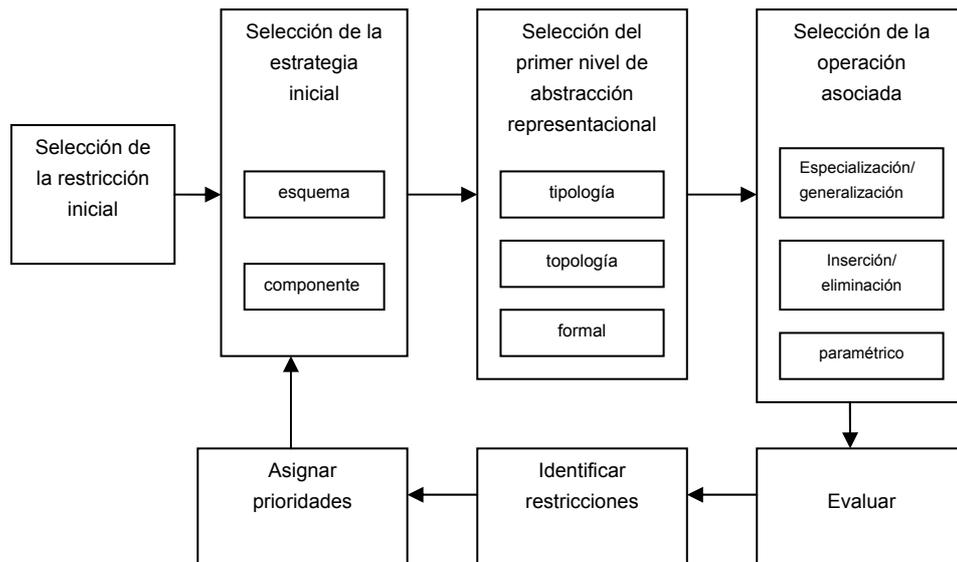
Figura 2.5 Actividades de diseño en el modelo de estructura cognitiva
Fuente: Tsumaya et al. (2001)

Oxman (1997) propone la concepción del diseño como un proceso secuencial de descripción y re-descripción en el que la representación gráfica es el elemento central del diseño. El modelo se muestra en la Figura 2.6.

Citando a Schön dice que el diseñador desarrolla una conversación gráfica con el diseño (p.329). Su argumento se sustenta en las modificaciones y re-modificaciones de las representaciones del diseño, señalando que las operaciones cognitivas incluyen relaciones estructurales de las imágenes que representan el objeto diseñado.

Por su parte, Chakrabarti (2001) argumenta que un modelo ideal debe reunir al menos tres requisitos: representar la actividad de diseño en cualquier campo de aplicación, desde diseño rutinario hasta el innovador; en segundo lugar debe asistir la fase de síntesis conceptual; en tercer lugar debe facilitar la evolución de los conceptos por los diferentes estadios de detalle.

Por ese motivo, critica los tres enfoques tradicionales sobre el razonamiento funcional en diseño y propone uno nuevo. El modelo de Freeman y Newell, representa esencialmente un proceso de avance a través de los diferentes niveles de detalle del diseño, pero no da ningún tipo de ayuda para superar la frecuente dificultad de encontrarse en un punto donde ninguna estructura propuesta satisface completamente los requerimientos funcionales.



Donde algunos niveles de abstracción y de esquematización, son:

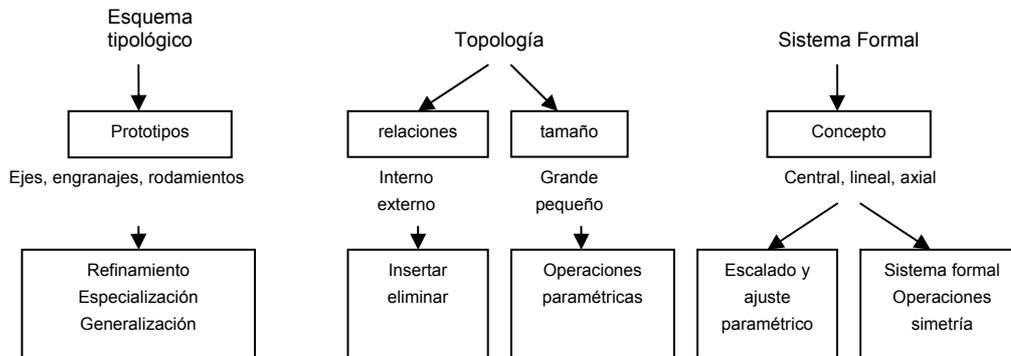


Figura 2.6 Modelo general de re-representaciones

El segundo, denominado modelo paradigma, representa el proceso de modificación de componentes de la estructura de solución para satisfacer requerimientos funcionales, en una forma cíclica. Para ello se asume que es posible identificar y aislar los componentes equivocados, que se tienen los criterios suficientes para satisfacer una solución y que es posible modificar monotónicamente una solución provisional, es decir, que la satisfacción de un requerimiento implica un avance en la solución.

El tercer modelo criticado por Chakrabarti es el modelo sistemático, el cual no restringe el campo de aplicación, por lo que puede utilizarse para resolver problemas de cualquier naturaleza. No es claro su potencial de apoyo a la elaboración de estructuras a través de los diferentes niveles de detalle. Sin embargo, propone elaborar adecuadamente la estructura funcional global antes de trabajar con las sub-funciones.

El nuevo modelo de Chakrabarti es conceptualmente semejante al modelo co-evolucionario de Maher (2001) que se presenta más adelante, en el sentido que el problema inicial se va modificando en la medida que las soluciones parciales que se van obteniendo incorporan nuevos requerimientos y modifican el problema inicial.

Mientras tanto, Takeda et al. (1990) proponen un modelo cognitivo basado en cinco subprocesos dentro del ciclo de diseño: apropiación del problema, sugerencias de conceptos clave para la solución, desarrollo de alternativas, evaluación y, finalmente, conclusión. Estos ciclos se repiten las veces que sea necesario para resolver el problema en forma completa y pueden enlazarse entre sí en cualquiera de los subprocesos (no son consecutivos). La Figura 2.7 ilustra este modelo.

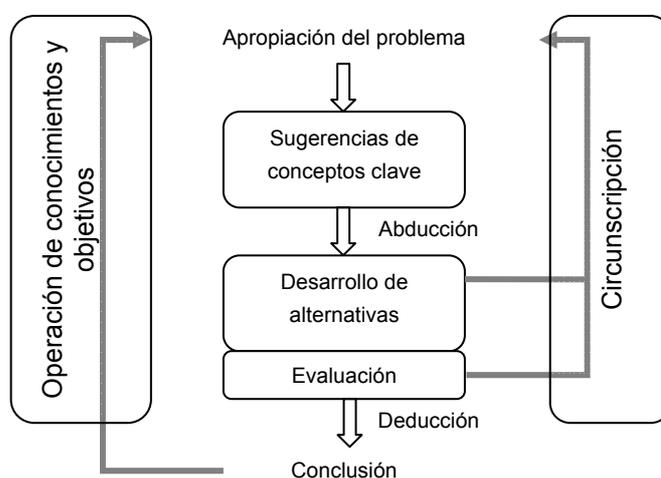


Figura 2.7 Razonamiento en el ciclo de diseño
Fuente: Takeda et al. (1990)

Este modelo se basa en el empleo de tres clases de razonamiento en el diseño: deducción, abducción y circunscripción. La primera se da cuando la solución se deriva de las especificaciones y del conocimiento previo. Evidentemente para la mayoría de problemas de diseño (mal estructurados) esta clase no resulta suficiente. La abducción, entendida como el proceso por el cual se generan hipótesis³, permite refinar las soluciones mediante la retroalimentación. Por otra parte, la circunscripción busca resolver el problema de la falta de bases de conocimientos completas, bajo la premisa de que cualquier pieza de conocimiento es válida solamente bajo ciertas situaciones, pero su aplicabilidad solo es detectada por las contradicciones que se pueden presentar.

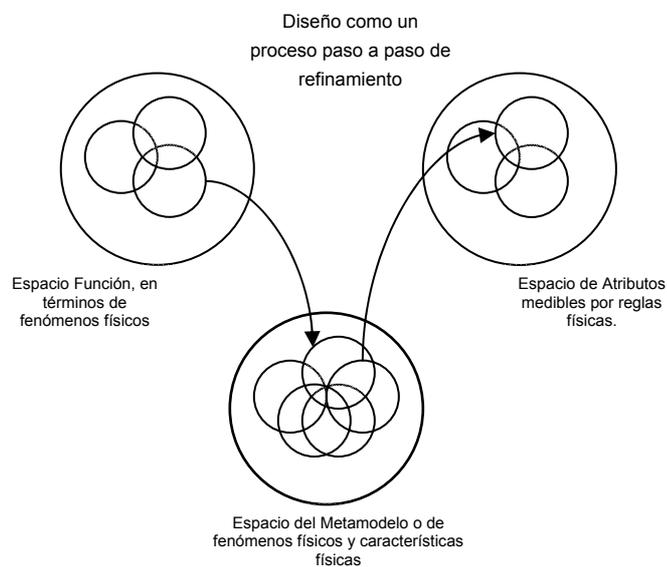
³ Nubiola (2001) presenta el concepto de Abducción, acuñado por Peirce, como opuesto a la deducción y a la inducción, en el sentido de que es a través de él que se generan hipótesis o propuestas para explicar los hechos que son sorprendentes. «Es un tipo de inferencia caracterizada por su probabilidad: la conclusión que se alcanza es siempre conjetural, es solo probable, pero al investigador le parece del todo plausible» (p.5).

d. Modelos computacionales

En general se acepta que la actividad de diseño se divide en dos categorías de procesos mentales y de acciones: el análisis y la síntesis. El desarrollo de herramientas informáticas para el diseño se ha centrado en particular en los procesos de análisis, mientras que la síntesis ha tenido muy poco desarrollo. Aún así, hay investigaciones sobre el tema, principalmente orientadas a la definición de estructuras informáticas que permitan construir herramientas de apoyo a la actividad de diseño.

Takeda et al. (1990) presentan la Teoría General del Diseño (GTD) como una formulación del proceso de diseño para explicar cómo se desarrolla en términos de manipulación de conocimiento y sobre la cual se construye una propuesta de modelo computacional, que utiliza el modelo cognitivo de deducción-abducción-circunscripción descrito en el numeral anterior.

El GTD se basa en tres axiomas y siete teoremas, y explica el diseño como el proceso de transformación o mapeo entre un espacio función y un espacio de atributos, donde la especificación de diseño corresponde a un punto del primer espacio y la solución de diseño a un punto del segundo, como se representa en la Figura 2.8.



*Figura 2.8 Proceso de diseño según Takeda.
Fuente: Takeda et al. (1990)*

Ese mapeo no es simple y directo sino que es un proceso de refinamiento paso a paso en el que un «metamodelo» (descripción del objeto de diseño independiente del contexto) va

evolucionando por la adición de información y conocimiento, que surge a partir de la ejecución de escenarios de diseño (procedimientos y reglas) que crean un contexto C , cuyos contenidos son entonces evaluados contra el metamodelo actual M_i , de manera que si existe consistencia (cumplimiento de restricciones) entre ellos, el metamodelo se transforma a un estadio superior (evoluciona) M_{i+1} y así continua el proceso hasta que los requerimientos iniciales son completamente satisfechos. La Figura 2.9 ilustra el proceso descrito.

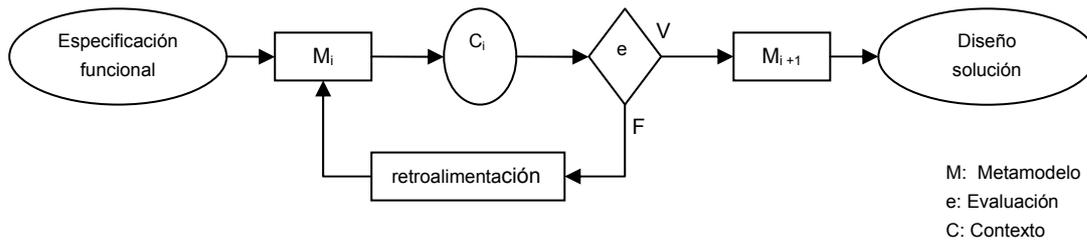


Figura 2.9 Esquema de evolución del metamodelo

El modelo computacional de Takeda se sustenta en esta teoría y en el modelo cognitivo ya explicado. Si se asume que el proceso de diseño cambia su estado paso a paso, cada uno de estos pasos puede formularse como:

$$Ds_c \cup Ko_c \mapsto P_c \quad (2.1)$$

Donde:

Ds_c es la descripción del diseño actual

Ko_c el conocimiento disponible en el estado actual

P_c , las propiedades del diseño actual.

Durante el subproceso de sugerencias de aspectos clave se trata de encontrar Ds_c a partir de P_c y Ko_c , en un proceso de abducción. Los subprocesos de desarrollo y evaluación, son desarrollados por deducción. La arquitectura del simulador propuesto por Takeda et al. (1990) y que se muestra en la Figura 2.10 consiste en dos partes principales: el sistema de inferencias a nivel acción y el sistema de inferencia a nivel objeto. Este último consiste en el espacio de trabajo definido por Ds , P , Ko y los tres subsistemas cognitivos (deducción, abducción y circunscripción). El conocimiento que se aplica en este sistema es aquel relacionado con el objeto del diseño, mientras que en el sistema a nivel de acción el conocimiento es aquel que determina cómo diseñar (prescripción del diseño).

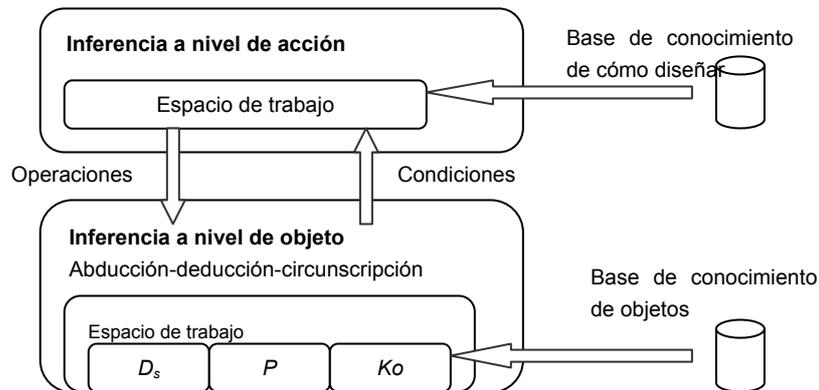


Figura 2.10 Esquema del simulador de diseño de Takeda et al. (1990)

La propuesta de Suh en la formulación del llamado Diseño Axiomático (Suh et al., 1996; Tate, 1996; Engelhart, 2000; Alcaide, Diego y Artacho, 2001), define el diseño como el relacionamiento entre los requerimientos funcionales del dominio funcional y los parámetros de diseño del dominio físico, y la sustenta a través de dos axiomas fundamentales (de ahí el nombre de la teoría): independencia e Información. El primero condiciona el diseño a la independencia de los requerimientos funcionales, mientras el segundo se refiere al diseño óptimo como aquel diseño funcionalmente desacoplado (el que cumple el axioma 1) que requiere mínima información. A partir de estos axiomas Suh propone siete corolarios (reglas) y siete teoremas, que fundamentan su propuesta de formulación del proceso de diseño mediante la expresión:

$$\{FR\} = [A]\{DP\} \quad (2.2)$$

en la que FR es el vector de requerimientos funcionales, DP el de parámetros y A la matriz de diseño (Alcaide, Diego y Artacho 2001, p.35).

Posteriormente Harutunian et al. (1996) proponen una primera versión de un software basado en la propuesta de Suh, que permitiría evaluar la matriz de diseño [A]. Tate y Nordlund (1996) dan un aporte adicional al presentar un esquema del proceso de diseño bajo el contexto del diseño axiomático.

El modelo computacional y cognitivo de Maher (2003) asume la existencia de dos espacios paralelos de búsqueda (espacio del problema y espacio de solución), de manera que durante el proceso de diseño se hace iterativamente una búsqueda en cada espacio utilizando el otro como base para refinar la función cuando se evalúan las

alternativas de diseño. La Figura 2.11 muestra el modelo, cuyo nombre lo toma de la similitud con el proceso de interacción natural entre dos especies, tan íntima que para su evolución dependen mutuamente. El modelo computacional busca mostrar cómo un mecanismo para el diseño puede incluir razonamiento tanto sobre el problema como sobre la solución, en forma paralela.

En el modelo computacional se utiliza un algoritmo genético que utiliza conceptos de espacios de búsqueda y representación de individuos por genotipo/fenotipo, que interactúan con operadores de cruzamiento, mutación, selección, reproducción y refinamiento.

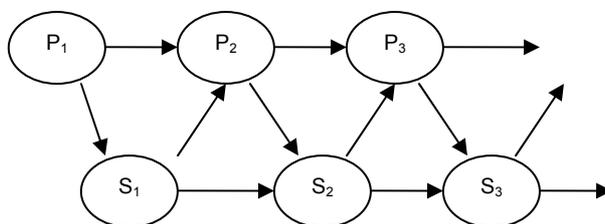


Figura 2.11 Modelo co-evolucionario del diseño

Fuente: Maher (2003)

Otra de los métodos propuestos recientemente es el llamado “Design Method based on Structured Reflection (DMSR)”, basada en un proceso de alternación entre las etapas de diseño y de reflexión, de manera que durante esta última, se pueda procesar la información generada en la etapa precedente. Este método es fruto de la investigación que se realiza en el Stan Ackermans Institute de Eindhoven, Holanda (Reymen, 2001; Ivashkov y Van Overveld, 2002), actualmente en curso.

Se puede decir, para concluir, que las propuestas de modelos computacionales para el diseño aun es un campo en desarrollo que no muestra resultados concretos prácticos, pero que los avances realizados permite afirmar que en poco tiempo habrá resultados importantes.

2.4 Diseño conceptual

Ya se ha explicado que la fase inicial de desarrollo de un producto se suele denominar como diseño conceptual o etapa de síntesis del diseño. Ésta es considerada como la etapa

donde la creatividad juega un papel determinante y, dados los objetivos de esta investigación, conviene precisar algunos elementos que ayuden a comprenderla mejor.

En primer lugar es necesario decir que hay un acuerdo general en los investigadores que el diseño conceptual es una fase crucial en el desarrollo de productos, en particular cuando se trata de diseñar productos innovadores o cuando se quiere generar un diseño completamente nuevo de un producto ya existente (Research Opportunities in Engineering Design, 1996; Horváth, 2000; Wang et al., 2002; Mulet, 2003). El impacto de las decisiones tomadas en esta fase son determinantes para el resto del proceso, hasta el punto que un pobre concepto de un producto es prácticamente imposible de mejorar en etapas posteriores. La Figura 2.12 muestra el comportamiento de diversos factores del proceso de diseño.

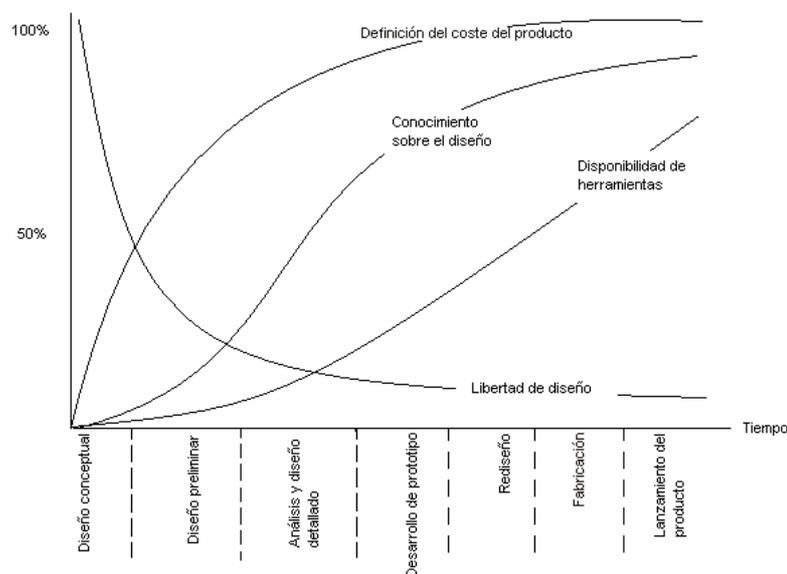


Figura 2.12 Tendencias de factores de durante el proceso de desarrollo de productos.
Fuente: Research Opportunities in Engineering Design (1996)

Desde el punto de vista metodológico, se entiende como la fase más temprana del desarrollo de un producto en la que se obtienen soluciones abstractas, generalmente incompletas, pero que se espera que satisfagan los requerimientos y especificaciones iniciales del problema. Su objetivo, por lo tanto, es explorar las mejores alternativas para obtener uno o más conceptos de diseño que puedan utilizarse como base para desarrollar el producto en las subsiguientes fases.

Su significado epistemológico se deriva del latín *conceptus*: noción general sobre un conocimiento, impresión mental, idea abstracta y generalizable de un objeto o sistema. Mientras que la palabra *concepción*: comienzo del proceso de existencia, derivación o

formación de una idea. Es claro, entonces, que el término diseño conceptual hace referencia a la etapa donde se conciben o donde nacen las idea del sistema o elemento que solucionará un problema identificado.

Se acepta que esta fase depende de la creación de asociaciones contextuales entre conceptos intuitivos y aprendidos (contenidos en «paquetes» de conocimientos), de la aplicación de la intuición y la heurística en la solución cuasi-racional en un área determinada y de la exteriorización de las imágenes mentales en representaciones observables.

En el diseño conceptual se inicia con las especificaciones que circunscriben al producto deseado, los requerimientos técnicos, las condiciones de realización u las restricciones. Todo ello se trasforma en ideas funcionales, primeros principios de físicos y de trabajo, organizaciones estructurales y representación de las formas materiales para contrastarlas contra los requerimientos y efectuar pre-selecciones. Todo ello representado en la Figura 2.13, no sucede necesariamente en forma secuencial aunque sí mediante una sinergia difícil de analizar. Aunque se ha avanzado en muchos aspectos de la comprensión de estas actividades aun quedan muchas preguntas por contestar (Horvát, 2000).

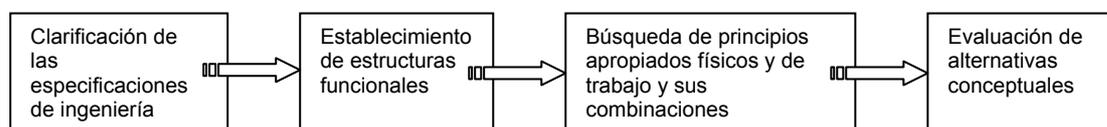


Figura 2.13 Etapas del diseño conceptual

Se han desarrollado algunas técnicas que apoyan estas actividades, las cuales son expuestas en el siguiente apartado, como por ejemplo el FAST, el QFD, los diagramas de bloques funcionales, etc., pero aún parecen poco articuladas entre sí y no describen con prestancia la sinergia que un ingeniero de diseño desarrolla en su interior. De la misma manera las herramientas computacionales de diseño creativo que se están desarrollando sobre la base de cuatro tipos de tecnología (estrategias de solución de problemas, algoritmos genéticos, razonamiento basado en casos y agentes), que parecen dar luces al respecto, pero que aun están en fase de consolidación y, sobre todo, lejos de ser reconocidos industrialmente como herramientas cotidianas.

2.5 Herramientas de diseño actuales

Se presenta aquí un breve resumen de las técnicas, métodos y herramientas que se han estado proponiendo como elementos de ayuda al desarrollo de productos. No siendo el objeto de esta investigación profundizar en ninguno de ellos, la presentación se limitará a explicar la parte formal de las principales tendencias actuales.

Tabla 2.2 Una clasificación de técnicas de modelación conceptual

Categorías	Técnicas o herramientas
Modelación funcional	<ul style="list-style-type: none"> • Multinivel • Basada en procesos • Basada en flujo de información • Basada en aspectos formales
Modelación basada en la gramática	<ul style="list-style-type: none"> • Por formas gramaticales • Por categorías de principios • Por catálogos de solución • Por catálogos de patentes
Modelación cualitativa de procesos	<ul style="list-style-type: none"> • “Bond Graphs”⁴ • Redes de Petri⁵ • Cualitativa física
Modelación cuantitativa de procesos	<ul style="list-style-type: none"> • Matemática • Simulación física
Modelación estructural simbólica	<ul style="list-style-type: none"> • Gráfica de atributos • Por relaciones espaciales • Por esquemas simbólicos • Cinemática
Modelación geométrica	<ul style="list-style-type: none"> • Esquemas asistidos por ordenador • Basadas en “esqueletos” • Modelación rápida de superficies • “Virtual Claying”⁶ y “real claying”
Técnicas de ideación	<ul style="list-style-type: none"> • Basada en casos • Basada en restricciones • Basada en características • Basada en analogías

Fuente: Horváth (2000)

⁴ Los Bond Graphs son representaciones gráficas de un modelo físico dinámico que se utiliza como elemento de entrada para generar un código fuente que simula el comportamiento y entrega resultados (Kofman 2000).

⁵ Las Petri-Net son consideradas una herramienta para el estudio de los sistemas. Con su ayuda se puede modelar el comportamiento y la estructura de un sistema, y llevar el modelo a condiciones límite, que en un sistema real son difíciles de lograr o muy costosas. La teoría de PN ha llegado a ser reconocida como una metodología establecida en la literatura de la robótica para modelar los sistemas de manufactura flexibles (Gonzales s.f).

⁶ Virtual Claying es un modelado discreto de piezas que simula el comportamiento del modelo físico elaborado con arcilla para aplicar deformaciones o cargas y simular el comportamiento del elemento (Ruzák 2002)

Tal como lo señala Wang et al. (2002, p.983) existen dos enfoques o aproximaciones para clasificar las herramientas de diseño: el orientado al diseñador y el orientado al ordenador. En ambos casos el reto común es asistir la combinación de principios de trabajo para generar soluciones factibles, pero se diferencian en la manera de desarrollar el proceso.

En el primero, el diseñador tiene el control del proceso y utiliza las herramientas bajo sus propios criterios. En el segundo enfoque, el ordenador simula la acción humana en forma cuasi-autónoma o autónoma de acuerdo a los principios de operación de su configuración.

Horváth (2000) presenta una grafica que representa las diferentes tendencias en el desarrollo de técnicas para el diseño conceptual, la cual se reproduce en forma de listado en la Tabla 2.2. Esas técnicas o herramientas están agrupadas en siete categorías diferentes en función del modo de operación de cada una de ellas.

Evidentemente los métodos conocidos a nivel empresarial corresponden a combinaciones de algunas de aquellas técnicas y en esta sección se hace una rápida prestación de las más representativas dentro del enfoque orientado al diseñador, dejando para el capítulo 3 la presentación de técnicas enfocadas al ordenador.

2.5.1 Diseño colaborativo

Se puede reconocer una tendencia muy actual hacia el denominado «diseño colaborativo», este es, el diseño desarrollado por un equipo interdisciplinario tanto en ambientes presénciales como virtuales. Allí se aprecia la necesidad de ampliar la base del conocimiento que normalmente ha sido muy específico a la disciplina del diseñador, para requerirse ahora una base de conocimiento de dominio no específico o «domain-independent design knowledge», que logre integrar en forma eficiente las diferentes disciplinas que intervienen en el proceso de diseño. Indudablemente, que esta tendencia se acentuará en el futuro inmediato, habida cuenta del rápido desarrollo de las TIC, como herramienta de comunicación.

Se trata de una respuesta obvia a la complejidad y demanda creciente que implica el diseño de productos competitivos a nivel internacional, al interés de las empresas por racionalizar sus actividades y por tener una cobertura mundial. Una de las respuesta más evidente es la tendencia de todos los productores de software CAD de integrar herramientas para la gestión del diseño colaborativo en red, tal como será presentado en el capítulo 4.

2.5.2 QFD

El QFD es el acrónimo de «quality function deployment» o despliegue de la función calidad, es un método desarrollado en 1972 por Yogi Asao en Kobe, Japón, aunque solo a partir del año 1986 se hace conocido a nivel europeo y norteamericano. Su objetivo es establecer una forma sistemática de capturar y procesar las necesidades reales del mercado de tal manera que conduzcan todo el proceso de diseño. Su trasfondo filosófico se suele resumir en la frase «la voz del cliente» como elemento fundamental del diseño.

Para su desarrollo se conforman cuatro matrices principales: la planificación del producto (la más conocida, llamada «la casa de la calidad»), la planificación de piezas, la planificación del proceso y el control de calidad. La primera busca hacer una traducción de las demandas del cliente a términos técnicos, y lógicamente se inicia con la recolección de información de los clientes (regularmente por encuestas) para luego clasificarlas (o estructurarlas) por prioridades. Aquella estructura jerarquizada de necesidades es convertida a parámetros técnicos cuantificables y luego se establece el grado de relación entre ellas.

La segunda matriz busca relacionar los requerimientos del producto con los subsistemas y piezas que pueden conformar un concepto de solución. Esto significa que entre la primera matriz (la casa de la calidad) y ésta segunda se desarrolla la etapa de conceptualización del diseño, incluyendo una primera fase de evaluación y selección de alternativas.

En la tercera matriz se realiza la planificación del proceso de fabricación, donde también debe realizarse una selección de alternativas, mientras que en la cuarta y última se hace una planificación de los procesos de control de calidad.

Existe mucha literatura actualmente que trata el tema (Alcaide, Diego y Artacho, 2001; Barba, 2001; QFD Institute, 2000), por lo que aquí solo nos limitamos a esbozar sus principios y su relación con ingeniería del diseño.

2.5.3 Análisis funcional y del valor

El método de análisis funcional propuesto inicialmente por Lawrence Miles con el fin de reducir costes, busca identificar e independizar la acción que debe ejecutar el producto del producto mismo. Con ello se pretende encontrar otras formas de realizar la función. Es claro que los productos en general buscan cada vez más cumplir múltiples funciones. Además, las funciones que los usuarios perciben como útiles generalmente están subordinadas a otra serie de funciones que se suelen llamar funciones técnicas. Esto

significa que el método además de identificar las funciones debe clasificarlas. Todo ello conduce a la construcción del llamado árbol de funciones, que no es otra cosa que la representación gráfica de las funciones y de su interrelación. Algunos prefieren utilizar otro tipo de gráfico denominado diagrama FAST (análisis funcional de sistemas técnicos), el cual facilita la identificación de relaciones y dependencias entre funciones.

El análisis del valor, por su parte, tiene como objetivo mejorar el valor percibido del producto mediante el análisis de sus funciones y los costes asociados a cada una. Se sustenta el método en la filosofía de que el cliente no busca un producto determinado sino la satisfacción de una necesidad, la cual se logrará mejor si el valor percibido del producto (entendido como la relación entre los beneficios aportados frente a sus costes) es más grande.

2.5.4 Análisis modal de fallos y efectos, AMFE

Es un método desarrollado inicialmente en los ámbitos militares y que posteriormente se adoptó a nivel empresarial. Su objetivo es evaluar la fiabilidad de un producto y determinar el efecto de los fallos de los diferentes componentes. Asociado a la actividad de diseño, un fallo significaría el no cumplimiento de alguna especificación de diseño. Aunque se suele realizar en las etapas finales del proceso de diseño, resulta conveniente familiarizarse con el concepto de fallo desde las etapas tempranas, donde las decisiones pueden ser revaluadas sin necesidad de recurrir a grandes transformaciones. El AMFE debe tener como propósito que el equipo de diseño pueda identificar los componentes críticos en la obtención de un producto seguro, fiable y de calidad.

2.5.5 Diseño por factores, DfX

Los métodos DfX (del inglés «design for X») se proponen con el fin de centrar el objetivo del diseño en algún factor X que la empresa considere relevante. En general el concepto de DfX suele estar relacionado con estrategias de la ingeniería concurrente.

Se suele hablar de diseño para: la fabricación, el ensamblaje, el mantenimiento, la fiabilidad, la seguridad, el medio ambiente, la reutilización, el reciclaje; para mencionar solamente los más relevantes. Con ello se enfatiza en el enfoque que la empresa quiera darle a sus productos como elemento diferenciador de la competencia y de valor añadido, además de reducción de costes y aumento de flexibilidad en los procesos de producción.

2.6 Quiénes investigan en diseño y sobre qué temas?

Se presenta a continuación algunos de los centros o grupos de investigación en ingeniería del diseño más importantes del mundo, con el objetivo de mostrar las tendencias de investigación. No se trata de una lista acabada con todos los centros relevantes, sino solo una muestra de los más representativos.

2.6.1 Design Methodology Group

Este grupo de investigación que hace parte de Departamento de Innovación y Gestión del Producto de la TU Delf University (Lloyd, 2004), desarrolla investigaciones en todos los aspectos del proceso de diseño, y muchos de sus trabajos se han convertido en referentes a nivel mundial. Es el caso de los estudios empíricos de diseñadores usando el método de análisis de protocolo, catapultado como el método de investigación experimental más utilizado actualmente gracias al «workshop» de 1994 organizado por uno de los integrantes de este grupo, el profesor Nigel Cross, que dio origen al libro *Analysing Design Activity* (Cross, 1996) utilizado como referencia en la mayoría de las investigaciones sobre diseño, incluyendo ésta misma.

También se pueden señalar como trabajos de referencia mundial los realizados por los profesores Norbert Roozenburg y Johan Eekels recopilado en el libro *Product Design: Structure and Methods* (1991) y, más recientemente, la organizada por Meter Lloyd y Henri Christiaans (2002).

La línea de investigación que este grupo adelanta actualmente es la de «Comunicación en diseño y práctica reflexiva», que se centra en la actividad del diseño en el nivel social, particularmente en aspectos de la comunicación del diseño. Se enfatiza en la idea de la práctica “reflexiva” como la manera de mirar la acción práctica del diseño. Se han definido cuatro contextos dentro del proceso de diseño de producto:

- Contexto creativo. Se analizan la función de las reuniones creativas tales como el brainstorming y la visión por escenarios, para potenciar el ciclo de aprendizaje y de compartición de la comprensión y visión del diseño durante la fase creativa del proceso.
- Contexto de diseño. Se estudian los mecanismos de comunicación entre diseñadores durante el proceso de desarrollo del producto. Allí confluyen aspectos tales como la forma narrativa de descripción, la toma de decisiones, los aspectos éticos y la percepción estética. Se estudia cómo tales aspectos se relacionan con la experiencia en diseño.

- El contexto del negocio. Se observan las estructuras conceptuales que los equipos de diseño utilizan en la práctica, la forma de compartir su visión y comprensión y enfoque de solución del problema de diseño.
- El meta-contexto. Se examinan los conceptos teóricos de diseño y la manera en que los diseñadores los usan cuando debaten sobre el tema.

2.6.2 Key Centre of Design Computing and Cognition

Se encuentra adscrito a la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Sydney y es reconocido internacionalmente como un centro de investigación y enseñanza en campos de diseño por ordenador y cognición en diseño, siendo sus principales representantes los profesores John Gero y Mary Lou Maher, ampliamente conocidos en el mundo del diseño (KCDC, 2003).

Actualmente el grupo está compuesto por doce investigadores. Ha publicado más de 40 libros y 600 comunicaciones en congresos y reportes en revistas internacionales. Publica una revista especializada denominada «International Journal of Design Computing» (KCDC, 1997).

Desde el año 1995 el grupo ha organizado un gran número de eventos internacionales («workshops», conferencias, simposios, etc.) en temáticas que varían desde el razonamiento visual-espacial en diseño, diseño asistido por ordenador, modelos computacionales de diseño creativo, diseño en la red, diseño y cognición e inteligencia artificial en diseño.

Las líneas de investigación de este grupo son, principalmente:

- Inteligencia artificial en diseño.
- Soporte informático para el diseño colaborativo.
- Cognición en diseño.
- Arquitectura virtual.

2.6.3 Knowledge-as-Media Reserach Group, KasM

Este grupo de investigación se encuentra adscrito al Instituto Nacional de Informática de Japón. Su objetivo principal es investigar temas relacionados con el intercambio de conocimiento, tanto en la comunidad de ingenieros, como en la ontología y los metadatos en ingeniería. Su base filosófica tiene que ver con el hecho de que el conocimiento

no es algo que deba mantenerse en la mente del individuo, sino algo que la persona consigue a través de su interacción con otros (National Institute of Informatics, 2004).

En la actualidad el grupo está compuesto por siete investigadores, dentro de los que destaca el profesor Hideaki Takeda, quien ha realizado aportes importantes en el campo de la modelación de la etapa de síntesis dentro del proceso de diseño.

Sus principales proyectos actuales son:

- Semblog. Consiste en el desarrollo de un software tipo suite para publicación de conocimiento, que provea un ambiente integrado para la distribución de pequeños contenidos y para facilitar la interrelación entre profesionales.
- CICSS: Colección e integración de conceptos de sistemas mediante la semántica de webs. El objetivo es proveer una infraestructura que pueda utilizarse para generar nuevos requerimientos para conceptualización mediante la combinación de sistemas conceptuales ya existentes. Con ello podría plantearse una solución a problemas como por ejemplo la clasificación inteligente de la gran cantidad de información a la que se puede acceder por Internet.
- Soporte al diseño por abducción creativa. Se busca establecer una estructura para el proceso de diseño. Para ello se investiga la fase de síntesis del diseño, relacionándolo con la abducción, con lo cual es posible traducir el modelo para soportar el proceso con ordenador.

2.6.4 Center for Design Research, CDR

El CDR es un centro de investigación adscrito a la Universidad de Stanford, Ca., enfocado en la comprensión y el desarrollo de la innovación en ingeniería y la educación en diseño (Standord University, 2004). Sus objetivos se orientan a potenciar la creatividad individual, comprender el proceso de diseño en equipo y desarrollar herramientas avanzadas y métodos que promuevan el diseño de productos. Está dirigido por personas de alto nivel como son Larry Leifer, Mark Cutkosky, Sheri Sheppard, entre otros.

Algunas de las empresas patrocinadoras de este grupo son: Apple computers, BMW, Boeing, Ford Motor, General Electric, Hewlett-Packard, IBM, etc., lo cual es un indicador de la relevancia del centro. Para el desarrollo de sus funciones cuenta con cinco laboratorios de investigación altamente especializada: investigación en diseño, biomimética, educación en ingeniería, diseño dinámico, disección mecánica.

El laboratorio de investigación en diseño desarrolla actividades relacionadas con teorías y metodologías de diseño, y educación en la ingeniería y el diseño. Está dotado con todos los elementos necesarios para observar los procesos desarrollados por equipos de diseñadores in-situ. Los estudios que realiza se enfocan en la dinámica de equipos, liderazgo, espacios de diseño, tecnología colaborativa para la administración, el intercambio y la reutilización del conocimiento. Es posible realizar mediciones objetivas del comportamiento de los diseñadores individuales o en equipo, bajo varias condiciones metodológicas y utilizando una variedad de herramientas informáticas.

Las líneas de investigación del CDR son:

- Evaluación de la integridad estructural de sistemas.
- Modelación de sistemas.
- Ambientes virtuales de diseño.
- Robots biomiméticos.
- Telemanipulación.
- Dinámica de vehículos.
- Sistemas de asistencia a la conducción.

Algunos de sus proyectos actuales son:

- iLoft. Proyecto que consiste en el desarrollo de un espacio físico de alta tecnología para soportar equipos que trabajen bajo el enfoque de ingeniería distribuida.
- DIDET: «digital libraries for global distributed innovative design, education and teamwork ». Proyecto que busca desarrollar, implementar y utilizar una celda de pruebas para mejorar el proceso enseñanza-aprendizaje de estudiantes que participan en proyectos basados en equipos globales y combinar el uso de librerías digitales con estudios virtuales de diseño.
- CAEE: «Center for the advancement of engineering education». Como lo indica su nombre busca incrementar el uso de pedagogías efectivas en las aulas de clase de ingeniería, que potencien el liderazgo y la investigación de los estudiantes.
- RISE: «Robotics in sensorial environments». Es un proyecto colaborativo con las universidades de Michigan, Carnegie Mellon, U. de California en Berkeley, Lewis y Clark y la empresa Boston Dynamics. El objetivo es desarrollar un robot que pueda escalar ágilmente, basado en principios biológicos de animales que pueden hacer esta función.

2.6.5 Design Institute, ID

Adscrito a la Universidad de Illinois, este instituto se reconoce como líder en la enseñanza sistémica del diseño centrado en el usuario, para lo cual trabaja alrededor de cuatro tipos de factores humanos: físicos, cognitivos, sociales y culturales (Illinois Institute of Technology, 2003).

Líneas de investigación:

- Teoría y metodología general del diseño y sus aplicaciones.
- Soporte a la definición temprana del producto.
- Sistemas interactivos: interfases re-configurables e interacción física.
- Modelo de representación de los factores culturales en sistemas interactivos de diseño.
- Comprensión del procesamiento de información a través del estudio del usuario.
- Búsqueda de información.
- Uso de información multimodal.
- Aprendizaje a través de la información.

2.6.6 Design Concept Group

Perteneciente al Instituto tecnológico de Massachussets, el DCG desarrolla proyectos de investigación de alto nivel en diseño, de los cuales destacan:

- Viper. El objetivo de este proyecto es estructurar el proceso visual en la búsqueda y construcción de espacios digitales compartidos entre representaciones del usuario y los datos requeridos para el proceso. Se sustenta en principios fisiológicos y cognitivos de la visión y la memoria para construir una estructura que permita extender el espacio de visión.
- Wall. Este proyecto está relacionado con el desarrollo de un procedimiento informático que configure un espacio adecuado de intercambio de conocimiento.
- WPoF Database. Esta investigación explora posibles mejoras a los ambientes de trabajo cooperativos que tomen ventaja de los avances en las tecnologías de la información.

- Boeing Interior design. Se trata de crear un diseño interior de los aviones que sea flexible y adaptable, que responda de manera inteligente a los comportamientos de los individuos teniendo en cuenta los contextos sociales y climáticos.

2.6.7 Clemson's Research in Engineering Design and Optimization

Este grupo de investigación pertenece a la Universidad de Clemson en Carolina del Sur (Clemson University, 2004) y desarrolla investigaciones en dos áreas principales: metodología y optimización del diseño y prototipado rápido y virtual. Algunas de los tópicos de sus investigaciones son:

- Metodología del diseño
- Diseño colaborativo y distribuido.
- Herramientas de diseño por realidad virtual.
- Diseño multimaterial.
- Optimización de diseño multicriterio, multiobjetivo y multidisciplinario.
- Prototipado rápido.
- Diseño de vehículos.

2.6.8 Ideas Lab, Centre for Product Design and Manufacturing

Este laboratorio de investigación se encuentra adscrito al Centro para el diseño del producto y la manufactura (CPDM) del Instituto Indio de la Ciencia (Indian Institute of Science, 2004). Sus temas de acción están relacionados con la creatividad en diseño y la innovación, el prototipado virtual y físico, la administración de conocimiento y la sostenibilidad en diseño.

Sus líneas de investigación son:

- Diseño para el medio ambiente
- Creatividad
- Diseño colaborativo
- Bio-imitación
- Eco-diseño

Actualmente desarrollan proyectos investigación relacionados con la creatividad en el diseño conceptual, diseño colaborativo distribuido, síntesis de sistemas mecánicos por bio-imitación y evaluación temprana del impacto ambiental de productos.

2.6.9 Grupo de Ingeniería del Diseño

Este grupo de investigación se encuentra adscrito a la Universidad Jaime I, de Castellón, España (Universitat Jaume I, 2003). Sus temas de investigación giran en torno al proceso de diseño y al eco-diseño. Ha publicado un número importante de artículos y ponencias en congresos internacionales especializados.

Dentro de los proyectos que actualmente desarrolla se puede citar:

- Desarrollo e implementación de una arquitectura multiagente para la asistencia en el diseño de productos.
- Modelización descriptiva y análisis experimental de la efectividad del proceso de diseño creativo.
- Diseño de muebles más respetuosos con el medio ambiente.
- Desarrollo de bases de datos y herramientas gráficas para el ecodiseño de muebles.

2.6.10 Centro CID

El Centro de Innovación y Desarrollo Conceptual de Nuevos Productos se encuentra adscrito a la Universidad de Girona. Aunque no se puede identificar como un centro de investigación propiamente dicho, tiene algunas líneas que tiene relación directa con el estudio del diseño. Estas son:

- Diseño conceptual y de sensaciones.
- Proceso de diseño y desarrollo de producto.
- Innovación competitiva de productos de consumo.

Salvo la primera, las otras son de tipo genérico y básicamente de apoyo a la prestación del servicio de diseño ofrecido a las empresas de la región.

2.6.11 Equipo Generador de Ideas

Del Departamento de Proyectos de la Universidad Politécnica de Cataluña, este equipo tiene por objetivo el apoyar proyectos de innovación de producto propuestos por el sector productivo, en particular pequeñas y medianas empresas.

Su metodología de trabajo incluye la realización de sesiones con aplicación de técnicas de creatividad que permitan llegar a propuestas con un alto componente de novedad, que sean patentables y representen para la empresa un valor diferenciador en el mercado.

Otro objetivo es el de estimular la creación de equipos generadores de ideas (EGI) dentro de las propias empresas, ya no para realizar acciones puntuales, sino como un equipo establecido de funcionamiento continuo (Lloveras, 2001).

2.7 Conclusiones del capítulo

Se ha presentado un panorama global de las tendencias de investigación en ingeniería de diseño. Para ello se partió de la definición conceptual del diseño, con el fin de centrar el tema y aclarar que el significado que se utiliza en esta investigación está más cercano al significado anglosajón tradicional, en el que diseño significa desarrollo completo del producto y no solamente desarrollo de la forma exterior del producto.

Los modelos de diseño se han clasificado en cuatro categorías, es decir, se ha ampliado la presentación tradicional de modelos que se limita a los descriptivos y prescriptivos, agregando los modelos cognitivos, entendiendo la importancia de la participación del individuo diseñador y los modelos computacionales, abriendo el espacio a la integración del ordenador como herramienta de asistencia en el proceso.

Se debe decir que las tendencias tanto en la definición de los modelos, de los cuales solo se ha presentado una muestra, y de las líneas y proyectos de investigación de centros especializados, muestran una incorporación de tres elementos muy importantes: el conocimiento (tanto de cómo diseñar como del objeto a diseñar), la participación en grupos interdisciplinarios y la importancia de la síntesis como etapa determinante del éxito del proceso.

Alrededor de estos tres ingredientes se está trabajando actualmente en la mayoría de las investigaciones a nivel mundial, como una respuesta a la comprensión de la complejidad del proceso de diseño y a la demanda creciente que sociedad hace de productos innovadores. Los efectos de estas investigaciones deben trascender no solo al ámbito productivo sino también al educativo, de manera que las universidades comiencen a integrar aquellos nuevos factores (el humano, el cognitivo, el computacional, la gestión del conocimiento, el trabajo en equipos) dentro de sus esquemas pedagógicos en la enseñanza de la ingeniería.