

# EL DISEÑO DE INGENIERIA Y LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

*Dr. Rafael Bello Pérez*

## RESUMEN

En este artículo se presenta un análisis de la problemática del diseño de ingeniería, su definición, etapas y tipos de diseño. El análisis se realiza desde una perspectiva que permite valorar las posibilidades de empleo de las técnicas de Inteligencia Artificial para la modelación del mismo.

## INTRODUCCIÓN

Fue en el siglo XX cuando se comenzó realmente el trabajo de articular el diseño como un proceso, aunque existen referencias de publicaciones desde la época del Imperio Romano sobre como diseñar. Se reconoce que la actividad de diseño tiene alrededor de 4.000 años; alrededor de 2.000 a.C. Hammurabi, rey de Babilonia enunció una ley sobre el diseño.

Para algunos diseñadores el diseño es una actividad misteriosa no sujeta a examen científico. Sin embargo, en la década de 1960 se iniciaron importantes programas de investigación en esta disciplina. Estos programas fueron fundamentados en las técnicas de investigación de operaciones.

Más recientemente los modelos de procesamiento de la información apoyados en conceptos de la Inteligencia Artificial (IA) han dado un renovado ímpetu a las investigaciones sobre el diseño. Muchas

ideas básicas de la I.A resultan útiles para desarrollar modelos formales de diseño como una actividad.

Los diseñadores constituyen agentes de cambio de la sociedad. Su objetivo es mejorar la condición humana en todos sus aspectos, mediante cambios del entorno físico. El diseño existe porque el mundo que nos rodea no nos resulta totalmente adecuado, y el propósito de los diseñadores es cambiarlo mediante la creación de artefactos. Las investigaciones sobre diseño tienen entre sus objetivos:

- alcanzar una mejor comprensión del diseño,
- desarrollar herramientas para ayudar a los diseñadores,
- lograr la automatización de algunas tareas de diseño.

Esta última ha dado lugar al desarrollo del llamado Diseño Auxiliado por Computadora (Computer-Aided-Design, CAD) y más ampliamente a los sistemas CAD/CAM y CIM.

## LA PROBLEMÁTICA DEL DISEÑO

Usualmente se denomina Diseño a la creación de la representación de un producto, y se habla de CAD cuando se enfatiza el aspecto computacional del proceso de creación. Por ejemplo, el diseño de una pieza mecánica se especifica por su

geometría, más algunas otras propiedades no geométricas, tales como el tipo de material, dureza, etc..

Hay una característica de la ingeniería que distingue al diseño en este campo del diseño en otros dominios. En éstos el diseñador produce el artefacto directamente, mientras que en el diseño de ingeniería el producto final no es generalmente un artefacto sino un conjunto de especificaciones del artefacto.

El proceso de diseñar un producto representa una de las tareas más complejas y creativas dentro de un proceso de producción. Esta es una tarea intelectual basada en las especificaciones de diseño y en un conjunto de restricciones, es decir, diseñar un artefacto que sea un medio para obtener algunas funciones bajo ciertas restricciones. A esto se le denomina diseño ingenieril.

El diseño es una actividad exploratoria. Consiste en establecer correspondencias (mappings) de un espacio de especificaciones de diseño al espacio de equipos o componentes (frecuentemente referido como mappings de comportamientos a estructuras). La determinación de estas correspondencias se realiza por medio de una búsqueda o exploración en el espacio de subensambles posibles de componentes.

La problemática del diseño es formalmente un problema de búsqueda en un gran espacio de objetos que satisfagan restricciones múltiples. Lo que se necesita para hacer un diseño práctico son estrategias que trunquen radicalmente el espacio de búsqueda. Si se analizan las afirmaciones anteriores se concluye rápidamente que existe una correspondencia muy estrecha entre esta caracterización del diseño y el concepto de espacio

de búsqueda y métodos de solución de problemas de la Inteligencia Artificial.

Los diseñadores hacen su labor estableciendo las funciones por ser alcanzadas y produciendo descripciones de artefactos capaces de generar estas funciones. Por eso la actividad de diseño es dirigida por objetivos. El meta objetivo es transformar los requerimientos del artefacto resultante en descripciones de diseño. El resultado de la actividad de diseñar es una descripción de diseño, la cual generalmente es representada gráfica, numérica o textualmente. El propósito de tal descripción es transferir información suficiente sobre el artefacto diseñado de modo que pueda ser manufacturado, fabricado o construido.

Un enfoque del diseño es que este puede ser modelado usando variables y se tienen que tomar decisiones sobre qué valores deben tomar esas variables; pero considerando que el artefacto diseñado tiene que operar en un entorno real, este entorno impone restricciones sobre los valores de las variables. De modo que el diseño podría ser descrito como una actividad de toma de decisiones bajo restricciones, dirigida por un objetivo. De esto se deriva que el método de la IA conocido como satisfacción de restricciones resulta adecuado para este enfoque.

B. Chandrasekaran en «Design Problem Solving: A Task Analysis» (A.I Magazine, Winter 1990) define la actividad del diseño así:

«El problema de diseño se especifica por:

- 1) Un conjunto de funciones que deben ser ofrecidas por el artefacto y un conjunto de restricciones que deben ser satisfechas.

- 2) Una tecnología, es decir, un repertorio de las componentes disponibles y las relaciones entre las componentes.

La solución al problema de diseño consiste de la especificación completa de un conjunto de componentes y sus relaciones, que como un todo describen un artefacto que ofrece las funciones deseadas y satisface las restricciones».

Mientras que C.L. Dym en «A.I. Approaches to Engineering design: Taxonomies and Search prescription, 1990» define el diseño de ingeniería en la forma siguiente:

«El diseño de ingeniería es la generación y evaluación sistemática e inteligente de las especificaciones para los artefactos cuya forma y funcionamiento alcanzan los objetivos planteados y satisfacen las restricciones especificadas».

En la base de esta definición se encuentran los criterios siguientes:

- a. Se puede encontrar una representación exitosa para la forma y el funcionamiento y se puede calcular su interacción.
- b. Se pueden encontrar técnicas de solución de problema para explotar esta representación, para generar y enumerar alternativas de diseño, las que pueden ser traducidas a un conjunto de especificaciones de fabricación.
- c. Se pueden enumerar criterios para evaluar los diseños en términos de la misma representación usada para generar y probar las soluciones de diseño.

En términos generales se pueden plantear tres etapas del proceso de diseño:

- i) Definición de las especificaciones de diseño y de las restricciones.
- ii) Diseño del producto.
- iii) Verificación de la validez del producto.

Las especificaciones de diseño y las restricciones se definen sobre la base de las características del problema y con respecto al entorno en el cual el artefacto operará. Se debe tener cuidado de que las especificaciones de diseño y las restricciones sean completamente válidas.

En la etapa de diseño del producto se pueden diferenciar tres fases:

- i) Diseño conceptual.
- ii) Construcción del producto.
- iii) Detalles del producto.

La fase de diseño conceptual comprende la identificación de las estructuras funcionales y las soluciones esenciales. Esta fase es la que requiere de mayor conocimiento experto, analítico o Heurístico. Las dos fases siguientes, modulación física del producto y elaboración de los detalles de construcción, se ejecutan sobre la base de los conceptos y soluciones esenciales adoptados.

Las tres etapas del proceso de diseño se pueden descomponer en las actividades siguientes:

- a) Descripción de los requerimientos: En la cual los requerimientos identificados se describen o modelan de una manera formal o semiformal.
- b) Descomposición: En la cual los requerimientos y los problemas del diseño se dividen en subproblemas más manejables.
- c) Síntesis: Durante la cual se generan esquemas de diseño y soluciones

posibles. La tarea de síntesis consiste en ensamblar un conjunto de diseños parciales o elementos de diseño primitivos en una configuración que satisfaga claramente unas pocas restricciones y especificaciones claves.

- d) Estrategia de planificación: En la cual se identifican ordenamientos de objetivos de diseños intermedios.
- e) Detalle y parametrización: En la cual las partes de un diseño se trabajan más en detalle para establecer los valores o cotas para los parámetros del diseño.
- f) Análisis: Durante el cual los detalles del diseño propuesto y los valores y cotas de los parámetros se prueban. La tarea de análisis consiste en resolver los cálculos o deducciones necesarias para determinar si la síntesis obtenida satisface al menos las especificaciones y restricciones obvias.
- g) Optimización: Durante la cual las interacciones y relaciones entre las subpartes de un diseño son optimizadas con respecto a criterios globales.

Estas actividades se ejecutan iterativa o recursivamente durante el proceso de exploración del espacio de diseños posibles. Durante la exploración se va acumulando más y más conocimiento sobre las diferentes soluciones de diseño posibles y éstas se van comparando hasta que finalmente se encuentra un diseño aceptable, el que luego es validado. Para la síntesis resulta adecuado emplear el método de la IA conocido como Razonamiento Funcional. Para resolver problemas de planificación existe un número considerable de técnicas de la IA adecuadas que van desde los conocidos STRIPS hasta la planificación basada en casos.

## TIPOS DE DISEÑO

Se puede establecer una clasificación de los tipos de diseño considerando tres grupos: diseño rutinario, diseño innovador y diseño creativo.

En la primera categoría cae el diseño que se realiza seleccionando un producto existente. Éste es válido cuando se tiene un espacio bien definido de diseños potenciales, de modo que todas las variables y sus rangos, así como el conocimiento para calcular sus valores son directamente instanciables a partir de prototipos de diseño existentes. Por eso, el diseño rutinario puede ser visto como un proceso de refinar una instancia de un prototipo. Los prototipos se recuperan y seleccionan y se generan las instancias. Esto significa que se tiene definido el principio de trabajo del artefacto, y la estructura de sus elementos; y su ensamble es el mismo, sólo hay un cambio en la capacidad de trabajo del artefacto.

Un ejemplo de modelo para desarrollar este tipo de sistema es el SIAD. El cual es un paquete que integra un editor de bases de conocimientos, un editor de gráficos y una máquina de inferencia cuyo método de solución de problemas es la búsqueda dirigida por dato.

En el diseño rutinario el espacio de los diseños producidos es substancialmente menor que el espacio de los diseños posibles.

El diseño innovador también se ha denominado diseño de variantes, pues en él se desarrolla el artefacto sobre la base de un modelo físico del producto ya adoptado, donde la nueva variante del producto se obtiene variando diversos parámetros del diseño. En este tipo de diseño se selecciona un principio de trabajo para el artefacto y se

modifica este principio hasta obtener el comportamiento deseado. Esta categoría de diseño se puede ver como un diseño no rutinario que se realiza dentro de un espacio bien definido de diseños potenciales. Lo que distingue este tipo de diseño del rutinario es que los diseños producidos están fuera del espacio normal. Esta distinción se produce por la manipulación de rasgos aplicables por las variables, lo que produce un diseño con una estructura familiar, pero con una nueva apariencia pues los valores de las variables no son familiares.

En el diseño innovador se realiza un refinamiento de prototipos que incluye un proceso de adaptación basado en el conocimiento sobre los valores posibles para los rasgos. El diseño basado en casos es una tecnología para desarrollar este tipo de diseño, en la cual se utiliza el razonamiento por casos como método de solución.

La tercera categoría, el diseño creativo, es esencialmente la creación de un nuevo producto. Se puede definir como un diseño no rutinario que usa nuevas variables para producir nuevos tipos y como resultados extender el espacio de diseños potenciales. En un caso extremo se puede producir un espacio de búsqueda totalmente nuevo, disjunto de los existente hasta ese momento. El diseño creativo tiene la capacidad de producir un cambio en el paradigma existente, pues se genera un artefacto con un principio de funcionamiento nuevo. Se han desarrollado técnicas basadas en la filosofía de la IA orientadas específicamente al diseño, entre las que está el diseño por medio de prototipos.

El diseño creativo puede ser visto como un medio por el cual se adaptan prototipos de diseño para producir nuevos prototipos de

diseño. En raras ocasiones se genera un prototipo de diseño sin precedentes.

## **ESTRUCTURAS DE LAS TAREAS DE DISEÑO**

Los procedimientos y operaciones ejecutados en el diseño y la manufactura de los productos de ingeniería se organizan tradicionalmente de manera secuencial. Una vez identificadas las necesidades y dada la especificación inicial para un producto el proceso comienza con un diseño conceptual o esquemático, seguido por un diseño en detalle. Luego se ejecutan las etapas de planificación de la manufactura, manufactura y prueba. Toda la primera etapa constituye la tarea de diseño, la cual se realiza de la forma siguiente.

Sea una tarea para resolver  $T$  y un método  $M$  sugerido para esta tarea. Un método se puede describir en términos de los operadores que usa, los objetos sobre los que se opera y cualquier conocimiento adicional sobre cómo organizar la aplicación de los operandos para satisfacer el objetivo.

Existen dos clases de Métodos principales. Una es aquella en la que los métodos pueden ser vistos como una búsqueda en un espacio de problemas. En la otra clase los métodos consisten de algoritmos que directamente producen una solución sin necesidad de realizar una búsqueda en un espacio de alternativas. Tales algoritmos están solamente disponibles en los llamados problemas bien estructurados. Sin embargo, la mayoría de los problemas del mundo real son mal estructurados y el papel del conocimiento sobre el dominio es ayudar en la búsqueda en los espacios correspondientes. El diseño cae en esta categoría de problemas y por eso son adecuados los métodos de solución de

problemas de la IA. Además de los métodos antes mencionados son aplicables otros como los sistemas de mantenimiento de la verdad, el refinamiento jerárquico, la prueba heurística, las técnicas de razonamiento espacial, etc.

La tarea de análisis requerida en los problemas de este tipo se realiza recursivamente hasta que se encuentran métodos cuyos operadores sean directamente aplicables.

Se denomina estructura de una tarea a la descripción de la tarea, los métodos propuestos para esta, las subtarear internas y externas, el conocimiento requerido para los métodos y cualquier estrategia de control para los métodos. La estructura de tarea para el diseño se resume en la tabla 1 de «Design Problem Solving: A Task analysis» (R. Chandrasekaran, *AI Magazine* Winter 1990). En ella se definen cuatro tareas principales por adjuntar: diseño, verificación, crítica y modificación.

#### *a) Diseño*

La familia más común de métodos para diseñar se puede caracterizar como métodos de proponer-criticar-modificar. Estos métodos tienen las subtarear de proponer soluciones de diseño parciales o completas, verificar las soluciones propuestas, criticarlas identificando las causas de las fallas que puedan aparecer, y modificar las propuestas para satisfacer los objetivos de diseño. Lo anterior se puede formalizar en el método siguiente:

P1: Dado el objetivo del diseño, proponer la solución. Si no hay propuesta, terminar con "falla".

P2: Verificar la propuesta. Si es válida, terminar con «éxito».

P3: Si no es exitosa, criticar la propuesta identificando las fuentes de la falla. Si no es útil el mecanismo de crítica disponible, terminar con "falla".

P4: Modificar la propuesta y retornar a P2.

En el paso 1, al proponer la solución, es donde se usa la mayoría del conocimiento de diseño para establecer la correspondencia (map) de parte o de todas las especificaciones de diseño con una propuesta de solución parcial o completa. Se identifican tres grupos de métodos de la IA para proponer soluciones: descomposición de la solución, recuperación de casos y satisfacción de restricciones.

En el primer grupo el conocimiento del dominio se usa para hacer corresponder subconjuntos de las especificaciones de diseño con un conjunto de problemas de diseño menores. El segundo grupo da lugar a los sistemas para el diseño basado en casos. El tercero es la familia de métodos que resuelven el problema de diseño como un problema de satisfacción de restricciones. Los métodos del primer y segundo grupo ayudan a reducir el tamaño del espacio de búsqueda porque el conocimiento que ellos usan puede ser visto como la compilación de búsquedas anteriores en el espacio de diseño.

Posteriormente se estudiarán estos métodos de proponer soluciones.

#### *b) Verificación*

La verificación consiste en comprobar que el diseño propuesto satisface la especificaciones funcionales y otros tipos. Hay dos familias de métodos para esta subtarea: directos y por simulación.

En los métodos directos los atributos de interés se pueden calcular directamente por

medio de fórmulas o algoritmos, por ejemplo el cálculo del peso, del costo o el cálculo por el método de los elementos finitos de la distribución del esfuerzo.

En la simulación se toma una descripción de la estructura del sistema como entrada y se genera un comportamiento como salida. Un diseño propuesto puede ser simulado bajo diferentes condiciones de entrada. La simulación visual del artefacto es empleada ampliamente por los diseñadores como un medio de verificación. En este caso se tiene una representación gráfica del artefacto, lo que es procedente en dominios como la arquitectura y la mecánica.

Otras variantes son la simulación cualitativa y la cuantitativa. En la simulación cualitativa se tiene una descripción estructural del artefacto junto a descripciones cualitativas del comportamiento de los componentes y reglas que imitan la operación del equipo. La simulación cuantitativa usa ecuaciones que directamente describen los resultados de la composición de los componentes que forman la estructura.

Las técnicas de inteligencia artificial son de interés para verificación por simulación.

#### *c) Crítica*

La crítica es la subtarea en que se analizan las causas de las fallas del diseño. En ella se identifican partes de la estructura como potencialmente responsables del comportamiento inaceptable del artefacto o de la violación de una restricción. Es decir, es un problema de diagnóstico.

Lo que se necesita para realizar la crítica es información sobre cómo la estructura del equipo contribuye al comportamiento deseado. Métodos de la Inteligencia Artificial usados para realizar el análisis crítico son el

análisis de dependencias y el diagnóstico basado en casos.

#### *d) Modificación*

En la subtarea de modificación del diseño se utiliza la información sobre las fallas de un diseño candidato y el propósito es cambiarlo para hacerlo corresponder con las especificaciones. Básicamente la modificación consiste en cambiar una subparte funcional del diseño propuesto o añadir componentes para satisfacer las especificaciones. Entre las técnicas de la inteligencia artificial aplicables para ejecutar la modificación de un diseño están el razonamiento por diferencias, el método hill-climbing, razonamiento por analogía, y otras técnicas de adaptación de los sistemas basados en casos.

## **CONCLUSIONES**

El análisis realizado de diversas definiciones del diseño de ingeniería muestra que la tarea de diseñar es un proceso no estructurado al que le es intrínseca una exploración y búsqueda; estas características son las que lo hacen un dominio en el que la inteligencia artificial resulta muy adecuada para resolver sus problemas.

El análisis realizado muestra diversos aspectos del diseño de ingeniería que pueden ser modelados y resueltos usando técnicas de Inteligencia Artificial. Un resumen de estos es el siguiente:

- Como el diseño es formalmente un problema de búsqueda que necesita de estrategias que permitan truncar el espacio de búsqueda, entonces existe una plena correspondencia con el tipo de problemas para el que se han desarrollado los métodos de solución de problemas de la inteligencia artificial.

- El diseño se puede describir como una actividad de toma de decisiones bajo restricciones dirigida por objetivo, luego es aplicable el método conocido como satisfacción de restricciones.
- La síntesis es una actividad del proceso de diseño y según su definición resulta apropiado el método de solución conocido como razonamiento funcional.
- En el proceso de diseño resulta necesaria una estrategia de planificación para hallar el orden apropiado en el que se traten los objetivos de diseño; para esto son aplicables todos los métodos de «planning» de la IA (STRIPS, planificación basada en casos, etc.).
- El diseño rutinario se puede modelar mediante sistemas basados en el conocimiento como sistemas basados en reglas, sistemas basados en frames o la combinación de ambos, por ejemplo, el SIAD.
- El diseño innovador se puede modelar mediante sistemas basados en casos.
- El método más común para diseñar se conoce como proponer- criticar-modificar. Para proponer soluciones se pueden utilizar técnicas de la IA: descomposición de soluciones, recuperación de casos y satisfacción de restricciones.
- Criticar es realizar un diagnóstico y por lo tanto son útiles todos los métodos de la IA para tareas de diagnóstico, tales como sistemas basados en reglas, análisis de dependencias y diagnóstico basado en casos.
- La modificación se puede realizar mediante el razonamiento por diferencias, el método hill-climbing, el razonamiento por analogía y otras técnicas de adaptación de los sistemas basados en casos.
- Para la verificación de los diseños son apropiadas las técnicas de simulación basadas en la IA.

## BIBLIOGRAFIA

BELLO, P.R., L.D. Galvez, L.M. García y H.G. Sánchez. A knowledge representation form for mechanical engineering. Knowledge-based systems, vol. 7, sept. 1994.

BLUMENTAL, B. y B.N. Porter. Analysis and empirical studies of derivational analogy. Artificial Intelligence 67 (1994) 287-327.

BROWN, K.N. y otros. Conceptual geometry reasoning by the manipulation of models based on prototypes. Artificial Intelligence for engineering design, analysis and manufacturing (1995), 9, 367-385.

BOWEN, J. Automated configuration using a functional reasoning approach. Artificial Intelligence and It's applications, Editado por A.G. Cohn y J.R. Thomas. John Wiley & Sons, 1986.

COYNE, R.D. Design reasoning without explanations. AI Magazine, Winter 1990.

CHANDRASEKARAN, B. Design problem solving: a task analysis. AI Magazine, Winter 1990.

D'Ambrosio, J.G. y W.P. Birmingham. Preference-directed design. Artificial Intelligence for engineering design, analysis and manufacturing (1995), 9, 219-230.

DYM, C. L. y R.E. LEVITT. Knowledge-based system in engineering. McGraw Hill, 1991.

GERO, J.S. Design prototypes: A knowledge representation schema for design. AI Magazine, Winter 1990.

HATVANY, J. Available and missing AI-tools. Annals of the CIRP, vol. 35/2/1986.

HINKLE, D. y Ch. TOOMEY. Applying CBR to manufacturing. AI Magazine, Spring 1995.

KIMURA, F. y H. SUZUKI. Variational product design by constraint propagation and satisfaction in product modelling. Annals of the CIRP, vol. 35/1/1986.

KOLODNER, J.L. An introduction to Case-based reasoning. Artificial Intelligent Review 6, 3-34, 1992.

MARKUS, A. y otros. Matching AI tools to engineering requirements. Annals of the CIRP, vol. 36/1/1987.

POPPELSTONE, R. y otros. Engineering design support systems. 1st Conference on Applications of Artificial Intelligence, Southampton, 1986.

RUSSELL, S. y P. NORVIG. Artificial Intelligent a Modern Approach. Prentice Hall, 1995.

SLADE, S. Case-based reasoning: a research paradigm. AI Magazine, Spring 1991.

SMITHERS, T. AI-based design vs Geometry-based design. DAI discussion paper No. 53, Dept. of Artificial Intelligence, University of Edinburgh, Edinburgh, november 1987.