

## DESIGN AND DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL PRODUCTS COMPUTER AIDED USING AXIOMATIC DESIGN AND TECHNOLOGY OF INTELLIGENT AGENTS

Ávila Gutiérrez, María Jesús; Aguayo González, Francisco; Lama Ruiz, Juan Ramón; Peralta Alvarez, María Estela

Universidad de Sevilla

The purpose of this work consists in performing extensive research on methodologies for design and development of products computer aided .

Specifically Axiomatic Design methodology will be developed.

In parallel , we will review the literature about computational models that support some design tasks interactively, allowing the steps by which design alternatives composed during the process of design and product development are guided by the designer, approaching more to the characteristics of the creative design process. This computer model will focus on Intelligent Agents Technology.

Finally, we will try to propose a model to support design and development of products using the methodology of Axiomatic Design and Technology of Intelligent Agents.

**Keywords:** *Design and development process of products; Axiomatic design; Intelligent Agent; Holonic Paradigm*

## DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS INDUSTRIALES ASISTIDO POR ORDENADOR USANDO DISEÑO AXIOMÁTICO Y TECNOLOGÍA DE AGENTES INTELIGENTES

El objeto de este trabajo consiste en la realización de una investigación extensa sobre metodologías de diseño y desarrollo de productos asistido por ordenador.

En concreto se desarrollará la metodología de Diseño Axiomático.

De forma paralela, se realizará una revisión bibliográfica sobre modelos computacionales que soporte algunas tareas del diseño de forma interactiva, permitiendo que los pasos por los que se forman las alternativas de diseño durante el proceso de diseño y desarrollo del producto estén guiados por el diseñador, aproximándose en mayor medida a las características de los procesos creativos de diseño. Este modelo computacional se centrará en la Tecnología de Agentes Inteligentes.

Finalmente, se intentará proponer un modelo de soporte al diseño y desarrollo de productos mediante la metodología de Diseño Axiomático y la Tecnología de Agentes Inteligentes.

**Palabras clave:** *Proceso de diseño y desarrollo de productos; Diseño axiomático; Agentes inteligentes; Paradigma holónico*

Correspondencia: [mavila@us.es](mailto:mavila@us.es)

## 1. Introducción

En los últimos 20 años, los modelos computacionales han logrado reducir el tiempo necesario para el diseño y desarrollo de productos por medio de las herramientas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD). Los avances en el campo de los modelos computacionales han proporcionado nuevos métodos y modelos para soportar automáticamente las tareas rutinarias del proceso de diseño, así como soportar de forma semiautomática otras tareas en las que interviene la creatividad.

Muchas de estas herramientas utilizan principios del campo de la psicología y de la inteligencia artificial en sus algoritmos, pues se cree que estos principios ayudan a reproducir la capacidad humana de intuición, creatividad, análisis y síntesis para resolver los problemas de diseño. Sin embargo, a pesar de las técnicas propuestas para automatizar el proceso de diseño, éstas han tenido poca aceptación por parte de los diseñadores. Este inconveniente se debe a la dificultad de reproducir las condiciones normales de un proceso de diseño, pero quienes están a favor de este modelo, argumentan que la intervención humana es fundamental para ayudar a formar nuevas ideas y conceptos más creativos.

Dentro de este contexto, es necesario definir modelos de soporte de diseño interactivos, que permitan que el proceso de diseño esté regido por el diseñador en mayor medida.

## 2. Objetivos

El objeto de este trabajo consiste en la realización de una investigación sobre metodologías de diseño y desarrollo de productos asistido por ordenador, en concreto se desarrollará la metodología de Diseño Axiomático.

De forma paralela, se realizará una revisión bibliográfica sobre modelos computacionales que soporte algunas tareas del diseño de forma interactiva, permitiendo que los pasos por los que se forman las alternativas de diseño durante el proceso de diseño y desarrollo del producto estén guiados por el diseñador, aproximándose en mayor medida a las características de los procesos creativos de diseño. Este modelo computacional se centrará en la Tecnología de Agentes Inteligentes.

Una vez realizadas ambas revisiones bibliográficas tanto de las metodologías de diseño como de los modelos computacionales, se intentará proponer un modelo de soporte al diseño y desarrollo de productos mediante la metodología de Diseño Axiomático y la Tecnología de Agentes Inteligentes.

El beneficio potencial de este modelo, es que se logre disminuir el tiempo de obtención de nuevos productos mediante una metodología estructurada soportada por un modelo computacional y compatible con las habilidades y aptitudes que soportan la creatividad del diseñador.

## 3. Proceso de diseño y desarrollo de productos industriales (PDDPI)

El modelo de proceso de diseño constituye una guía que muestra el recorrido que el producto debe transitar a lo largo de su diseño, normalmente abarcando desde la detección de necesidades hasta la obtención del producto final para su comercialización. Está organizado en términos de fases de trabajo, que persiguen objetivos específicos. Conjuga instancias de mayor libertad creativa junto con otras de implementación y control.

En todos los modelos, las fases pretenden delimitar las fronteras del diseño. Pero en ocasiones estas fronteras resultan difusas. Por ejemplo, a veces puede ser necesario determinar algunas propiedades de material durante la fase de diseño conceptual, o aspectos detallados de fabricación durante el diseño de materialización [Palh & Beitz, 1996].

Desde el punto de vista de cómo se llevan a cabo las fases para avanzar en el diseño, los modelos citados proponen diferentes métodos de ejecución. Por ejemplo, el modelo de Pugh (1990) propone que las fases se ejecuten de forma secuencial, mientras los modelos de Pahl & Beitz (1996) y de Ullman (1992) proponen que las fases se ejecuten de forma secuencial pero realizando iteraciones entre ellas.

Considerando la aproximación sistemática de Pahl & Beitz (1996) junto con la analogía de fases propuesta por Farias (2006), las fases del proceso de diseño se pueden agrupar en: ideación, diseño conceptual, diseño de detalle, verificación y prueba, producción, lanzamiento y disposición final.

**Figura 1. Fases del PDDPI**



#### 4. Metodologías revisadas

Para poder establecer una metodología que explique de forma detallada todas las fases que el diseñador estudia sobre el producto desde que es concebido como idea hasta que finalmente es lanzado al mercado, se va a realizar una revisión de diferentes metodologías tanto de diseño como de diseño asistido por ordenador para tener una visión de cuál es la más apropiada para extraer y formalizar la mayor cantidad de información de cada una de las fases del PDDPI.

##### 4.1. Metodología QFD

La metodología QFD, es una metodología de diseño que se encarga de medir la calidad del producto y de su proceso. QFD es el acrónimo de Quality Function Deployment o despliegue de la función de calidad [Akao & Yoji, 1997].

Con esta técnica no solo garantizamos la calidad del producto y del proceso, sino que además garantizamos integridad mediante métodos-herramientas y procedimientos.

Para que un proceso sea integrado, en cada etapa tenemos que desplegar una serie de tareas. Es vital asegurar la integridad ya que de ésta depende la calidad. No se trata de que cada tarea resuelva un problema, sino que el conjunto global de actividades responda satisfactoriamente.

Esta técnica posibilita un seguimiento de todo el proceso de diseño y desarrollo mediante un encadenamiento de especificaciones y soluciones.

##### 4.2. Metodología AHP de Thomas Saaty

La metodología AHP (Analytical Hierarchical Process) fue desarrollada por Thomas Saaty (1980), quien a partir de sus investigaciones en el campo militar y su experiencia docente formuló una herramienta sencilla para ayudar a las personas responsables de la toma de decisiones.

El AHP es una metodología para estructurar, medir y sintetizar. Es un método matemático creado para evaluar alternativas cuando se tienen en consideración varios criterios y está basado en el principio que la experiencia y el conocimiento de los actores son tan importantes como los datos utilizados en el proceso.

Utiliza comparaciones entre pares de elementos, construyendo matrices a partir de estas comparaciones, y usando elementos del álgebra matricial para establecer prioridades entre los elementos de un nivel, con respecto a un elemento del mismo nivel superior. Cuando las prioridades de los elementos en cada nivel se tienen definidas, se agregan para obtener las prioridades globales frente al objetivo principal. Los resultados frente a las alternativas se convierten entonces en un importante elemento de soporte para quien debe tomar la decisión.

### 4.3. Metodología de diseño holónico

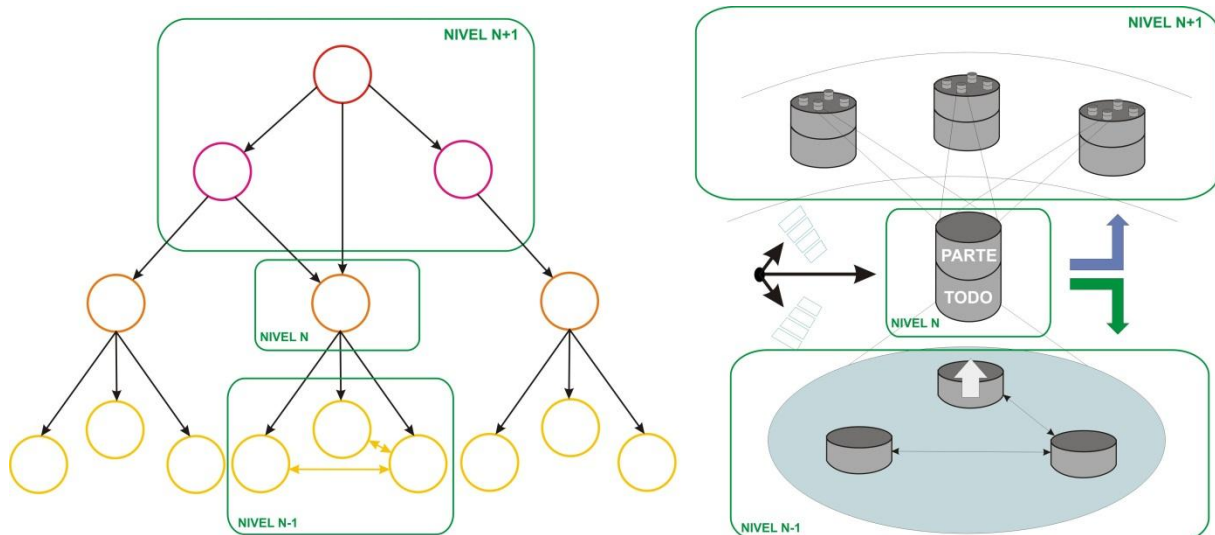
El diseño holónico se basa en los conceptos de holones y holarquías (Figura 2) y en la forma en que estos actúan en diferentes dominios tanto de colaboración (holón como parte) como de cooperación (holón como todo) [Koestler, 1967].

Todo holón queda caracterizado mediante un conjunto de propiedades [Aguayo, 2007] y las holarquías o conjuntos de holones se estructuran en tres niveles:

- **Holarquía de nivel N+1:** define DOMINIO COLABORATIVO y los requerimientos holónicos.
- **Holarquía de nivel N-1:** define DOMINIO COOPERATIVO y la competencia o capacidades holónicas.
- **Holón de nivel N:** actúa como interface de adaptación de la variedad holónica entre los niveles n-1 y n+1.

Está dotado de mecanismos de AUTO/REGULACION: validación, verificación y estrategias de control hacia arriba y hacia abajo.

Figura 2. Carácter fractal de la holarquía y modelo para su análisis



### 4.4. Metodología de diseño axiomático

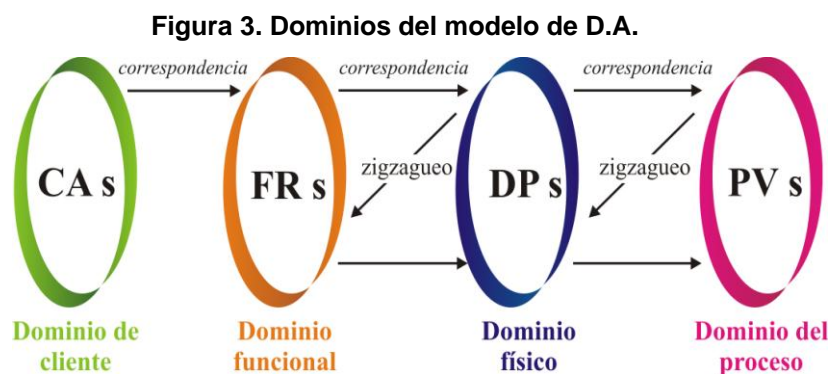
El diseño axiomático constituye una propuesta general para análisis y síntesis de diseño desarrollado por el profesor Nam P. Suh del MIT a mediados de los años 70 para mejorar

las actividades de diseño, proporcionando una fundamentación teórica basada en la lógica y el raciocinio a través de herramientas y procesos, con el objeto de minimizar el proceso de prueba y error, reduce el tiempo de ciclo de desarrollo y mejora la calidad y la confiabilidad [Suh, 1990].

El diseño axiomático puede definirse como una metodología de diseño de sistemas, identificando los requerimientos funcionales, determinando los posibles parámetros de diseño y variables de proceso e integrándolos en un sistema. La herramienta para estudiar las relaciones entre los diferentes requerimientos y parámetros se representa por matrices.

Entre los aspectos relevantes de la metodología se encuentran los axiomas, corolarios y teoremas, el método de zigzaguo para el desarrollo de la arquitectura del sistema, y la identificación de debilidades de diseño, vulnerabilidades representadas por acoplamientos o sean interacciones en los parámetros de diseño necesarios para cubrir los requerimientos.

El Diseño Axiomático se compone principalmente de cuatro dominios:



- El **dominio del cliente** está caracterizado por las necesidades que el cliente está buscando de un determinado producto, proceso, sistema o material. Estas necesidades se representan mediante los atributos del cliente (Customer Attributes, CAs).
- En el **dominio funcional** se define los requerimientos funcionales del producto (Functional Requirements, FRs) y se identifican las restricciones (Constraints, Cs). Los requerimientos funcionales representan el conjunto de funciones que el producto tiene que satisfacer. Las restricciones actúan modificando a los requerimientos funcionales, delimitando así las fronteras de las posibles soluciones de diseño.
- En el **dominio físico** se definen los parámetros de diseño (Design Parameters, DPs) que hay que definir para satisfacer los requerimientos funcionales y las restricciones aplicadas a cada uno de ellos. Los parámetros de diseño se refieren a soluciones generales, propiedades del material y propiedades de forma que materializan el diseño [Oosterman, 2001].
- Finalmente, en el **dominio de procesos** hay que definir las variables del proceso (Process Variables, PVs). Las variables del proceso (PVs) se definen como las variables claves que caracterizan el proceso que hay que desarrollar para obtener los DPs definidos en el dominio físico.

#### 4.5. Tecnologías de apoyo asistido por ordenador para el diseño y desarrollo de productos

Las aplicaciones informáticas pueden llegar a cubrir todas las áreas del proceso de desarrollo del producto, desde herramientas de investigación de necesidades de clientes hasta herramientas de planificación y control de la producción, incluyendo también las

comunicaciones entre ellas. Básicamente, la aplicación y el desarrollo de software (o aplicaciones) contemplan:

1. La adquisición y/o desarrollo de programas para el diseño, la ingeniería de producto y la ingeniería de fabricación.
2. La adquisición y/o desarrollo de programas para la gestión e integración de todos los procesos, y para facilitar comunicación entre diferentes ordenadores, programas y localizaciones.

Así, para el desarrollo de productos, existen diversas herramientas de última generación que ayudan al diseño en ingeniería desde distintos aspectos de su ciclo de vida, pudiendo simplificar las etapas de diseño y cálculo. Estas herramientas se conocen como CAI (Computer Aided innovation) y es un dominio emergente en las tecnologías CAD [Leon, 2009]. De la misma forma existen herramientas para la gestión de toda la información generada [Tate&Nordlund, 1996] y para comunicar a las áreas de formas muy variadas, permitiendo la transparencia total de datos y asistiendo, a diferentes niveles y necesidades, al diseñador. En este caso, la ingeniería concurrente es de vital importancia y genera grandes beneficios. En este ámbito, existe una gran variedad de herramientas de ingeniería concurrente centralizadas en las tecnologías de la información tales como el diseño asistido por ordenador o los sistemas expertos multiagente entre otros [Sapuan et al, 2006],[Fantoni et al, 2006].

## **5. Modelo propuesto de PDDPI en diseño axiomático**

Tras las metodologías revisadas, se ha considerado que las dos que mejor pueden ayudar al diseñador a realizar el seguimiento de la información a través del proceso de diseño y desarrollo del producto, es el Diseño Axiomático y la metodología de diseño Holónico. Para ello se va a realizar distintas propuestas de mejora de estas metodologías entre las que se plantean:

- Propuesta para definir y formalizar los datos de diseño.
- Propuesta de modelo de la información.
- Propuesta para integrar las metodologías de diseño axiomático y holónico.

### **5.1. Propuesta para la definición y formalización de datos de diseño**

Como se ha visto en apartados anteriores, la metodología de diseño axiomático es una metodología de sistemas que estructura los conceptos clave que se emplean desde la identificación de necesidades, pasando por la identificación de los requerimientos funcionales, determinación de los posibles parámetros de diseño y variables de proceso e integrándolos en un sistema.

Se ha estudiado por tanto una serie de etapas que nos puedan ayudar a formalizar la información en cada una de las fases de DDPI. Las etapas definidas se pueden apreciar en la Figura 4.

Figura 4. Etapas del modelo de D.A.



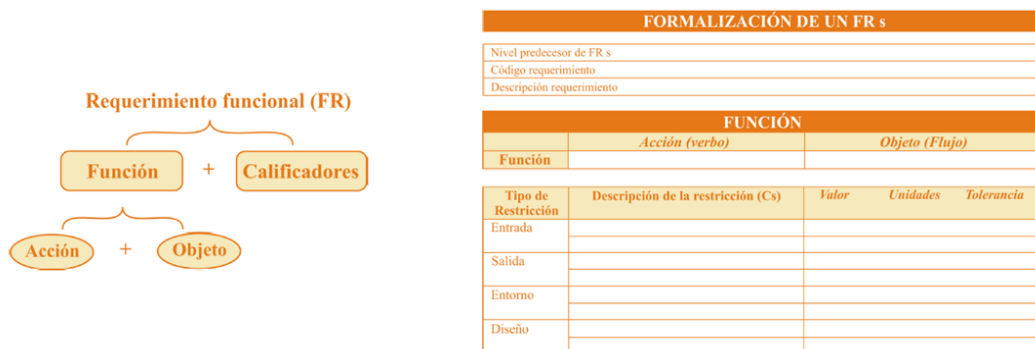
**Etapa 1. Definir y formalizar los requerimientos funcionales (FRs)**

Los requerimientos de producto deben estar estructurados de modo que se pueda diferenciar claramente: las funciones, las restricciones asociadas a las funciones y las restricciones de diseño. En el caso que la información no esté estructurada se propone utilizar la metodología propuesta por Otto para diferenciar esta información partiendo de los requerimientos de producto.

Para definir los requerimientos funcionales (FRs) se ha planteado la estructura que tiene que tener un requerimiento funcional (FR). Esta estructura refleja toda la información que tiene que contener un FR, y que por ello se tiene que definir. Para formalizar y representar los requerimientos funcionales se ha propuesto una matriz que permite explicitar y documentar toda la información asociada a cada uno de ellos.

La estructura de los requerimientos funcionales se obtiene de adaptar la estructura de los requerimientos funcionales para el diseño de utillajes, propuesta por Hunter [Hunter et al, 2006] al diseño de productos. La estructura resultante se expone en la Figura 5.

Figura 5. Definición y formalización de un Requerimiento Funcional (FRs)



Considerando toda la información que puede ir asociada a los requerimientos funcionales (FRs), se propone una matriz para su formalización en la Figura 4.

El objetivo de esta matriz es almacenar y documentar de forma explícita y completa toda la información asociada a cada FR. La matriz contiene el código y la descripción del

requerimiento funcional, y toda la información que puede ir asociada a dicho requerimiento debidamente formalizada.

La información para completar esta matriz se obtiene tras identificar todos los elementos de la estructura que se ha propuesto para definir los requerimientos funcionales (FRs). Los valores de las restricciones deben añadirse en la medida que estén disponible, pues los valores de las restricciones se refinan y se definen en la medida que el diseño avanza [Hunter et al, 2006].

### Etapa 2. Identificar los parámetros de diseño (DPs)

Cuando los requerimientos funcionales están formalizados y documentados, la siguiente etapa consiste en identificar los parámetros de diseño (DPs) que hay que definir para satisfacerlos. No obstante, en el diseño, primero se identifican las estructuras físicas del producto y posteriormente se determinan los parámetros de diseño (DPs) que satisfacen los requerimientos funcionales de dichas estructuras.

Identificar las estructuras físicas de producto es un paso indispensable en el diseño del producto para configurar su arquitectura [Otto & Wood, 2001].

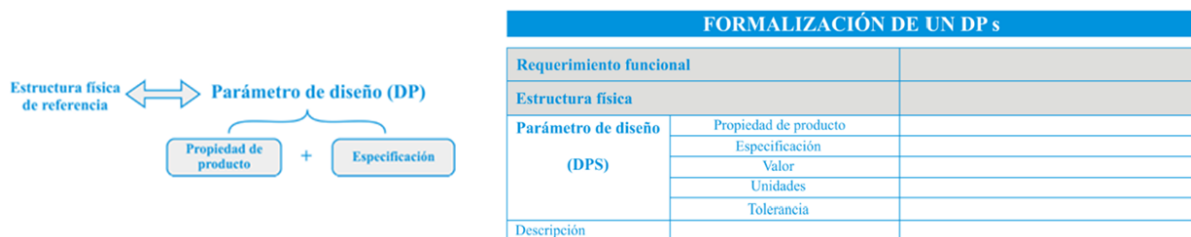
Para identificar estos parámetros de diseño (DPs) se pueden utilizar los métodos de búsqueda de soluciones tradicionales propuestos por las metodologías de diseño. Como pueden ser: búsqueda literaria, lluvia de ideas (brainstorming), analogía, estudio de procesos físicos o método morfológico, TRIZ (teoría de resolución de problemas inventivos).

### Etapa 3. Definir y formalizar los Parámetros de Diseño (DPs)

Durante la identificación de los parámetros de diseño (DPs), la información debe ser definida y formalizada. Para definir los parámetros de diseño (DPs) se ha propuesto la estructura que tiene que tener un parámetro de diseño (DP). La estructura refleja toda la información que este tiene que contener, y que por ello se tiene que definir [Van Wie, 2003].

Para formalizar y documentar estos parámetros de diseño (DPs) se ha proporcionado una matriz que permite explicitar y documentar la información asociada a cada una de ellos. Además, en esta matriz también se debe documentar la información más relevante que se deriva de la relación con el requerimiento funcional al cual satisface.

**Figura 6. Definición y formalización de un Parámetro de Diseño (DPs)**



### Etapa 4. Seleccionar los procesos de Fabricación.

La primera etapa antes de iniciar el dominio de proceso es elegir el proceso de fabricación que se pretende estudiar. La decisión sobre el proceso de estudio puede estar impulsada por dos razones.

1. La primera, porque es un proceso técnicamente viable para el diseño que se está desarrollando. Es decir, el resultado obtenido después de haber hecho una selección preliminar de los procesos de fabricación, partiendo de los requerimientos de producto.



- La segunda, por el interés que puede tener el diseñador en capturar y formalizar la información de un determinado proceso para la posterior fabricación del producto. Este interés puede ser impulsado: porque es un proceso que se usa normalmente para un determinado componente, porque es un proceso que existe en su entorno o porque es un proceso totalmente desconocido. Pero en cualquier caso, es un proceso de fabricación que puede tener interés en un futuro.

Partiendo del proceso elegido, el objetivo es capturar y formalizar la información necesaria del proceso que debería estar disponible en el diseño. Esta información de proceso corresponde principalmente con las variables del proceso (PVs) que pueden afectar a los parámetros de diseño (DPs) [Lovatt, 1998].

### Etapa 5. Identificar las variables del proceso para cada parámetro de diseño.

Tomando los parámetros de diseño (DPs) definidos y formalizados en el dominio físico, en esta etapa hay que identificar las variables del proceso de estudio (PVs) que pueden afectar para obtener dichos DPs.

Un primer paso indispensable para llevar a cabo esta etapa es adquirir conocimiento del proceso de fabricación que se está estudiando. Este conocimiento puede provenir de la propia experiencia del diseñador, de expertos de fabricación, de documentación o prácticas internas, o de literatura especializada en dicho proceso.

Cuando el conocimiento sobre el proceso ya ha sido adquirido, un segundo paso es analizar los parámetros de diseño (DPs) que pueden estar afectados por el proceso de fabricación. El resultado de ello será una lista de DPs afectados por el proceso de fabricación. Los DPs que no están afectados quedan excluidos de la metodología.

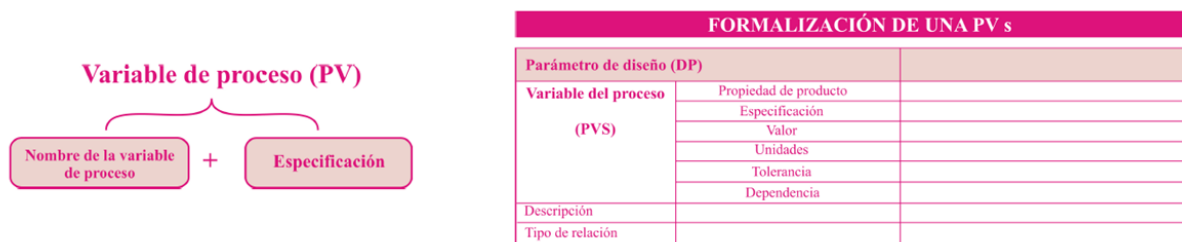
Disponiendo de la lista de DPs afectados, ya se puede iniciar la búsqueda de las variables del proceso (PVs).

### Etapa 6. Definir y formalizar las variables del proceso (VPs)

La matriz de formalización permite expresar de forma explícita la información de la variable del proceso (PV) que puede afectar para obtener el parámetro de diseño (DP).

Esta matriz es específica para cada PV, e incluye el parámetro de diseño (DP) al cual puede afectar y la formalización de la información asociada al mismo, Figura 7.

Figura 7. Definición y formalización de una Variable del Procesos (PVs)



### 5.2. Relación entre dominios y niveles jerárquicos

El diseño Axiomático se compone de varios dominios los cuales tienen relación.

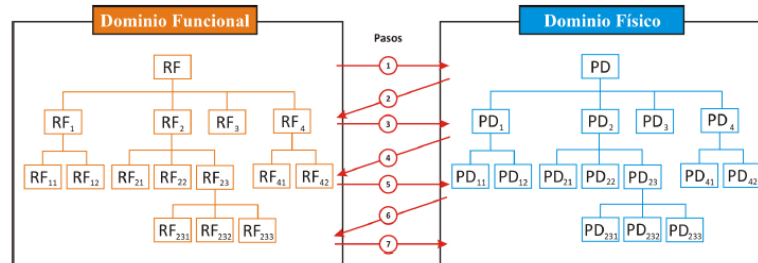
Si consideramos el dominio funcional y el físico, ambos dominios se influyen mutuamente de la siguiente forma:

- Los DPs de un nivel se determinan a partir de los FRs del mismo nivel, y que son definidos previamente.

- Los FRs de un nivel están determinados a partir de los DPs del nivel anterior.

Estas dos características provocan que tanto el dominio Funcional como el dominio Físico se deben ir componiendo conjuntamente en forma de zigzag.

**Figura 8. Relación entre dominios**



Esta composición debe regirse por los **dos axiomas**:

- **Axioma 1. Independencia Funcional.** Un diseño debe mantener la independencia de los FRs bajo todas las condiciones de operación.
- **Axioma 2. Axioma de información.** El mejor diseño es aquel que satisface los FRs con la menor complejidad posible.

En el modelo propuesto, la relación de dominios se irá construyendo de forma que contemple los dos axiomas anteriores.

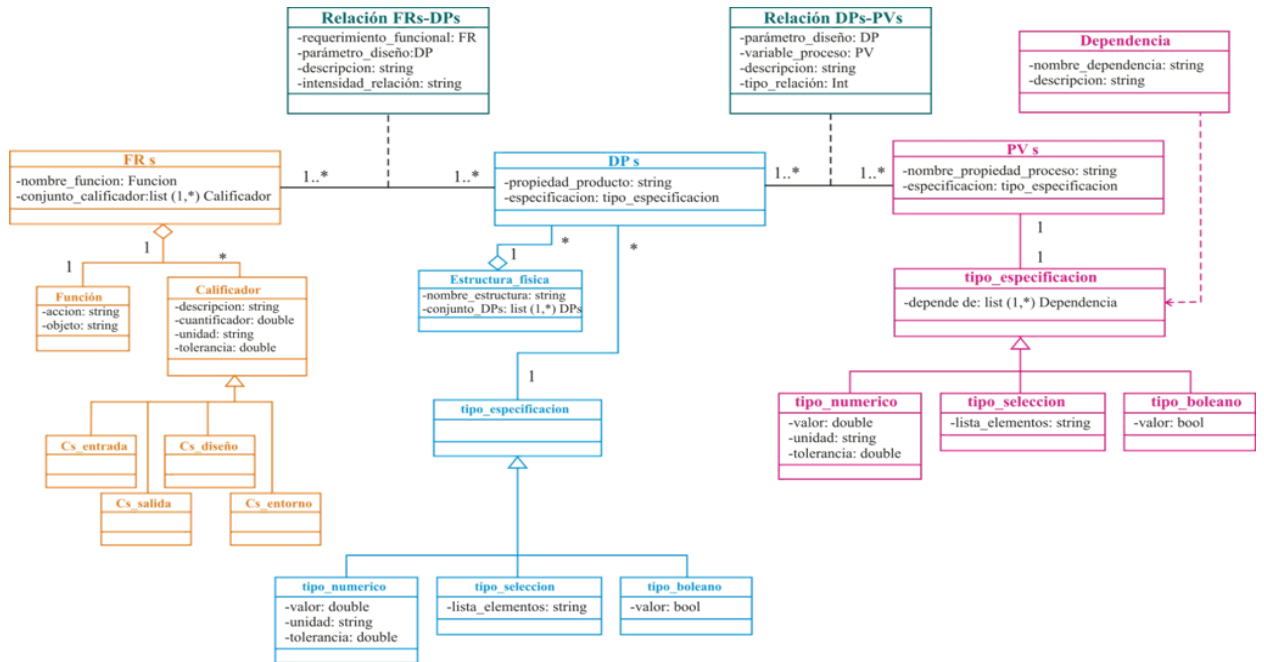
### 5.3. Modelo propuesto de información

Se ha planteado proponer un prototipo de modelo de información que recoja toda la información que el diseñador va a ir generando en cada una de las fases del proceso de diseño y desarrollo de producto. Dicha información mapeada se implementará en los agentes inteligentes que serán propuestos. Estos agentes contendrán la estructura de los datos para desarrollar una aplicación que permita:

1. Asistir al diseñador en el proceso de diseño, en la definición y formalización de la información (funciones y parámetros de diseño),
2. Asistir al diseñador para capturar y formalizar la información necesaria de los procesos que debería estar disponible para dicho diseño.

El modelo de información se ha definido mediante el Lenguaje de Modelado Unificado (UML) y se ha basado en el modelo de dominio (Figura 9). Un modelo de dominio es una representación visual de las clases conceptuales u objetos del mundo real en un ámbito de interés [Larman, 2004]. Este tipo de modelo permite diseñar los objetos software básico para el diseño de la aplicación.

Figura 9. Modelo de información



## 6. Modelo propuesto de integración de diseño axiomático y diseño holónico.

La elección del Diseño Axiomático como una estrategia de diseño de soporte en este trabajo, obedece a que es una teoría que presenta una forma analítica de calificar la salida de una propuesta de diseño y que mantiene una estructura uniforme en todo el proceso de diseño basado en el cumplimiento de dos axiomas.

Después de revisar las diferentes metodologías se ha detectado que el modelo de Diseño Holónico sirve para implementar la metodología del Diseño Axiomático tradicional. Esta elección se debe entre otros motivos a que es un modelo que, al igual que la teoría de Diseño Axiomático, se orienta a la solución de problemas de sistemas complejos.

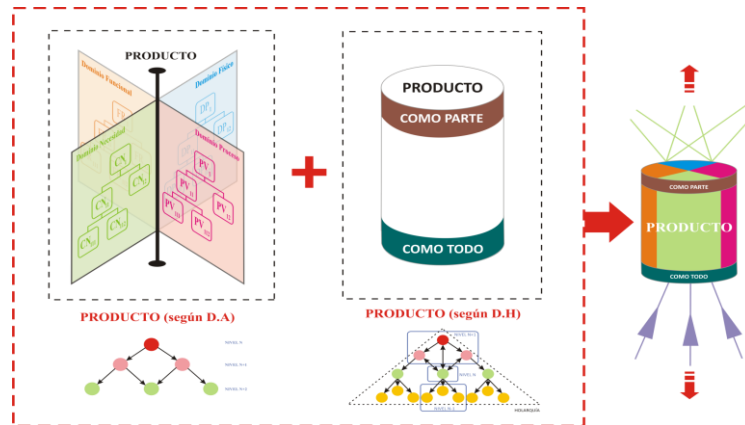
La conjunción de estas dos propuestas nos permitirá un diseño y desarrollo del producto de forma integrada y buscará suplir las carencias que presentarían cada una de ellas por separado.

Una de las carencias que plantea el Diseño Axiomático desde el punto de vista de su estructuración es la jerarquización de la información de modo que solo desarrolla dicha información desde un nivel superior a sus inmediatos inferiores. El diseño Holónico sin embargo aportaría la idea de que el sentido de la información puede ir tanto hacia niveles inferiores como superiores, favoreciendo una estructura de tipo red.

El modelo propuesto de diseño de producto involucra en forma sinérgica el Diseño Axiomático y el modelo de diseño Holónico como puede verse en la Figura 10.

También, se provee un análisis del desempeño de equipos multidisciplinares y se sugiere algunas características de composición de este tipo de equipos de diseño.

**Figura 10. Modelo de Diseño Axiomático + Diseño Holónico**



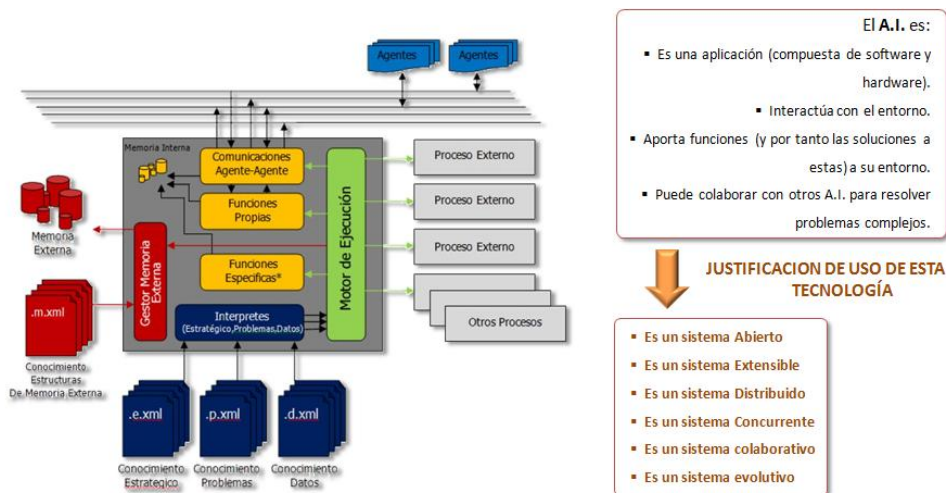
## 7. Protomodelo de sistema de agentes inteligentes

En las tecnologías de apoyo asistido por ordenador que se mencionan en el apartado 4.5, se puede apreciar que la tecnología de agentes es una de las herramientas que puede servir de apoyo al diseñador en las diferentes etapas del PDDPI. Existe poca información sobre la exploración interdisciplinaria entre la ingeniería del diseño y los sistemas multiagente. Entre la documentación más destacadas podemos encontrar a Shakeri (1998) que plantea un estudio sobre diferentes metodologías de diseño para la integración de los problemas de diseño multi-disciplinarios.

De esta manera, se plantea proponer un modelo de ingeniería que puede describirse como un modelo de ingeniería concurrente de agentes distribuidos [Schreiber, 1999].

El modelo de agente que se plantea se basa en el modelo de CommonKADS [Iglesias, 1998]. El constituyente central del modelo es el agente. Cada ejemplar del agente representando tiene relaciones uno a uno con los constituyentes de capacidades y muchos a muchos con los constituyentes, servicio y objetivo. La definición de los constituyentes se realiza con plantillas que son rellenas durante el análisis y están compuestas de atributos (ranuras, slots). Los atributos pueden ser obligatorios (Obl) u optativos (Opt).

**Figura 11. Modelo de A.I.**

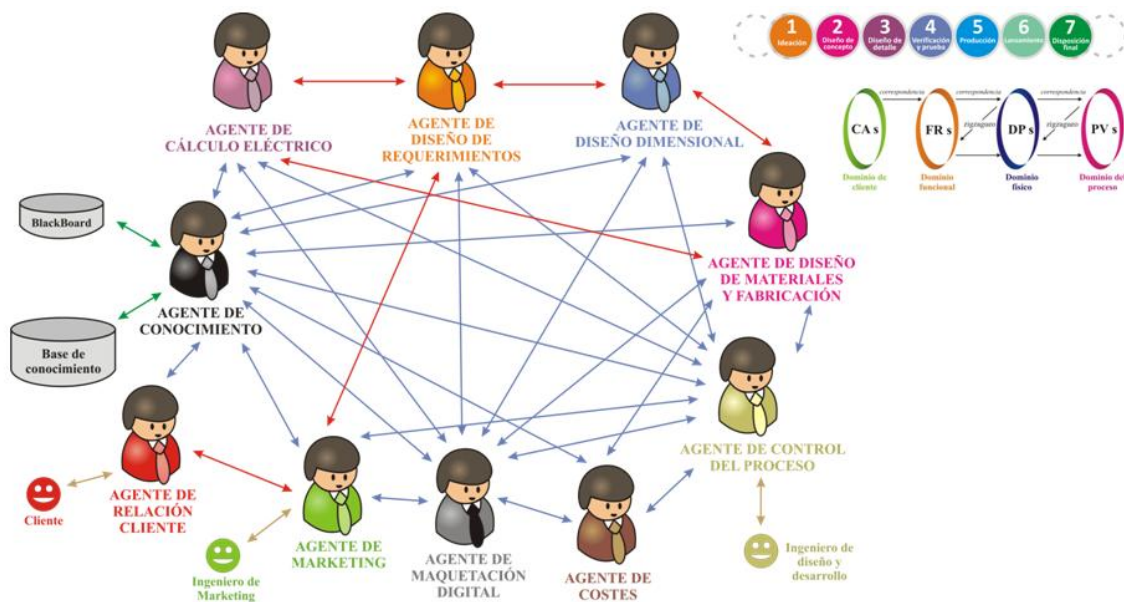


El conocimiento en el A.I. es muy variado en cuanto a su uso y tiempo de utilidad [Omicini et al, 2003]:

- Conocimiento parcial, para resolver una tarea. Se almacena en variables y estructuras.
- Conocimiento de registro, información de otros agentes. Se almacena en archivos de tipo LOG e INF.
- Conocimiento específico, datos fijos. Se almacena en archivos de tipo XML.

Cada uno de los agentes involucrados en el PDDPI de la Figura 12 (agente de diseño de requerimientos, agente de marketing, agente de conocimiento,...) tiene internamente el modelo de A.I. de la Figura 11 con su conocimiento asociado que proviene de las especificaciones que anteriormente han sido formalizadas. De esta forma vamos a poder desarrollar el proceso de diseño y desarrollo del producto con uno o varios agentes asociados a cada fase, estableciendo el diseño colaborativo entre este conjunto de agentes. El hecho de realizar la formalización de la información del PDDP a lo largo de este trabajo ha sido con objeto de conocer la información necesaria que debería contener cada uno de los agentes involucrados en el diseño.

Figura 12. Sistema de A.I.



Hay que puntualizar que el modelo de agentes inteligentes expuesto en este trabajo es un protomodelo que permitiría implementar la aplicación final.

## 8. Conclusiones

De entre todas las metodologías de diseño y desarrollo de productos revisadas, la metodología de Diseño Axiomático establece una base científica para diseñar, basada en el cumplimiento de axiomas para desarrollar la información y garantizar que las decisiones que se toman son acertadas.

Esta metodología no es de fácil aplicación y las investigaciones se centran en el dominio funcional y el físico dejando el del proceso a un lado.

La práctica habitual por parte del diseñador de no documentar de forma explícita toda la información del diseño dificulta conocer cuál es la información del proceso de diseño que es relevante ya que se acostumbra a definir los diseños finales a través de modelos de

representación geométrica, pero la información relativa a la toma de decisiones así como los requerimientos funcionales o las soluciones iniciales no se encuentra documentada.

El dominio del proceso tiene un efecto relevante sobre la definición física del producto. La teoría de Diseño Axiomático defiende que este efecto debería ser considerado desde el principio del PDDP.

Podemos concluir por tanto que en este trabajo se han hecho una serie de aportaciones tales como:

- Desarrollo de un procedimiento sistemático para definir y formalizar la información de diseño de un producto a lo largo de los distintos dominios de los que se compone el Diseño Axiomático, es decir, FRs en el Dominio Funcional, DPs en el dominio Físico y las variables del proceso que puedan afectar en la obtención de los DPs. (Apartados 5.1 y 5.2).
- Prototipo de modelo de información para el desarrollo de una aplicación para asistir al diseñador en la definición y formalización de la información del diseño (Apartado 5.3).
- Nuevo enfoque del modelo de D.Ax. tradicional desde el punto de vista del paradigma Holónico (Apartado 6).
- Definición de una estructura de diseño colaborativo entre agentes inteligentes (Apartado 7).

## 9. Bibliografía

- Aguayo, F. y Soltero, V.M. (2002). Metodología del Diseño Industrial. Un enfoque desde la Ingeniería Concurrente. Editorial Ra-Ma. Primera Edición. Madrid, España.
- Aguayo, F., Marcos, M., Sánchez, M. y Lama, J.R. (2007). Sistemas Avanzados De Fabricación Distribuida. Ra-Ma, Madrid,
- Akao, Yoji (1997). QFD: Past, Present, and Future. *International Symposium on QFD'97. Linköping, Sweden.*
- Fantoni, G., Biasci, F., Bifulco, A., & Santoro, R. (2006). Collaborative problem solving in design methods: foundation elements for an integrated approach. In *Proceedings of ICE Conference, Milan, Italy, 26-28.*
- Hunter, R., Ríos, J., Pérez, J.M. and Vizan, A. (2006). A functional approach for the formalization of the fixture design process. *International Journal of Machine Tools and Manufacture, 46*, 683–697.
- Iglesias, C. (1998). Definición de una metodología para el desarrollo de sistemas multiagente. PhD thesis. Universidad Politécnica de Madrid.
- Koestler, A. (1967). The Ghost in the Machine. The Danube Edition, London.
- Kulak, O., Cebi, S. and Kahraman, C. (2010). Applications of axiomatic design principles: A literature review. *Expert Systems with Applications, 37*, 6705–6717
- Larman, C. (2003). UML y patrones: una introducción al análisis y diseño orientado a objetos y al proceso unificado". Pearson Educación, Madrid.
- Leon, N. (2009). The future of computer-aided innovation. *Computers in Industry, 60*, 539-550.
- Lovatt, A.M. (1998). Process selection in engineering design. PhD thesis. Cambridge University Engineering Department.
- Oosterman, B.J. (2001). Improving product development projects by matching product architecture and organization. PhD thesis. University of Groningen. The Netherlands.
- Omicini, A., Petta, P. and Pitt, J. (2003). Engineering Societies in the Agents World IV. *4th International Workshop*, London, UK, October 29-31.

- Otto, K.N. & Wood, K.L. (2001). Product design: techniques in reverse engineering and new product development. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall
- Pahl, G., Beitz, W., Wallace, K., Blessing, L. and Bauert, F. (1996). Engineering design: a systematic approach. London: Springer.
- Pugh, S. (2010). Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering. Pearson Education. Engineering technology and design. Ed. Addison-Wesley. Michigan.
- Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.
- Sapuan, S., Osman, M. and Nuckman, Y. (2006). State of the art of the concurrent engineering technique in the automotive industry. *Journal of Engineering Design*, 17. 143-157.
- Schreiber, G., Akkermans, H., Anjewierden, A., Hoog, R., Shadbolt, N., Van de Velde, W. and Wielinga, B. (1999). Knowledge engineering and Management: The CommonKADS Methodology. MIT Press, Cambridge, Mass.
- Shakeri, C. (1998). Discovery of Design Methodologies for the Integration of Multi-disciplinary Design Problems. PhD thesis. Worcester Polytechnic Institute.
- Suh, N. (1990). The principles of design (Vol. 990). New York: Oxford University Press.
- Tate, D. & Nordlund, M. (1996). A design process roadmap as a general tool for structuring and supporting design activities. *Proceeding of the Second World Conference on Integrated Design and Process Technology (IDPT-Vol.3)*, Society for Design and Process Science, Austin, TX, 97-104.
- Ullman, D.G. (1992). The mechanical design process. London: McGraw-Hill. New York.
- Wie, V., Mike J., Rajan, P., Campbell, M.I., Syone, R.B. and Wood, K.L. (2003). Representing product architecture. *Proceedings of Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, Chicago, Illinois, DETC2003/DTM-48668, 38-49.