

Programa de doctorado.

Proyectos de Innovación Tecnológica en Ingeniería del Producto y del Proceso

# Modelo B-Cube para el modelado del conocimiento en un marco FBS y su vinculación con herramientas CAI



Tesis Doctoral

Presentada por: Vicente Chulvi Ramos

Dirigida por Dra. Rosario Vidal Nadal

Castellón, Diciembre 2010

*“Una conclusión es el punto en el que  
alguien se cansó de pensar”*

Máxima de Matz, La Ley de Murphy



## Agraïments

La elaboració d'una Tesi és un procés llarg, quasi quatre anys he estat involucrat en el programa de doctorat, i al llarg d'aquests quatre anys moltes coses han canviat en la meva vida i son moltes les persones que, d'una manera directa o indirecta han contribuït a que ara estiga jo aquí. La simple menció en aquests agraïments no faria justícia al suport i la ajuda proporcionades per moltes d'elles, doncs el suport constant al llarg de la meva vida les fan mereixedores de molt més.

Començaré dedicant aquest treball, com no podia ser d'altra manera, als meus pares Vicent i Raquel, que amb infinita paciència m'han suportat i donat suport al mateix temps aquests més de trenta anys ja i als qui dec tot el que soc i el que he arribat a ser. I tampoc pot faltar en aquesta primera fila la meva promesa i futura muller Bea, capaç d'alegrar-me el dia i fer-me oblidar de tots el meus maldecaps amb un sol somriure seu. Menció especial tenen també la meva germaneta Raquel i el meu cunyat Agustín, als qui els done altre cop l'enhorabona per la seva nova condició de pares del meu primer nebodet Eric.

Entrant en un camp un poc més acadèmic, encara que no sabia separar-lo ja del personal, dec d'agrair en primer lloc a la meva directora Sari el seu esforç per estirar de mi cap a la conclusió de la meva Tesi, i a Pili per fer-la tan feliç. Agrair també de manera especial a Elena el seu suport i la seva amistat, i donar-los la enhorabona a ella i a Sergio per aquesta segona filla que estan esperant. I també a la resta de gent de l'àrea de projectes: Sara, Mar, Antonio, Paco y Loles; i també a Belinda i Victor, amb els qui he pogut fer també bona amistat. De dintre del GID, on he donat els meus primers passos en el mon de la investigació, em cal agrair també la seva amistat a uns quants becaris, alumnes de pràctiques i companys de doctorat que han estat treballant junt amb mi: Olga, Aina, Maite, Enrique, Cristina Gasch, Cristina Cantero, Águeda, Silvia, Sergio, Vanessa, Carlos Miguel, Jessica, Ivan, Dino, i segur que m'estic oblidant d'alguns, que han sigut prou anys pel GID, i també de la Càtedra INCREA, com son el Jordi, Jose i Patricia. Tampoc hi ha que oblidar-se de la gent que ens ha visitat i s'ha quedat el temps suficient per a llaurar-nos una amistat, com son Daniel (Mondragón), Javier (Mèxic) i Margara (Colombia).

I fugint ja totalment de l'entorn acadèmic, em queda un fort salut per al meu grup de bons amics amb els que se que sempre puc contar: Jonathan, Dani, Lidón i Lledó, Jose i Carmen, Guiller i Silvi, Angel i Carolina, Luis, Quique i Lana, Alexis i Ana, Sandra, Raquel i Aitor, Jordi, Rufo, Carlos (Paco), Dragana i Jesús, Jihan, i segur que altre cop em deixe a més d'un, però com a amic, segur que sabrà perdonar-me.

A tota aquesta gent, per formar el meu món i fer-me qui sóc:

**MOLTES GRÀCIES!!!!**

## Resumen

El proceso de diseño es un proceso cognitivo y creativo complejo, que puede dividirse en muchas fases, y del cual sus resultados variarán considerablemente en función de la persona que lo lleve a cabo, independientemente de los pasos que haya seguido. Dentro de las diferentes metodologías y herramientas existentes para optimizar los resultados de este proceso, la presente Tesis se ha centrado en el modelado del conocimiento y su representación, considerándolo como un elemento clave tanto para el proceso de diseño como para lograr una correcta transferencia de conocimiento.

El trabajo se encuentra motivado por el proyecto “Eco-innovación basada en el esquema FBS y la gestión del conocimiento en la ingeniería”, subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia (DPI2006-15570-C02-01), que trata de abarcar el desarrollo de un sistema de diseño y gestión del ciclo de vida del producto basado en el conocimiento, enfocado hacia la optimización y automatización de las decisiones en las fases de diseño de producto por medio de técnicas y herramientas de gestión del conocimiento. El núcleo central del proyecto consiste en la elaboración de un sistema de síntesis de diseño que trabaje sobre una estructura de librerías de modelos creadas para tal efecto. El objetivo de este nuevo sistema permitirá, no solo recopilar el conocimiento disponible, sino también asistir en el diseño rutinario de nuevos productos. El punto específico del proyecto sobre el que se ha elaborado el presente trabajo de Tesis consiste en el desarrollo de un modelo para el modelado y representación del conocimiento para la síntesis de soluciones de diseño basado en el marco FBS (Función-Comportamiento-Estructura). Además, se ha tratado de cómo dicho modelo serviría para ser vinculado con una herramienta CAI (Invención Asistida por Ordenador) para obtener soluciones con un mayor grado de creatividad. Para llevar a cabo este trabajo, la Tesis se ha dividido en cuatro puntos: por un lado se trata de la evolución del modelo para el diseño de artefactos; por otro se trata el funcionamiento de dicho modelo con los comportamientos de rol o abstractos; otro apartado trata de su vinculación con una herramienta CAI; y por último se tratan las métricas de creatividad que nos permitirán conocer si realmente las soluciones proporcionadas por el sistema son creativas o no.

## **El modelo B-Cube en el diseño de artefactos**

El modelo B-Cube se ha elaborado principalmente basándose en la meta-ontología DOLCE y las consideraciones de Garbacz sobre la misma, y propone un planteamiento tridimensional que utiliza definiciones a modo de conceptos de los comportamientos. En otras palabras, un comportamiento queda definido por un vector tridimensional  $(x, y, z)$ , donde cada uno de los valores que completa el vector determina sus características o cualidades. En él, el valor del eje  $x$  representa el tipo de cualidad física afectada por el comportamiento, el eje  $y$  el modo en el que actúa dicho comportamiento sobre la cualidad física, y el eje  $z$  el sentido en que lo afecta. El modelo B-Cube permite, a priori, el modelado de los comportamientos dentro de un marco FBS. Sin embargo, el modelo puede ir más allá, y representar los comportamientos en un KBS para la automatización del diseño funcional o la vinculación de dicho sistema con herramientas CAI para mejorar la creatividad de sus soluciones.

Para darle un mayor peso al modelo se han creado correlaciones entre sus términos y los de las *reconciled functional basis* del NIST, considerada como la reconciliación de taxonomías de funciones para el diseño mecánico más importante hoy en día. Igualmente, se ha establecido un modelo informal para la representación de diseños basados en el esquema B-FES a través del modelo B-Cube, basado en el lenguaje de modelado IDEF.

## **El modelo B-Cube con los comportamientos de rol**

De un modo paralelo al anterior, se considera el modelo B-Cube como válido para la representación y modelado de los comportamientos abstractos o de rol en los diseños de procesos o de estructuras organizacionales. Estos comportamientos se definen como aquellos referentes al comportamiento cognitivo del ser humano, tales como identificar, tomar decisiones o reaccionar. Para tal efecto, se elabora un modelo simétrico al anterior, donde coinciden dos de sus ejes, correspondientes al modo y dirección en que se produce el comportamiento, variando la coordenada referida al tipo de *endurant* (estructura) afectado por el mismo, que pasa a ser de una cualidad física en el caso anterior a una cualidad abstracta en el presente.

Las correlaciones entre el modelo y las taxonomías existentes han sido realizadas a través de la taxonomía del comportamiento humano

de Fineberg. En este caso, al no existir una taxonomía considerada como la más relevante del sector, se ha necesitado realizar un estudio sobre las diferentes taxonomías de comportamientos de rol existentes para analizar cuál de ellas se adapta mejor a nuestros propósitos.

### **Innovación con el modelo B-Cube y TRIZ**

Con el ánimo de, por un lado, mejorar los resultados en cuanto a creatividad de las soluciones y, por otro lado, demostrar la funcionalidad del modelo B-Cube en lo concerniente a su vinculación con herramientas CAI, en el trabajo se muestra la vinculación entre el modelo y la metodología para la innovación TRIZ. Para ello se han analizado las principales herramientas de TRIZ y su funcionamiento conjunto con el modelo B-Cube, seleccionando la considerada como mejor de entre ellas para tal efecto, la herramienta de Su-Fields. Para poder llevar a cabo la correcta vinculación de términos se ha hecho necesaria la búsqueda de una taxonomía para representar los conceptos de la herramienta de TRIZ que van a trabajar con el modelo B-Cube.

### **Métricas para la creatividad**

Puesto que se ha postulado que el objetivo de vincular el modelo B-Cube con TRIZ era el de mejorar la creatividad de los resultados del proceso de diseño modelado a través del B-Cube, se requiere una herramienta o métrica para poder valorar dichos resultados en términos creativos. Así pues, para concluir el trabajo se han analizado diferentes métricas para la creatividad de los productos. La selección de las métricas consideradas más relevantes ha sido aplicada para la evaluación de diseños conceptuales proporcionados por ejemplos anteriores del presente trabajo, elaborados con y sin la ayuda de TRIZ para el modelado de los mismos.

## Resum

El procés de disseny es un procés cognitiu i creatiu complex, que es pot dividir en moltes fases, i del qual els seus resultats variaran considerablement en funció de la persona que l'ha portat a terme, independentment dels passos que haja seguit. Dintre de les diferents metodologies i ferramentes existents per a optimitzar els resultats d'aquest procés, la present Tesi s'ha centrat en el modelat del coneixement i la seva representació, considerant-ho com un element clau tant per al procés de disseny com per tal d'aconseguir una correcta transferència del coneixement.

El treball ve motivat pel projecte "Eco-innovació basada en l'esquema FBS i la gestió del coneixement en l'enginyeria", subvencionat pel Ministeri d'Educació i Ciència de l'estat espanyol (DPI2006-15570-C02-01), que tracta d'abastar el desenvolupament d'un sistema de disseny i gestió del coneixement, enfocat cap a l'optimització i automatització de les decisions en les fases de disseny de producte mitjançant tècniques i ferramentes de gestió del coneixement. El nucli central del projecte consisteix en l'elaboració d'un sistema de síntesi de disseny que treballa sobre una estructura de llibreries de models creada per a tal efecte. L'objectiu d'aquest nou sistema permetrà no sols recopilar el coneixement disponible, sinó també ajudar en el disseny rutinari de nous productes. El punt específic del projecte sobre el que s'ha elaborat el present treball de Tesi consisteix en el desenvolupament d'un model per al modelat i representació del coneixement per a la síntesi de solucions de disseny basat en el marc FBS (Funció-Comportament-Estructura). A més, s'ha tractat de com aquest model serviria per a ser vinculat amb una ferramenta CAI (Invenció Assistida per Ordinador) per tal d'obtenir solucions amb un major grau de creativitat. Per a dur a terme aquest treball, la Tesi s'ha dividit en quatre punts: per una banda es tracta l'evolució del model per al disseny d'artefactes; per altre es tracta el funcionament del model amb els comportaments de rol o abstractes; altre apartat tracta de la seva vinculació amb una ferramenta de CAI; y per últim es tracten les mètriques de la creativitat que ens permetran conèixer si realment les solucions proporcionades pel sistema son creatives o no.

### **El model B-Cube en el disseny d'artefactes**

El model B-Cube s'ha elaborat principalment basant-se en la meta-ontologia DOLCE i les consideracions de Garbacs sobre aquesta, i proposa un plantejament tridimensional que utilitza definicions a mode de conceptes dels comportaments. Dit d'un altra manera, un comportament queda definit per un vector tridimensional  $(x, y, z)$ , on cadascun dels valors que completa el vector determina les seves característiques o qualitats. En ell, el valor de l'eix x representa el tipus de qualitat física afectada pel comportament, l'eix y el mode en que actua el comportament sobre la qualitat física, i l'eix z el sentit en que ho afecta. El model B-Cube permet, a priori, el modelat dels comportaments dintre d'un marc FBS. Tanmateix, el model pot anar més enllà i representar els comportaments en un KBS per a l'automatització del disseny funcional o la vinculació d'un sistema d'aquestes característiques amb ferramentes CAI per a millorar la creativitat de les seves solucions.

Per a donar-li un major pes al model s'han creat correlacions entre els seus termes i els de les RFB (*reconciliated functional basis*) del NIST, considerada com la reconciliació de taxonomies de funcions per al disseny mecànic més important d'avui en dia. Igualment, s'ha establert un model informal per a la representació de dissenys basats en l'esquema B-FES a través del model B-Cube, basat en el llenguatge de modelat IDEF.

### **El model B-Cube amb els comportaments de rol**

De una manera paral·lela a l'anterior, es considera el model B-Cube com a vàlid per a la representació i modelat dels comportaments abstractes o de rol en els dissenys de processos o de estructures organitzacionals. Aquests comportaments es defineixen com aquells referents al comportament cognitiu de l'esser humà, com ara identificar, prendre decisions o reaccionar. Per a tal efecte s'elabora un model simètric a l'anterior, on coincideixen dos dels seus eixos, corresponents al mode i direcció en que es produeix el comportament, variant la coordenada referida al tipus d'*endurant* (estructura) afectat per aquell, que passa a ser d'una qualitat física en el cas anterior a una qualitat abstracta en el present.

Les correlacions entre el model i les taxonomies existents han estat realitzades a través de la taxonomia del comportament humà de Fineberg. En aquest cas, al no existir una taxonomia considerada com la més rellevant del sector, ha calgut realitzar un estudi sobre les

diferents taxonomies de comportaments de rol existents per tal d'analitzar quina d'elles s'adapta millor als nostres propòsits.

### **Innovació amb el model B-Cube i TRIZ**

Amb l'ànim de, per una banda millor els resultats en quant a creativitat de les solucions, i per altra banda demostrar la funcionalitat del model B-Cube pel que fa a la seva vinculació amb ferramentes CAI, en el treball es mostra la vinculació entre el model i la metodologia per la innovació TRIZ. Per tant s'han analitzat les principals ferramentes de TRIZ i el seu funcionament conjuntament amb el model B-Cube, i s'ha seleccionat la considerada com a millor entre elles per a tal efecte, la ferramenta Su-Fields. Per tal de poder dur a terme la correcta vinculació de termes s'ha fet necessària la recerca d'una taxonomia per a representar els conceptes de la ferramenta de TRIZ que van a treballar amb el model B-Cube.

### **Mètriques per a la creativitat**

Ja que s'ha postulat que l'objectiu de vincular el model B-Cube amb TRIZ era el de millorar la creativitat dels resultats del procés de disseny modelat mitjançant el B-Cube, es requereix d'una ferramenta o mètrica per tal de poder valorar eixos resultats en termes de creativitat. Així doncs, per a concloure el treball s'han analitzat diferents mètriques per a la creativitat dels productes. La selecció de les mètriques considerades com més rellevants ha estat aplicada per a l'avaluació de dissenys conceptuals proporcionats per exemples anteriors d'aquest treball, elaborats amb o sense l'ajuda de TRIZ per al modelat dels mateixos.

## Abstract

Design process is a complex cognitive and creative process that can be divided in several steps, and whose results will vary considerably depending on the person who carries it out, and independently of the followed steps. Within the different existing methodologies and tools for optimizing the results of this process, the present Thesis focuses on the knowledge modelling and its representation, considering it as a key element as well for the design process as for achieving correct knowledge transference.

The work is motivated by the “Eco-innovation based on the FBS framework and the knowledge management in the engineering” project, which is subsidized by the Ministry of Education and Science of Spain (DPI2006-15570-C02-01). This project tries to cope with the development of a knowledge based system for design and product life cycle management, focused to decision optimization and automation in the product design phase through knowledge management tools and techniques. The core of the project consists in the elaboration of a design synthesis system able to work over a model libraries structure build for that purpose. This kind of system will allow not only to compile all available knowledge, but also to assist the routine design of new products. The specific point of the project over which the present Thesis has worked consists in the development of a modeling and knowledge representation model for the solution synthesis based on the FBS framework (Function-Behaviour-Structure). Moreover, the way in that this model can act for being linked with a CAI (Computer Aided Inventing) tool in order to obtain more creative solutions has been treated in this work. In order to achieve these objectives, the Thesis has been divided in four points: the first point is about the evolution of the model for artefacts design; secondly, it is presented the operation of the model with the role or abstract behaviours; the next point is about its linking with a CAI tool; and lastly, creativity metrics have been treated in order to know if the solutions provided by the system are really creative or not.

### **B-Cube model for artefact design**

B-Cube model has been evolved mainly based on the meta-ontology DOLCE and Garbacz's considerations over it, and it proposes a three-dimensional approach that uses definitions as behaviour concepts. In

other words, a behaviour is defined by a (x, y, z) vector, in which each of the values that complete the vector determine its characteristics or qualities. In this model, the x axis represents the kind of physical quality affected by the behaviour; the y axis represents the way acting of this behaviour over the physical quality; and the z axis shows the direction in which the behaviour affects it. The B-Cube model allows, a priori, the behaviour's modelling within a FBS framework. However, the model can go further and represent the behaviours in a KBS for functional design representation or link it with CAI tools in order to improve the creativity level of the solutions.

In order to strengthen the model, correlations have been done between its terms and the NIST's reconciled functional basis ones, which is considered the most important conciliation of function taxonomies nowadays. In the same way, it has been established an informal model for design representation based on the B-FES scheme through the B-Cube model, based in the IDEF modeling language.

### **B-Cube model with role behaviours**

In a parallel way, the B-Cube model is considered as valid for role or abstract behaviour representation and modelled in the design of organizational structures and processes. These behaviours are defined as those referred to cognitive behaviour of human being, such as identify, decision taking or react. For this purpose, a symmetric model is elaborated, where two of the axes are shared between the physical and the abstract part of the model, corresponding to the way and direction in which the behaviour happens, and varying the coordinate referred to the kind of endurant (structure) affected by it, that moves from being a physical quality to being an abstract quality.

Correlations between the model and the existing taxonomies have been done through Fineberg's taxonomy of human behaviour. In this case, as there is no taxonomy considered as the most relevant in this field, it has been necessary to make an study over the different role taxonomies in order to analyze which of them fits better in our proposes.

### **Innovation through B-Cube and TRIZ**

With the aim of, on the one hand, improve the results regarding creativity of the solutions and, on the other hand demonstrate the functionality of B-Cube model concerning to its linkability with CAI tools,

the work shows the link between the model and the TRIZ methodology for innovating. For this purpose the main TRIZ tools have been analyzed as well as their work together with the B-Cube model, and the best considered for this purpose has been selected: the Su-Fields tool. A research of a taxonomy for representing TRIZ tool concepts that are going to work with the B-Cube model has been made in order to achieve the right link of terms.

### **Metrics for creativity**

Since it has been said that the aim of linking the B-Cube model with TRIZ is the improvement of the creativity of the results of the design process, modelled through B-Cube, it is required a tool or a metric in order to assess those results in terms of creativity. So, for concluding the work different metrics for creativity of product have been analyzed. A selected group of these metrics have been applied for evaluating the conceptual designs provided by previous examples shown in the work, elaborated with and without the help of TRIZ for their modelled.

## ABREVIATURAS

**AF** – Función Abstracta.

**AH** – Jerarquía de abstracciones (*Abstract Hierarchy*).

**AQ** – Calidad Abstracta.

**CAD** – Diseño Asistido por Ordenador (*Computer Aided Design*).

**CAI** – Invención Asistida por Ordenador (*Computer Aided Inventing*).

**CPSS** – Escala Semántica de Productos Creativos (*Creative Product Semantic Scale*).

**B-FES** – Función – Medio – Estructura guiado por el Comportamiento (*Behaviour-driven Function-Environment-Structure*).

**DOLCE** – Ontología Descriptiva para la Ingeniería Lingüística i Cognitiva (*Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering*).

**ED** – *Endurant*.

**FBS** – Función – Comportamiento – Estructura (*Function – Behaviour – Structure*).

**FP** – Propósito Funcional (*Functional Purpose*).

**GF** – Función Generalizada (*Generalized Function*).

**IFR** - Principio de idealidad (*Ideal Final Result*)

**KBE** – Ingeniería Basada en el Conocimiento (*Knowledge Based Engineering*).

**KBS** – Sistema Basado en el Conocimiento (*Knowledge Based System*).

**NIST** – National Institute of Standards and Technology.

**NPED** – *Endurant* No-Físico (*Non-physical endurant*).

**P** – *Perdurant*.

**PED** – *Perdurant* Físico (*Physical endurant*).

**PFn** – Función Física (*Physical Function*).

**PFo** – Forma Física (*Physical Form*).

**PQ** – Calidad Física (*Physical Quality*).

**PyME** – Pequeña y Mediana Empresa.

**Q** – Calidad (*Quality*).

**SAPPhIRE** -

**SRK** – Habilidad – Regla – Conocimiento (*Skill – Rule – Knowledge*).

**SoA** – Estado de los Asuntos (*State of Affairs*).

**Su-Fields** – Campos – Sustancia (*Substance – Fields*).

**TQ** – Calidad Temporal (*Temporal Quality*).

**TRIZ** – Teoría de Resolución de Problemas Inventivos (*Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch*).

# Índice

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introducción</b> .....                              | <b>1</b>  |
| 1.1      | Objeto.....  | 3         |
| 1.2      | Justificación.....                                     | 5         |
| 1.3      | Hipótesis.....   | 6         |
| 1.4      | Objetivos .....  | 7         |
| 1.5      | Metodología.....                                       | 7         |
| 1.6      | Estructura de la tesis.....                            | 10        |
| <b>2</b> | <b>Estado del arte</b> .....                           | <b>13</b> |
| 2.1      | Introducción.....                                      | 15        |
| 2.2      | El diseño funcional .....                              | 15        |
| 2.2.1    | Los conceptos de función y comportamiento.....         | 16        |
| 2.2.2    | El esquema FBS .....                                   | 19        |
| 2.3      | Modelos de representación del conocimiento .....       | 23        |
| 2.3.1    | Taxonomías y ontologías .....                          | 23        |
| 2.3.2    | Lenguajes.....   | 28        |
| 2.3.3    | Sistemas Basados en el Conocimiento (KBS) .....        | 31        |
| 2.4      | Métodos creativos .....                                | 32        |
| 2.4.1    | Metodologías para la creatividad .....                 | 32        |
| 2.4.2    | Herramientas de Invención Asistida por Ordenador ..... | 33        |
| 2.4.3    | TRIZ .....   | 34        |
| 2.5      | Evaluación de la creatividad.....                      | 36        |
| <b>3</b> | <b>El modelo B-Cube en el diseño de objetos</b> .....  | <b>39</b> |
| 3.1      | Introducción.....                                      | 41        |
| 3.2      | DOLCE .....  | 42        |
| 3.3      | Desarrollo del modelo B-Cube .....                     | 46        |
| 3.4      | B-Cube y NIST .....                                    | 58        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 3.5      | Modelo informal para la representación de diseños basados en el esquema B-FES ..... | 65         |
| 3.6      | Representación del diseño de un útil para la limpieza de cascos de barcos .....     | 72         |
| 3.7      | Evolución del diseño de un útil para escribir .....                                 | 76         |
| 3.8      | Representación del diseño de una bicicleta .....                                    | 90         |
| <b>4</b> | <b>Comportamientos de rol en el modelo B-Cube .....</b>                             | <b>99</b>  |
| 4.1      | Introducción .....  | 101        |
| 4.2      | Taxonomías de funciones de rol .....  | 101        |
| 4.2.1    | Modelo jerárquico entrada-salida de Willis .....                                    | 101        |
| 4.2.2    | Modelo jerárquico de Berliner .....   | 103        |
| 4.2.3    | Estructura del modelo intelectual de Guilford .....                                 | 106        |
| 4.2.4    | Modelo SRK de Rasmussen .....   | 107        |
| 4.2.5    | Taxonomía del comportamiento humano de Fineberg .....                               | 109        |
| 4.3      | Desarrollo de la parte abstracta del modelo .....                                   | 114        |
| 4.4      | Representación de un diseño de un concesionario de automóviles .....                | 120        |
| 4.5      | Evolución del proceso de ensamblado de un cajón metálico .....                      | 123        |
| 4.6      | Representación del proceso de funcionamiento de una pizzería a domicilio .....      | 128        |
| <b>5</b> | <b>B-Cube y TRIZ .....</b>  | <b>135</b> |
| 5.1      | Introducción .....  | 137        |
| 5.2      | Herramientas de TRIZ .....  | 138        |
| 5.2.1    | Principio de idealidad (IFR) .....  | 139        |
| 5.2.2    | Matriz de contradicciones y principios inventivos .....                             | 141        |
| 5.2.3    | Líneas de evolución .....   | 142        |
| 5.2.4    | Bases de datos de funciones .....   | 144        |
| 5.2.5    | Su-Fields .....   | 145        |
| 5.3      | Estudio sobre las herramientas de TRIZ .....  | 149        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.3.1    | Desarrollo del ejemplo .....   | 149        |
| 5.3.2    | Principio de idealidad .....   | 150        |
| 5.3.3    | Líneas de evolución .....  | 152        |
| 5.3.4    | Matriz de contradicciones y principios inventivos .....  | 155        |
| 5.3.5    | Bases de datos de funciones .....  | 157        |
| 5.3.6    | Su-Fields .....  | 159        |
| 5.4      | Puntos débiles del uso de las RFB para la vinculación con TRIZ                                   | 162        |
| 5.5      | Taxonomías de comportamientos de TRIZ .....  | 166        |
| 5.6      | Desarrollo de un diseño de un útil para escribir integrando Su-Fields con el modelo B-Cube ..... | 172        |
| 5.7      | Rediseño de un casco de bombero integrando Su-Fields y B-Cube                                    | 181        |
| 5.7.1    | Interacción casco-fuego .....  | 183        |
| 5.7.2    | Interacción mascara-pulmones .....   | 187        |
| <b>6</b> | <b>Evaluación de la creatividad .....</b>  | <b>193</b> |
| 6.1      | Introducción .....   | 195        |
| 6.2      | El producto creativo .....   | 195        |
| 6.2.1    | Creative Product Semantic Scale .....  | 196        |
| 6.2.2    | Escala de Moss .....   | 199        |
| 6.2.3    | Modelo de Sarkar y Chakrabarti .....   | 201        |
| 6.3      | El producto innovador .....  | 203        |
| 6.3.1    | La evaluación del potencial innovador .....  | 204        |
| 6.4      | Valoración de la mejora del proceso de diseño integrando TRIZ al modelo B-Cube .....             | 207        |
| 6.4.1    | Valoración con el Modelo de Sarkar y Chakrabarti .....   | 208        |
| 6.4.2    | Valoración con la escala de Moss .....   | 208        |
| 6.4.3    | Valoración con la EPI de Justel .....  | 209        |
| 6.4.4    | Conclusiones de la valoración de la creatividad .....  | 210        |
| <b>7</b> | <b>Conclusiones y desarrollos futuros .....</b>  | <b>211</b> |

|       |   |            |
|-------|---|------------|
| 7.1   | Discusión.....  | 213        |
| 7.2   | Conclusiones.....   | 214        |
| 7.3   | Validación de las hipótesis.....                            | 217        |
| 7.4   | Líneas futuras.....   | 219        |
| 7.4.1 | El potencial de los comportamientos de rol .....            | 220        |
| 7.4.2 | Las diferentes herramientas de TRIZ.....                    | 221        |
| 7.4.3 | Módulos para evaluar la creatividad .....                   | 226        |
| 7.4.4 | Estimulación de la creatividad con el modelo B-Cube         | 227        |
| 7.5   | Publicaciones derivadas de la Tesis .....                   | 228        |
| 7.5.1 | Publicaciones en revistas.....                              | 228        |
| 7.5.2 | Capítulos de libro .....                                    | 228        |
| 7.5.3 | Publicaciones en congresos .....                            | 228        |
|       | <b>Referencias .....</b>                                    | <b>231</b> |
|       | <b>Anexo I - Esquemas de representación de diseños</b>      |            |
|       | <b>Anexo II - Tabla de correlaciones B-Cube – Su-Fields</b> |            |

# Índice de las figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Esquema del proyecto DPI2006-15570-C02-01.....  | 3  |
| Figura 2 – Metodología aplicada al desarrollo de la Tesis .....  | 8  |
| Figura 3 – Diagrama de flujo de un ciclo del proceso metodológico ..   | 10 |
| Figura 4- Marco FBS según Umeda et al.. (1990).....  | 20 |
| Figura 5 –Representación del modelo B-FES según Tor et al.. 2002   | 22 |
| Figura 6 – Captura de pantalla del árbol taxonómico para un taxón según WordReference (2010) (www.wordreference.com) ..... | 25 |
| Figura 7 – Esquema de la ontología DOLCE basado en Masolo et al.. 2003.....  | 28 |
| Figura 8 - Representaciones gráficas utilizadas en IDEF3 (Mayer et al., 1995a).....  | 30 |
| Figura 9 - Representaciones gráficas utilizadas en IDEF4 (Mayer et al., 1995b).....  | 31 |
| Figura 10 – KBS teórico para el diseño funcional.....  | 42 |
| Figura 11 – Ejes del modelo B-Cube.....  | 48 |
| Figura 12 - Algoritmo para la clasificación de los perdurants .....  | 51 |
| Figura 13 – Detalle del esquema de la DOLCE con los niveles utilizados por el modelo B-Cube.....                           | 52 |
| Figura 14 - Ejes del modelo B-Cube teniendo en cuenta las consideraciones de Garbacz .....                                 | 53 |
| Figura 15 – Parte física del modelo B-Cube de comportamientos .....  | 56 |
| Figura 16 – Extracto de la ontología B-Cube.....   | 58 |
| Figura 17 - Representación de las funciones .....  | 66 |
| Figura 18 - Representación de los comportamientos .....  | 67 |
| Figura 19 - Representación de las Estructuras .....  | 69 |
| Figura 20 - Representación de estructura sujeto y restricción objeto respecto de un comportamiento dado. ....              | 70 |
| Figura 21 – Representación del esquema B-FES de una pulidora ....  | 71 |
| Figura 22 - Representación del esquema B-FES de una guillotina....   | 72 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 23 – Vista superior del Tulum (www.praesentis.com) .....                                   | 73  |
| Figura 24 – Vista inferior del Tulum (www.praesentis.com) .....                                   | 74  |
| Figura 25 – Esquema del desarrollo funcional del Tulum.....                                       | 74  |
| Figura 26 – Sub-esquema del desarrollo funcional del Tulum .....                                  | 75  |
| Figura 27- Esquema del KBS propuesto .....  | 77  |
| Figura 28 – Nivel de funciones .....  | 78  |
| Figura 29 – Nivel de Medio (restricciones) .....  | 78  |
| Figura 30 – Primer nivel del desarrollo del diseño A .....  | 82  |
| Figura 31 - Primer nivel del desarrollo del diseño B .....  | 83  |
| Figura 32 - Evolución del desarrollo de la rama del diseño A .....                                | 86  |
| Figura 33 - Esquema final para la familia de diseños A2 .....                                     | 87  |
| Figura 34 - Esquema final para la familia de diseños B .....                                      | 88  |
| Figura 35 – Esquema final para la familia de diseños A1 .....                                     | 89  |
| Figura 36 – Subesquema derivado del diseño A1 .....   | 90  |
| Figura 37 – Esquema principal del diseño de la bicicleta.....                                     | 92  |
| Figura 38 – Subesquema de la transmisión .....  | 93  |
| Figura 39 – Subesquema del freno delantero .....  | 94  |
| Figura 40 – Subesquema del freno trasero .....  | 95  |
| Figura 41 – Subesquema de la rueda delantera .....  | 96  |
| Figura 42 – Subesquema de la rueda trasera .....  | 97  |
| Figura 43 – Matriz de comportamientos, medidas e instrumentos según Tabideau (1964).....          | 105 |
| Figura 44 – Modelo de la estructura del intelecto de Guilford (1977)                              | 106 |
| Figura 45 - Algoritmo para la clasificación de los comportamientos humanos (Rasmussen, 1983)..... | 108 |
| Figura 46 – Parte abstracta del modelo B-Cube .....   | 115 |
| Figura 47 – Representación del proceso de compra-venta de vehículos.....                          | 121 |
| Figura 48 – Nivel de medio (restricciones) .....  | 123 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 49 – Nivel de Funciones .....   | 124 |
| Figura 50 – Evolución del nivel de comportamientos a partir del nivel de funciones .....   | 125 |
| Figura 51 – Representación final del proceso de conformado y ensamble de un cajón.....   | 127 |
| Figura 52 – Nivel principal del esquema de funcionamiento de un pizzería a domicilio .....   | 128 |
| Figura 53 – Subesquema referente a la entrega de la pizza.....   | 130 |
| Figura 54 – Subesquema referente a la fabricación de la pizza.....   | 132 |
| Figura 55 – Subesquema referente a la toma del pedido.....   | 133 |
| Figura 56 – Búsqueda de soluciones de TRIZ frente al ensayo y error .....  | 139 |
| Figura 57 – Principio de idealidad .....   | 140 |
| Figura 58 – Aplicación del principio de idealidad a un cepillo de dientes (basado en el ejemplo del software Creax Innovation Suite 3.1) ..... | 140 |
| Figura 59 – Extracto de la matriz de contradicciones (fuente: Creax Innovation Suite).....   | 141 |
| Figura 60 – Cuatro principios inventivos (fuente: Creax Innovation Suite) .....  | 142 |
| Figura 61 – Línea de evolución tecnológica: Evolución geométrica de las construcciones lineales (fuente: Creax Innovation Suite) .....         | 144 |
| Figura 62 – Vista de la base de datos de funciones de Creax (fuente: Creax Innovation Suite) .....   | 145 |
| Figura 63 – Triada: conjunto básico del análisis Su-Field .....  | 146 |
| Figura 64 – Representación de una triada con una interacción conflictiva.....  | 146 |
| Figura 65 – Regla 1 del análisis Su-Field .....  | 146 |
| Figura 66 – Regla 2 del análisis Su-Field .....  | 147 |
| Figura 67 – Regla 3 del análisis Su-Field .....  | 147 |
| Figura 68 – Regla 4 del análisis Su-Field .....  | 148 |
| Figura 69– Regla 5 del análisis Su-Field .....   | 148 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 70 – Útil para el ejemplo.....   | 149 |
| Figura 71 - Desarrollo del modelo en el marco B-FES .....   | 150 |
| Figura 72 - Aplicación del principio de idealidad .....   | 151 |
| Figura 73 - A) Solución genérica aplicando la regla 1 de los Su-Fields.<br>B) Efecto nocivo de la restricción “sea water” sobre la estructura “pipe”<br>..... | 161 |
| Figura 74 – Ejemplo de aplicación de la regla 1 sobre el<br>comportamiento (2, 1, 3).....   | 173 |
| Figura 75 – Comportamiento no deseado derivado de otro<br>comportamiento.....   | 177 |
| Figura 76 – Triada correspondiente al comportamiento no deseado   | 178 |
| Figura 77 – Representación del diseño de un casco de bombero ...  | 182 |
| Figura 78 - Triada correspondiente al comportamiento dañino del<br>fuego sobre el casco.....  | 183 |
| Figura 79 - Triada correspondiente al comportamiento insuficiente de<br>la máscara sobre los pulmones .....   | 187 |
| Figura 80 – Modelo de causalidad SAPPhIRE (Chakrabarti et al., 2005)<br>.....   | 202 |
| Figura 81 – Método EPI (Justel, 2008).....  | 205 |
| Figura 82 – Árbol de evolución de los equipos de protección<br>antiincendios.....   | 224 |
| Figura 83 – Árbol de evolución de las prendas textiles .....  | 225 |

# Índice de tablas

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1. Pasos de la metodología empleada en la Tesis .....   | 9   |
| Tabla 2 – Definiciones básicas de la DOLCE con su interpretación ..   | 46  |
| Tabla 3 – Valores físicos del modelo B-Cube.....  | 55  |
| Tabla 4 – Reconciled Functional Basis( RFB) del NIST(Hirtz et al., 2002).....   | 59  |
| Tabla 5 – Ejemplo de dos comportamientos diferentes capaces de llevar a cabo la función remove. ....  | 61  |
| Tabla 6 – Correlación entre las reconciled functional basis (RFB) del NIST y los términos del modelo B-Cube.....                            | 62  |
| Tabla 7 - Búsqueda y evaluación de estructuras para cumplir con el comportamiento (2, 1, 3).....  | 79  |
| Tabla 8 - Búsqueda y evaluación de estructuras para cumplir con el comportamiento (2, 1, 1).....  | 80  |
| Tabla 9 - Búsqueda y evaluación de estructuras para cumplir con el comportamiento (2,2,2) en el diseño A (opción con mina de carbono) ..... | 84  |
| Tabla 10 – Modelo jerárquico de Willis (1961) .....   | 102 |
| Tabla 11 – Modelo jerárquico de Berliner (1964) .....   | 103 |
| Tabla 12 – Taxonomía del comportamiento humano de Fineberg (1995) .....   | 109 |
| Tabla 13 – Correspondencias entre el tercer nivel de la taxonomía de Fineberg y el modelo B-Cube .....                                      | 116 |
| Tabla 14 – Ejemplos de comportamientos opuestos que muestran carencias en la taxonomía de Fineberg.....                                     | 120 |
| Tabla 15 – Diferenciación de las líneas de evolución en función del elemento al que afectan. ....   | 153 |
| Tabla 16 - Selección de las líneas de evolución.....  | 154 |
| Tabla 17 – Principios que solventan la contradicción longitud-peso de un objeto.....  | 156 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 18 – Campos aplicables al ejemplo y soluciones que pueden proporcionar.....  | 160 |
| Tabla 19 - Correspondencia de los términos de las RFB del NIST con las funciones de TRIZ tomadas de la base de datos de Creax (en cursiva los términos repetidos). ..... | 163 |
| Tabla 20 – Taxonomía de los campos.....  | 167 |
| Tabla 21 – Extracto de la matriz de correspondencias campos – comportamientos. ....  | 170 |
| Tabla 22 – Búsqueda y evaluación de estructuras a partir de los campos correspondientes al comportamiento (2, 1, 3).....   | 174 |
| Tabla 23 – Campos que proporcionan solución según la regla 2 de los Su-Fields.....   | 178 |
| Tabla 24 – Búsqueda y evaluación de estructuras a partir de los comportamientos correspondientes al campo “Mechanical/Flow/Vacuum” .....                                 | 179 |
| Tabla 25 – Búsqueda y evaluación de estructuras a partir de los comportamientos correspondientes al campo “Thermal/High gradient/Freeze” .....                           | 180 |
| Tabla 26 – Búsqueda cruzada de estructuras-solución para la regla 2 .....  | 184 |
| Tabla 27 - Búsqueda cruzada de estructuras-solución para la regla 3 .....  | 185 |
| Tabla 28 - Búsqueda cruzada de estructuras-solución para la regla 4 .....  | 186 |
| Tabla 29 - Búsqueda cruzada de estructuras-solución para la regla 1 .....  | 188 |
| Tabla 30 – Búsqueda de estructuras-solución para proteger del comportamiento (2, 4, 3) según la regla 2.....   | 189 |
| Tabla 31 - Búsqueda de estructuras-solución para proteger del comportamiento (1, 2, 3) según la regla 2.....   | 190 |
| Tabla 32 – Búsqueda de estructuras-solución para proteger del comportamiento (2, 4, 3) según la regla 3.....   | 191 |
| Tabla 33 – Búsqueda de estructuras-solución para proteger del comportamiento (1, 2, 3) según la regla 3.....   | 192 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 34 - Comparativa de métricas para determinar la creatividad de los productos. ....                         | 196 |
| Tabla 35 – Taxonomía de los pares bipolares de la CPSS de Besemer y O’Quin (1989) .....                          | 198 |
| Tabla 36 – Ejemplo de aplicación de la escala de Moss (1966).....  | 200 |
| Tabla 37 – Resultado de la evaluación de la creatividad utilizando el modelo de Sarkar y Chakrabarti (2008)..... | 208 |
| Tabla 38 - Resultado de la evaluación de la creatividad utilizando la escala de Moss.....                        | 209 |
| Tabla 39 – Resultado de la evaluación de la creatividad utilizando la EPI de Justel.....                         | 210 |
| Tabla 40 – Taxonomía de los campos del comportamiento humano (Belski, 2007).....                                 | 221 |



# **1 Introducción**



## 1.1 Objeto

El presente proyecto de Tesis Doctoral se ha realizado mayoritariamente, pero no exclusivamente, dentro del proyecto “Eco-innovación basada en el esquema FBS y la gestión del conocimiento en la ingeniería”, subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España con la referencia DPI2006-15570-C02-01, y por los fondos europeos FEDER (Fondeos Europeos para el Desarrollo Regional). El proyecto trata de abarcar el desarrollo de un sistema de diseño y gestión del ciclo de vida del producto basado en el conocimiento, enfocado hacia la optimización y automatización de las decisiones en las fases de diseño de producto por medio de técnicas y herramientas de gestión del conocimiento (Figura 1). El núcleo central del proyecto consiste en la elaboración de un sistema de síntesis de diseño que trabaje sobre una estructura de librerías de modelos creadas para tal efecto. El objetivo de este nuevo sistema permitirá, no sólo recopilar el conocimiento disponible, sino también asistir en el proceso de diseño de nuevos productos. El punto específico del proyecto sobre el que se ha elaborado el presente trabajo de Tesis consiste en el desarrollo de un modelo de gestión del conocimiento para la síntesis de soluciones de diseño basado en el marco FBS (Función-Comportamiento-Estructura).

Esta Tesis es fruto además de la compilación del trabajo realizado en diversos proyectos y convenios de menor envergadura a lo largo de los últimos cuatro años.

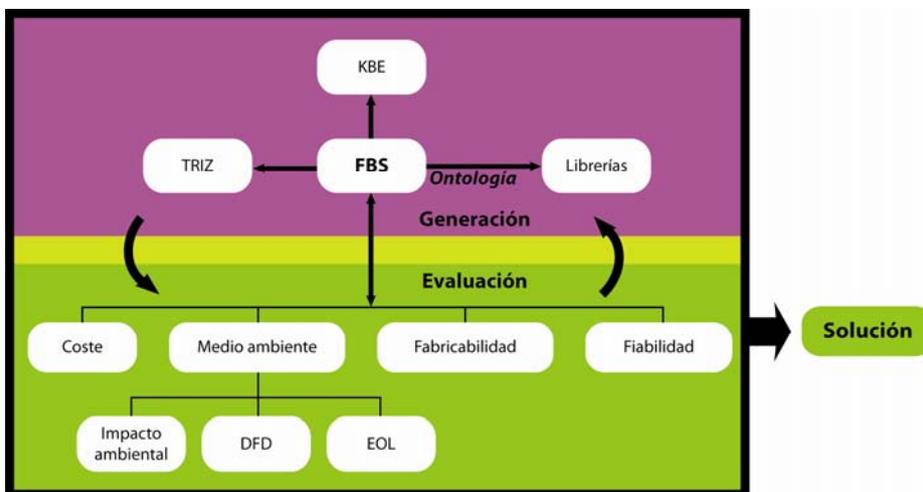


Figura 1 – Esquema del proyecto DPI2006-15570-C02-01

La Tesis trata, a nivel general, de hacer una aportación relevante para lograr una automatización del diseño funcional en su fase conceptual elaborando un modelo para modelar el conocimiento en la capa de comportamientos del marco FBS que permita llevar implícita una ontología, que será lo que permitirá integrarlo en un sistema como el definido en el proyecto DPI2006-15570-C02-01. Para ello se ha recurrido al campo de las taxonomías y las ontologías, separando el modelo en dos partes diferenciadas, pero relacionadas, en función de si se refiere al diseño de productos (comportamientos físicos) o diseño de procesos (comportamientos de rol o abstractos). Del mismo modo, puesto que el proyecto trata de asistir en el proceso de diseño de nuevos productos, en la Tesis se ha tratado de vincular el modelo elaborado con herramientas innovadoras, como las planteadas por TRIZ (Teoría de Resolución de Problemas Inventivos), y como complementación a este punto se han analizado diferentes herramientas de evaluación de la creatividad con el objeto de poder establecer vínculos con el modelo para analizar las diferentes salidas del sistema y seleccionar la más óptima. El modelo, que se detalla más específicamente a lo largo del proyecto de Tesis, se le ha denominado B-Cube o behaviour's Cube, esto es, cubo de comportamientos, dada su estructura tridimensional para organizar los términos que van a definir los comportamientos.

Aunque inicialmente fuera del proyecto DPI2006-15570-C02-01, otro aspecto de interés del trabajo es la labor en el modelado de los comportamientos de rol, con la intención de que se puedan tratar a los procesos como productos, o la misma organización de la empresa como un producto, partiendo de la definición de las funciones que deben de ser llevadas a cabo por los trabajadores siguiendo los fundamentos del diseño funcional con el objeto de poder emplear las mismas herramientas utilizadas para el diseño de productos al de procesos, y optimizar, teóricamente, tanto un proceso como los resultados del mismo. Asimismo, esta asimilación permite que los logros de la asistencia al diseño y vinculación con herramientas de innovación alcanzados por el modelo propuesto sean aplicables a procesos del mismo modo que lo eran para productos. Así, además de conseguir optimizar tiempos y resultados del diseñador también se logran expandir los horizontes de las herramientas para la innovación tradicionalmente ligadas al producto exclusivamente.

## 1.2 Justificación

Los logros de la presente Tesis tienen una particular relevancia, principalmente, en el campo de la ingeniería de diseño o ciencia del diseño, y pretende ayudar en la resolución de problemas, siendo éste el objetivo de la ciencia del diseño (Gómez-Senent, 1998). El modelo desarrollado en este trabajo permite profundizar en los conceptos del diseño funcional y mejorar la gestión del conocimiento dentro del mismo, tema considerado en la investigación de numerosos autores de los que se sigue la línea en el presente trabajo (Deng, 2000; Kitamura & Mizoguchi, 2003a; Sudarsan *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2001). Así pues, el modelo pretende optimizar el trabajo del diseñador, tanto en tiempo como en resultados, en cuanto al modelado de diseños, la representación de los mismos y del conocimiento implícito en ellos, y en la posibilidad de compartir dicha información de un modo útil y coherente que permita su comprensión por terceros minimizando la pérdida de información en el proceso. Estos resultados también se verán mejorados por la vinculación del sistema de diseño con herramientas para la innovación, que permitirán que el diseñador proporcione soluciones con un nivel de creatividad más elevado, como ya han apuntado con anterioridad algunos autores (Aamodt & Plaza, 1994; Nakagawa, 2004; Tseng *et al.*, 2007).

A nivel científico, la tesis proporciona un modelo de representación y modelado del conocimiento a nivel de comportamientos capaz de actuar como vínculo entre el nivel de funciones y el de estructuras. A pesar de la fina línea que separa los conceptos de función y comportamiento, la principal diferencia y de mayor importancia entre sendos niveles radica en el nivel de concreción de los comportamientos frente al nivel más abstracto de las funciones. Una mayor diferenciación entre estos términos será desarrollada en el capítulo 2 Estado del arte.

El modelado del conocimiento de los comportamientos a través del modelo B-Cube defendido en la presente Tesis permite una mejor selección de las estructuras óptimas para establecer una solución más acorde con los objetivos funcionales iniciales en un diseño, a la vez que permite cubrir el vacío dejado en dicho nivel de comportamientos cuando se pretende trabajar con un esquema FBS. El modelo presentado pretende seguir las pautas del NIST (National Institute of

Standards and Technology) en la elaboración de las RFB (reconciled Functional Basis) (Hirtz *et al.*, 2002), donde establecen una reconciliación de taxonomías de funciones a nivel de diseño mecánico con el objeto de conseguir un conjunto universal de funciones para su representación, y elaborar un esquema fijo para el modelado de funciones y su representación en el Diseño Asistido por Ordenador (CAD). Del mismo modo, el modelo B-Cube proporciona un conjunto universal de comportamientos para su representación y un esquema para su modelado y representación en herramientas CAD, con la ventaja añadida de que su planteamiento ontológico frente al taxonómico del NIST proporciona una mayor reducción de la ambigüedad de los términos empleados y un incremento considerable de la uniformidad que permite facilitar el intercambio de información de comportamientos entre diferentes aplicaciones.

Mientras que desde un punto de vista puramente industrial, el interés general se centra en la posibilidad de elaborar un sistema de síntesis de diseño que opere sobre una estructura de librerías de modelos, que permita recopilar y aplicar en el diseño de nuevos productos el conocimiento disponible, contemplando criterios de innovación como valor añadido de producto, y abriendo las puertas a su vinculación con otras herramientas diferentes que permitan incrementar aún más sus posibilidades. Este nuevo sistema repercutirá directamente en la competitividad de las PYMEs, mejorando la calidad de sus productos en cuanto a novedad, utilidad y satisfacción del cliente, a la vez que se pretende que acorte el ciclo de diseño de productos tanto en tiempo como en costes.

### **1.3 Hipótesis**

La hipótesis general que se defiende en el presente proyecto de Tesis se postula del siguiente modo:

Modelar el conocimiento de la capa de comportamientos dentro de un esquema FBS es un paso intermedio y obligado entre las funciones y las estructuras en el proceso de diseño funcional, y permite mejorar la generación de soluciones innovadoras en la fase de diseño conceptual.

## 1.4 Objetivos

Coherentes con la hipótesis, los objetivos que se aspira a conseguir en la Tesis serán diferenciados en objetivos globales y objetivos específicos. Por parte de los objetivos globales se pretende:

- Elaborar un nuevo modelo para el modelado y representación del conocimiento a nivel de comportamientos en un marco FBS, claro e inequívoco, enfocado hacia la optimización y automatización de las decisiones en las fases de diseño de producto o proceso por medio de técnicas y herramientas de gestión del conocimiento y hacia una mejor transferencia del conocimiento minimizando las pérdidas de información.
- Dicho modelo debe permitir su vinculación con otras herramientas para optimizar el proceso de diseño, especialmente con herramientas centradas en la innovación y la creatividad, con la finalidad de mejorar la generación de soluciones innovadoras.

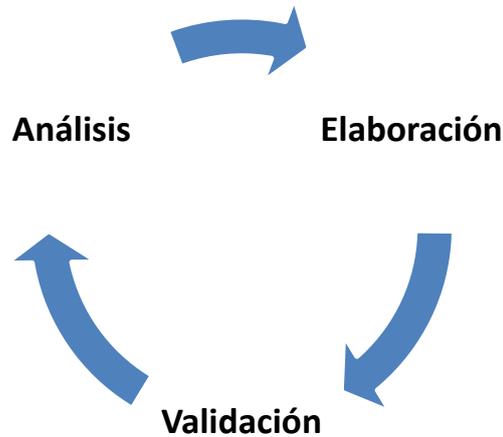
Como objetivos específicos tenemos que:

- El modelo puede ser válido para trabajar con las metodologías y herramientas utilizadas hasta el momento para el modelado de funciones en el campo del diseño, como lo son el caso de las *reconciled functional basis* (RFB) del NIST y la familia de lenguajes de modelado IDEF.
- El modelo debe abarcar el modelado de artefactos y también procesos y estructuras organizacionales.
- Se podrá integrar con herramientas TRIZ.
- El modelo se validará de un modo teórico-práctico.
- Se valorará el grado de creatividad de los resultados producidos por la integración de las herramientas de TRIZ con el modelo propuesto para verificar la mejora resultante de la vinculación de los mismos.

## 1.5 Metodología

Para la consecución de los objetivos indicados en el punto anterior se ha seguido una metodología cíclica como la que se muestra en la Figura 2, en la que después de cada fase de análisis sigue una de

elaboración, luego se validan los resultados elaborados para con ello analizar más información para seguir con la fase siguiente.

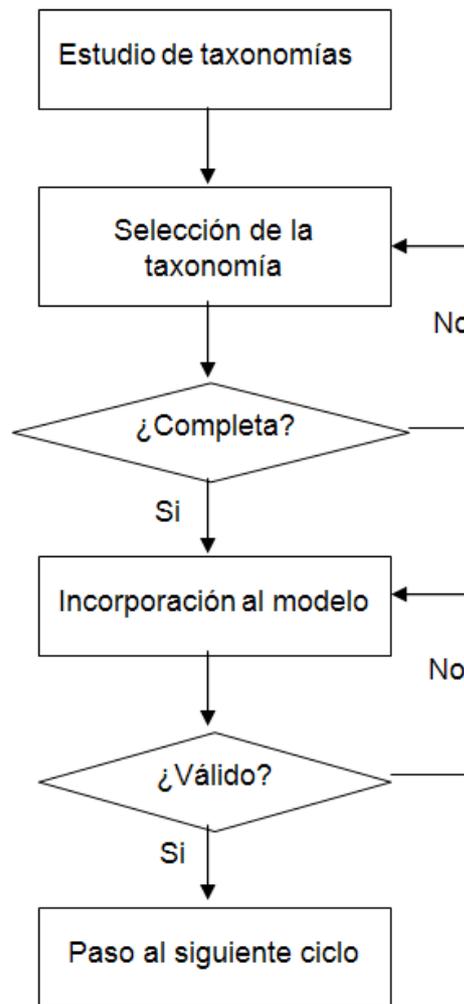


**Figura 2 – Metodología aplicada al desarrollo de la Tesis**

Cada fase de análisis comprende una revisión bibliográfica completa y un estudio profundo sobre aquellos trabajos que se adapten mejor a los objetivos de la Tesis en el aspecto en concreto de cada punto. Por su lado, las partes de elaboración se refieren al trabajo realizado en cada parte con la información recopilada para la elaboración y defensa del modelo planteado en las hipótesis de trabajo, mientras que cada fase de validación se centra en la aplicación teórico-práctica de cada una de las partes elaboradas sobre diversos ejemplos con la finalidad de corroborar que se ha alcanzado el nivel de éxito y fiabilidad deseado. En concreto, los ciclos completados han sido los mostrados en la Tabla 1. Cada fila de la tabla muestra uno de los ciclos representados en la metodología para el desarrollo del proyecto de Tesis. El diagrama de flujo mostrado en la figura 3 muestra de otro modo como transcurre el proceso metodológico en cada uno de los ciclos representados en cada fila de la tabla.

**Tabla 1. Pasos de la metodología empleada en la Tesis**

| Análisis  | Elaboración   | Validación  |
|---|---|---|
| <p><b>Taxonomías y ontologías de funciones</b></p> <p><b>Taxonomías y ontologías de comportamientos</b></p> | <p>Parte física del modelo elaborado, considerando principalmente los trabajos del NIST (Hirtz <i>et al.</i>, 2002) y la DOLCE (Masolo <i>et al.</i>, 2003)</p> | <p>Estudio de casos teórico-prácticos utilizando el modelo B-Cube en el diseño funcional de productos</p>   |
| <p><b>Taxonomías y ontologías del comportamiento humano</b></p>   | <p>Parte abstracta del modelo elaborado, considerando principalmente el trabajo de Fineberg (1995)</p>  | <p>Estudio de casos teórico-prácticos utilizando el modelo B-Cube en el diseño funcional de procesos y estructuras organizacionales</p>   |
| <p><b>Herramientas de TRIZ</b></p>  | <p>Selección de la herramienta de TRIZ óptima y vinculación taxonómica de dicha herramienta con el modelo B-Cube</p>  | <p>Estudio de casos teórico-prácticos en la búsqueda de soluciones innovadoras a través de la vinculación del modelo B-Cube con TRIZ</p>  |
| <p><b>Métricas de la creatividad</b></p>  | <p>Selección de la métrica o métricas óptimas para la evaluación de soluciones del sistema partiendo del análisis bibliográfico realizado</p>                   | <p>Valoración de soluciones innovadoras a través de la aplicación de la métrica seleccionada sobre diversas soluciones proporcionadas por un mismo caso, y su comparación con otras escalas validadas</p> |



**Figura 3 – Diagrama de flujo de un ciclo del proceso metodológico**

## 1.6 Estructura de la tesis

La Tesis se organiza en los siguientes capítulos:

En el capítulo 2 se describe el estado del arte de todos los factores que afectan al modelo para el diseño funcional defendido en la Tesis, tanto de aquellos sobre los que se construye el modelo, como aquellos que se derivan de la aplicación del modelo. Siguiendo el mismo orden que el definido en la metodología empleada para desarrollar la Tesis, en primer lugar se expone la investigación precedente en el terreno del diseño funcional y el marco FBS. A

continuación se presenta una revisión general de las taxonomías y ontologías relevantes para el trabajo, así como de otras formas de representar y gestionar el conocimiento. Después de ello se exponen los métodos creativos, desde una vista global de los mismos y su aplicación a las herramientas CAI, hasta una vista más concreta del caso de las herramientas de TRIZ. Para finalizar el capítulo se presenta una revisión de diferentes métricas empleadas hasta el momento para la evaluación de la innovación.

En el capítulo 3 se define el modelo B-Cube para el diseño de útiles y objetos físicos y tangibles en todos los aspectos: sus bases taxonómicas y ontológicas, la evolución de su desarrollo, sus ejes y los términos correspondientes a cada eje. Asimismo, en este capítulo se presenta su relación con las *reconciled functional basis* (RFB) del NIST con el objeto de buscar su relación con el nivel de funciones en el marco B-FES (Behaviour-driven Function-Environment-Structure) y con otras aplicaciones con posibilidad de vincularse al modelo B-Cube. Para finalizar el capítulo se muestran varios ejemplos de la aplicación al uso del modelo B-Cube en el diseño de objetos. Los ejemplos se presentan en orden de complejidad creciente. Del mismo modo, antes de los ejemplos se muestra el modelo informal basado principalmente en el lenguaje de modelado IDEF4 para la representación de diseños basados en el esquema B-FES elaborado para tal efecto durante la generación del trabajo de Tesis.

El capítulo 4 guarda similitud con el capítulo 3, pero en este caso se refiere a la parte abstracta del modelo y los comportamientos de rol. En este capítulo se desarrolla la parte abstracta del modelo B-Cube, comenzando por una relación de las taxonomías empleadas hasta el momento para representar el comportamiento humano con la finalidad de delimitar cuál de ellas refleja mejor el uso requerido por el nivel de funciones del marco B-FES, y cual sirve mejor para completar el nivel de comportamientos. El capítulo concluye con la ejemplificación de las posibilidades del modelo B-Cube para el diseño conceptual de procesos y organización de empresas.

El capítulo 5 muestra las posibilidades de vincular las herramientas de TRIZ con el diseño funcional a través del modelo B-Cube. Para tal efecto se incide sobre las taxonomías de las herramientas de TRIZ y se presenta un estudio individual sobre las diferentes herramientas para apuntar a la más idónea entre ellas para realizar la mencionada

vinculación. El capítulo finaliza con diversos ejemplos para mostrar las posibilidades de dicha vinculación.

En el capítulo 6 se muestran las posibilidades para la evaluación de la creatividad de los diseños. El objetivo de este capítulo es crear las bases para una futura vinculación de una herramienta de evaluación de soluciones con la misma aplicación para generarlas centrada en el modelo B-Cube.

Para finalizar, el capítulo 7 muestra las conclusiones obtenidas del presente proyecto de Tesis doctoral, y señala las futuras líneas de investigación que surgen de dichas conclusiones.

## **2 Estado del arte**



## 2.1 Introducción

El presente capítulo refleja el estado del arte actual de aquellos aspectos que afectan al modelo desarrollado, que se defiende en los capítulos posteriores. El orden en que se presentan dichos aspectos sigue, por lo tanto, el mismo orden en que aparecerán a lo largo de la Tesis. En primer lugar, se hace necesaria la introducción al diseño funcional para poder comprender el marco FBS, que es el entorno para el que está pensado el modelo B-Cube. Conceptos importantes también para poder desarrollar dicho modelo son las ontologías sobre las cuales se basa, así como otros modelos de representación del conocimiento que sirven para completar y comprender mejor a la vez el desarrollo del modelo.

La segunda mitad del capítulo se centra en las metodologías para la creatividad existentes en el campo del diseño, más concretamente en aquellas que permiten su adaptación a aplicaciones informáticas para poder elaborar con ellas herramientas CAI. Entre éstas destaca la metodología TRIZ, que debido al gran número de herramientas diferentes que posee es la que se ha escogido en el presente trabajo para su vinculación con el modelo B-Cube, con la finalidad de mejorar la creatividad de los resultados del proceso de diseño. Por tanto, se hace necesario el poder evaluar la creatividad de dichos resultados, por lo que el capítulo concluye con una revisión del estado del arte de las métricas para la creatividad más significativas relacionadas con el producto.

## 2.2 El diseño funcional

El proceso de diseño se podría definir como *“la búsqueda de la resolución del paradigma de la transformación función – a – estructura – a – instrumento físico”* (Kumara & Kamarthi, 1991). Diversos autores han dividido el proceso de diseño en sus fases, quedando como consenso las fases de análisis, síntesis y evaluación (Pahl & Beitz, 1996; Roozenburg & Eekels, 1995; Terpenney, 1998). Todas y cada una estas fases presenta un cierto número de problemas que debe resolver el ingeniero o diseñador.

Así pues, sabemos que la ingeniería de diseño conlleva un proceso continuo de solución de problemas. A pesar del extendido uso del “ensayo y error” utilizado frecuentemente por muchos ingenieros para

resolver dichos problemas, está demostrado que los mejores resultados se obtienen del uso de metodologías de diseño (Mulet *et al.*, 2009). El diseño funcional es una de esas metodologías, que se aplica en la fase de análisis del proceso de diseño. La idea de solucionar un problema mediante la partición de un proyecto en varios problemas parciales fue ya desarrollada a principios de la década de 1960 (Alexander, 1964; Asimow, 1962). Uno de los modelos más comúnmente aceptados y utilizados dentro del diseño funcional es el esquema FBS (*Function-Behaviour-Structure*) y sus diferentes variantes. Los pilares del esquema FBS son los conceptos de función, comportamiento y estructura. A pesar de que estos términos han sido utilizados desde hace mucho tiempo, no fue hasta la década de 1990 cuando fueron claramente definidos y propuestos como marco de trabajo para el modelado y representación del diseño de la mano de Gero (1990) y de Umeda *et al.* (1990). Por tanto, a lo largo del presente punto se explica, en primer lugar los conceptos de función y comportamiento y su diferenciación acorde con diferentes autores, y posteriormente se procederá a explicar el modelo FBS en sí.

### **2.2.1 Los conceptos de función y comportamiento**

A pesar de la importancia de los términos función y comportamiento en la ingeniería de diseño, todavía existen ciertas ambigüedades y confusiones fundamentales sobre sus definiciones. La desventaja que supone la falta de consenso a nivel conceptual gana importancia cuando las descripciones de función y comportamiento deben de trabajar al unísono. Esto sucede, por ejemplo, cuando el proceso de diseño se modela como un procedimiento en el cual el conocimiento sobre las relaciones entre funciones, comportamientos y estructuras físicas o artefactos se recupera a través de bases de datos. En este caso el hecho de disponer de un conjunto común de definiciones se convierte en esencial (Borgo *et al.*, 2009)

Chandrasekaran (2005) hace distinción entre dos enfoques generales para la definición de las funciones de los artefactos técnicos, llamados “representación funcional” y “modelado funcional”. Ambos enfoques son mutuamente complementarios, y su evolución desde el punto de vista científico ha sido paralela. La investigación en el primer enfoque, la representación funcional, proporciona la capa básica para las ontologías de artefactos en un marco de trabajo formal, y permite clarificar los significados de términos como función y estructura, además de respaldar la representación del conocimiento de artefactos

para el razonamiento automatizado. El modelado funcional, por su parte, proporciona otra capa para las ontologías de artefactos al tratar de identificar los comportamientos primitivos aplicables a los subconjuntos de los artefactos, con la esperanza de que las funciones puedan ser descritas en dichos dominios economizando términos. Esto puede conducir a catálogos de funciones y artefactos para áreas específicas de la ingeniería. Con una potenciación de la formalización, el trabajo en el campo del modelado funcional puede proporcionar un dominio de términos específicos para la representación de funciones, del conocimiento y el razonamiento automático.

En relación con esta primera vertiente definida como representación funcional, Chandrasekaran y Josephson (2000) han llegado a diferenciar cinco definiciones diferentes para el término comportamiento y otras dos para función. Las definiciones de comportamiento se caracterizan conforme al concepto primario de “variable de estado” del siguiente modo:

- Comportamiento como el valor de alguna variable de estado de un artefacto o una relación entre valores en un instante particular.
- Comportamiento como el valor de una propiedad de un artefacto o una relación entre valores.
- Comportamiento como el valor de alguna variable de estado de un artefacto sobre un intervalo de tiempo.
- Comportamiento como el valor de alguna salida (output) variable de estado de un artefacto en un instante particular o sobre un intervalo.
- Comportamiento como los valores de todas las variables de estado descritas del artefacto en un instante particular o sobre un intervalo.

Por su parte, las dos definiciones del término función que diferencian Chandrasekaran y Josephson son: función centrada en el artefacto (artefacto-céntrica) y función centrada en el medio (medio-céntrica). Una función centrada en el artefacto es un comportamiento del artefacto seleccionado y pretendido por algún agente, es decir, el “qué” en términos del artefacto. Este tipo de función se describe solamente en términos de propiedades y comportamientos del artefacto; un ejemplo de una función artefacto-céntrica es “hacer sonido” en el caso

de un timbre eléctrico. Una función centrada en el medio es, por su parte, un efecto o un impacto de dicho comportamiento del artefacto sobre el medio en que opera, siempre que dicho efecto o impacto sea seleccionado y pretendido por algún agente (el “por qué” del artefacto). Este tipo de funciones se encuentra separado conceptualmente del artefacto que la lleva a cabo, o se espera de él que la lleve a cabo; “permitir a un visitante a una casa el poder informar a la persona de dentro de la casa de que hay alguien en la puerta” sería la función centrada en el medio del timbre.

Por otro lado, el modelado funcional incluye las bases funcionales de Stone & Wood (2000). Éstos modelan las funciones de producto globales de los artefactos técnicos, especialmente en los dominios mecánico y electromecánico, como un conjunto de subfunciones elementales conectadas entre sí. Una función global de producto se define como una relación entrada/salida de un artefacto, cuyo propósito es el de llevar a cabo una función global, y se representa como una caja negra sobre la que operan flujos de materiales, energías y señales. Una subfunción lleva a cabo una parte de una función global y queda representada por una operación básica definida con un flujo bien definido de materiales, energías y señales, los cuales se pueden encontrar en librerías capaces de listar todas las operaciones y flujos básicos posibles. Estas librerías son las denominadas “*functional basis*” (Hirtz *et al.*, 2002)

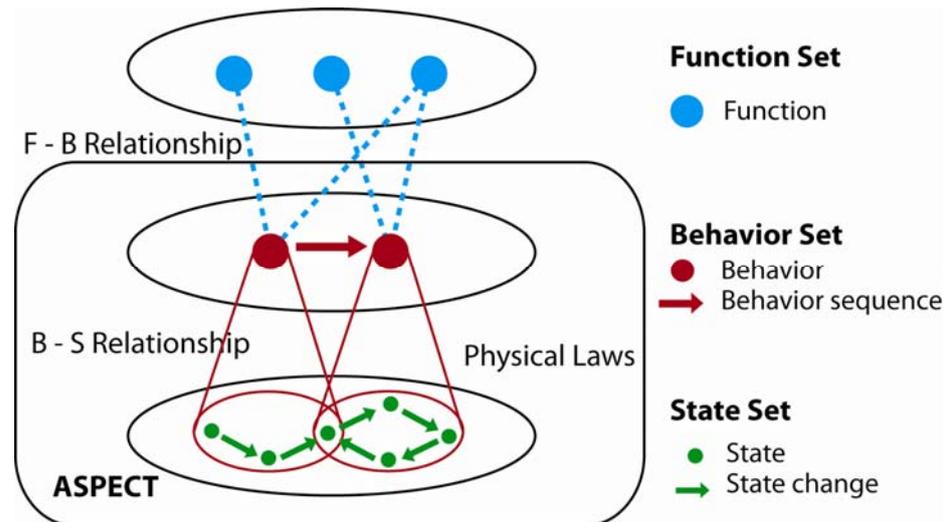
Deng (2002) intentó abordar el problema de la integración de las funciones de propósito y las funciones de operación (subfunciones) del modelado funcional con las funciones y los comportamientos de la representación funcional a través de la restricción de los diseños en la fase conceptual de los productos mecánicos. De acuerdo con Deng, la función situada a un mismo nivel de abstracción que un comportamiento es definida como la función operacional, y ésta puede estar referida de un modo más específico a una función de acción, definida como “*un interacción física entre dos objetos de interés, donde cada uno de ellos puede ser un componente del diseño o el propio diseño y su medio*”. Por consiguiente, la función puede ser semánticamente clasificada en dos tipos diferentes: función de propósito y función de acción. Una función de propósito se define como una descripción de la intención del diseñador o del propósito de un diseño; por su parte, una función de acción se define como una abstracción de un comportamiento intencionado y útil que presenta un

artefacto. En la misma línea Vermaas y Dorst (2007) argumenta que las descripciones de las operaciones sobre flujos (subfunciones), tal y como las utilizan Stone & Wood (2000), pueden ser utilizadas como representaciones de los comportamientos de productos y sus componentes.

La función de propósito posibilita un rango mayor de selección de soluciones de diseño, con un vocabulario funcional cuidadosamente elaborado. Bien en un dominio específico o bien orientado a varios dominios de interés, las funciones de propósito pueden ser utilizadas para permitir una síntesis de diseño más amplia y más flexible (Deng, 2002), como por ejemplo en el trabajo de Hirtz *et al.* (2002).

### **2.2.2 El esquema FBS**

El marco FBS presentado inicialmente por Gero (1990) y por Umeda *et al.* (1990) (Figura 4) es ampliamente utilizado por los diseñadores como metodología para el proceso de análisis de diseños, puesto que permite representar la evolución de un diseño a partir de un estudio de protocolos. Dicha figura muestra, en un nivel superior y separado el nivel de funciones (*function set*), cuyos componentes se relacionan directamente con los componentes de la capa de comportamientos (*behaviour set*). Estos a su vez se relacionan con uno o varios componentes de la capa inferior, donde aparecen las estructuras agrupadas por conjuntos o *assemblies*, en la que determina como capa de estado (*state set*) que forma el aspecto físico del objeto. El propio Gero y muchos otros investigadores se han encargado de ampliar el estudio de la representación del esquema FBS hasta el día de hoy (Chandrasekaran, 2005; Chiang *et al.*, 2001; Deng, 2002; Gero & Kannengiesser, 2002; Gero & Kannengiesser, 2004; Hutcheson *et al.*, 2007; Kitamura & Mizoguchi, 2004; Takeda *et al.*, 1994; Umeda *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2006). Dentro de este marco, función representa el propósito que el diseño debe llevar a cabo, estructura representa a los elementos físicos de la solución, y comportamiento actúa como vínculo entre éstos dos, es decir, la manera específica en que dichos elementos físicos llevan a cabo la función requerida.



**Figura 4- Marco FBS según Umeda et al.. (1990)**

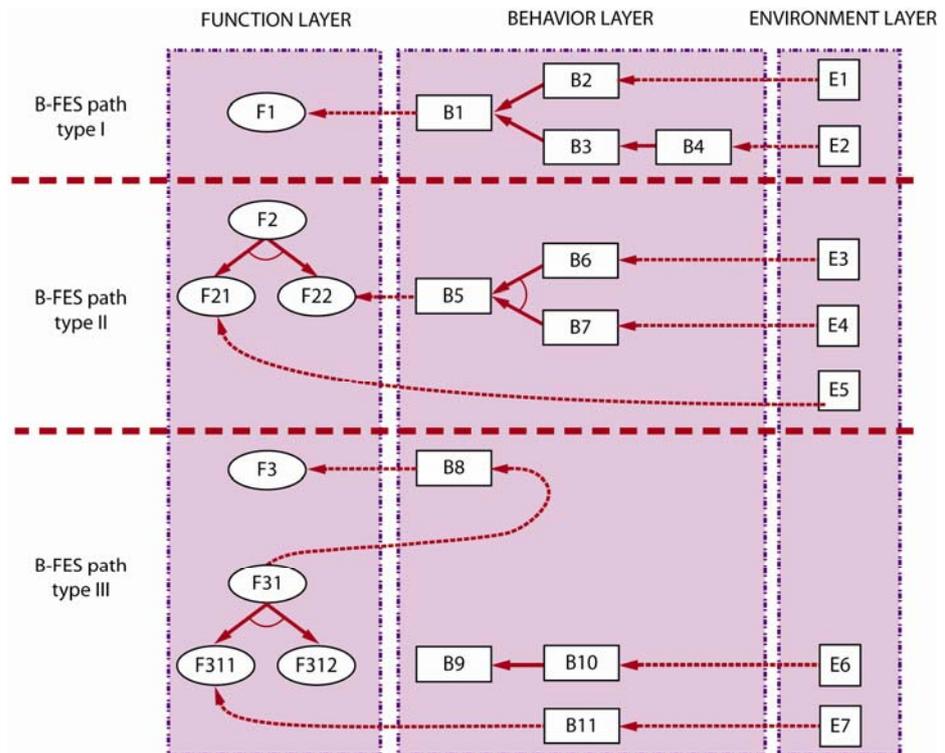
A pesar de que los diferentes autores Borgo *et al.* (2006), Deng (2002) Tor *et al.* (2002), Umeda *et al.* (1990) y Zhang *et al.* (2002c) difieren ligeramente en la definición exacta de los tres términos del marco FBS, una definición que podría llegar a un acuerdo entre ellos es que la función es el propósito abstracto y general hacia el cual se orienta el diseño; es la descripción abstracta del comportamiento de un útil. Responde a las preguntas para qué sirve o qué hace. Se define desde un punto de vista abstracto evitando la utilización de verbos pasivos o indirectos para su definición. Por ejemplo: unir, cortar, absorber.

Cuando una función es llevada hacia un nivel de abstracción menor, y pasa a definir cómo un instrumento o sus partes se relacionan con el uso para el cual han sido diseñados y son utilizados, realmente lo que estamos definiendo es el comportamiento. Un comportamiento es, pues, el modo de actuar específico de una estructura al realizar una función, y relaciona a estos dos elementos dentro del marco. Responde a la pregunta de cómo lleva a cabo una función un elemento concreto. Su definición precisa de un verbo más concreto, o de un verbo con complementos. Siguiendo con el ejemplo de la función “unir”, el comportamiento diferencia entre unir por fusión de material (cuando soldamos dos objetos), unir con aditivos (cuando los pegamos), unir mecánicamente (remachar), etc.

Todos los instrumentos y sus partes tienen estructura física, y son estas estructuras y su relación con el medio las que determinan el

comportamiento específico, el cual a su vez está relacionado con la función del instrumento en cuestión. Así, la estructura describe los elementos, partes y ensamblajes que definen al objeto solución, capaz de llevar a cabo la función requerida de un modo concreto. Responde a las preguntas qué es y cómo es. Por ejemplo, todas las partes que componen una grapadora serían estructuras, incluida la grapa, cuya función principal sería la de ser capaz de “unir” varias hojas.

Basándose en el marco FBS ha surgido una amplia variedad de modelos derivados del mismo. Uno de ellos, que tiene un interés especial para la elaboración de la presente Tesis, es el modelo B-FES (*Behaviour-driven Function-Environment-Structure*) (Deng *et al.*, 2000; Tor *et al.*, 2002; Zhang *et al.*, 2002c), representado en la Figura 5. La aportación interesante de esta variable es la adición del medio (*environment*) al esquema. Este dato incrementa considerablemente las opciones de búsqueda, exploración, combinación y selección en los sistemas basados en el esquema FBS. Aquí, tal y como se aprecia en la Figura 5, funciones, comportamientos y estructuras son modelados en diferentes capas con relaciones jerárquicas, interactivas y casuales. El modelo B-FES utiliza una estrategia de modelado guiada por los comportamientos con la finalidad de llegar a la función deseada a través de uno de los tres caminos o sendas predefinidos. Al mismo tiempo, el modelo propone un sistema con el objeto de analizar las soluciones en pasos consecutivos, de modo que las soluciones son analizadas y evaluadas a medida que van surgiendo, y sólo aquellas con la mejor puntuación prosiguen hacia el desarrollo de la solución final.



**Figura 5 –Representación del modelo B-FES según Tor et al.. 2002**

El marco FBS, y por consiguiente el marco B-FES, permiten llevar a cabo el modelado computacional, es decir, aplicaciones informáticas capaces de explorar y buscar procedimientos de solución a problemas de diseño representados por funciones, con el objetivo de combinar dichos procedimientos y encontrar soluciones óptimas para un problema específico. Así pues, varios autores han presentado sus propuestas de aplicaciones para la implementación de procedimientos basados en el esquema FBS (Qian, 2002), o bien han intentado elaborar librerías de funciones o estructuras con la finalidad de poder ser implantadas en procesos de razonamiento funcional (Bracewell & Sharpe, 1996; Campbell *et al.*, 2003; Chakrabarti, 2002; Lossack, 2002; Lossack *et al.*, 1998; Ying-Chieh *et al.*, 2000). Este tipo de sistemas han podido evolucionar considerablemente gracias al uso de clasificaciones de funciones (Deng, 2002), es decir, gracias al uso de las taxonomías.

Cabe destacar que, aunque inicialmente el diseño funcional y el esquema B-FES se centró en el desarrollo de objetos, dichos marcos de trabajo también sirven para el diseño y representación del

conocimiento social y abstracto, tal y como han defendido en sus trabajos numerosos autores durante la última década (Bottazzi & Ferrario, 2006; Castelfranchi, 1998; Gero & Fujii, 2000; Gero & Kannengiesser, 2003a, b; Lin & Zhang, 2004).

## 2.3 Modelos de representación del conocimiento

La cantidad de conocimiento existente en el universo es inmensa, casi infinita, por lo que su asimilación y manipulación se hace extremadamente difícil si se quiere abarcar completamente sin ningún tipo de orden ni clasificación. Para poder ser capaces de gestionar dicho conocimiento, cada rama diferente de las ciencias (biología, botánica, medicina, física...) ha desarrollado sus sistemas particulares para tal efecto, y se han elaborado multitudes de vocabularios y clasificaciones con la intención de estructurar cada parte específica del conocimiento. Un tipo especial de clasificación muy comúnmente utilizado son las taxonomías y las ontologías, siendo las segundas una mejora de las primeras en lo referente a gestión del conocimiento.

Más allá de la catalogación de los términos de una rama específica del conocimiento, se han abierto paso a lo largo del tiempo los lenguajes para la representación del conocimiento. Del mismo modo que el vocabulario humano transmite mejor la información gracias a nuestros lenguajes, los lenguajes de modelado facilitan la transmisión de conocimiento entre ingenieros y entre aplicaciones. Es la posibilidad de su uso en aplicaciones y sistemas expertos lo que ha potenciado la creación y desarrollo de Sistemas Basados en el Conocimiento (KBS), capaces de poder recuperar el conocimiento almacenado y transferirlo de un dominio a otro.

### 2.3.1 Taxonomías y ontologías

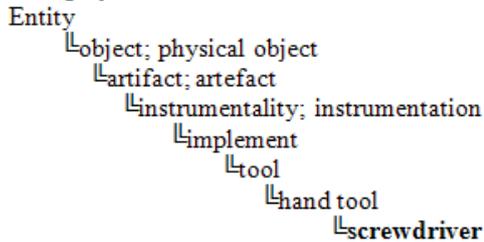
Una taxonomía consiste en un conjunto de conceptos y relaciones organizados jerárquicamente cuyos conceptos pueden clasificarse en clases y subclases (Gilchrist, 2003). Las taxonomías propiamente dichas fueron introducidas como tales a nivel industrial de la mano de Gershenson y Stauffer (1995), haciendo referencia al desarrollo de taxonomías elaborado por la Universidad de Idaho. Según los citados autores existe una taxonomía diferente para cada parte del ciclo de vida del producto a nivel corporativo: *marketing, business environment, strategic management, finance, accounting, manufacturing, shipping, support/service y retirement*. Sin embargo, el primero en diferenciar

las funciones fue Szykman *et al.* (1999) con una extensa revisión de los términos utilizados para describir funciones y flujos en un contexto ingenieril entre 1976 y 1998. Desde entonces se han desarrollado bastantes taxonomías de funciones en un intento de optimizar y facilitar una integración del análisis funcional en modelos informáticos (Feygenson, 2006; Golden, 2005), pero la reconciliación de taxonomías más importante hoy en día nos la proporciona el NIST (National Institute of Standards and Technology) (Hirtz *et al.*, 2002), que nos presenta una reconciliación e integración de otros trabajos (Altshuller, 1984; Hundal, 1990; Pahl & Beitz, 1984), pero principalmente de las investigaciones realizadas por el NIST (Szykman *et al.*, 1999) y el trabajo de las *functional basis* (Stone & Wood, 2000), para desarrollar una representación formal de funciones con un vocabulario jerarquizado, es decir, una taxonomía de términos estándar enfocados hacia el diseño mecánico. Además de las funciones, numerosos autores han defendido la importancia de la capa de comportamientos en el diseño funcional (Malak & Paredis, 2007; Pimmler & Eppinger, 1994; Roy & Bharadwaj, 2002). Este hecho es apoyado del mismo modo por los trabajos realizados para desarrollar taxonomías de comportamientos, diferenciando aquellos trabajos que se refieren a los comportamientos propiamente dichos tal y como se entiende de la definición del marco B-FES (Borgo *et al.*, 2006; Borgo *et al.*, 2002; Gero *et al.*, 1992) de aquellos estudios referentes a la clasificación de los comportamientos humanos, en cuyo caso las taxonomías elaboradas pueden ser entendidas tanto de funciones como de comportamientos según la significación del marco B-FES (Berliner *et al.*, 1964; Fineberg, 1995; Fleishman & Quantance, 1984; Guilford, 1977; Rasmussen, 1983; Smits & Harris, 1999; Tyler *et al.*, 1999; Willis, 1961). Siguiendo con la línea marcada por dicho marco, también resta añadir una taxonomía de estructuras (Bonaccorsi, 2006; Kurtoglu *et al.*, 2005), pero debido a que éstas corresponden a elementos físicos, que son muy numerosos, y que frecuentemente ya están organizadas taxonómicamente en diccionarios y trabajos similares se ha optado por no estudiarlas en profundidad en el presente trabajo de Tesis, manteniendo su significado y organización como quede definida en cualquier diccionario, como se puede ver en el ejemplo de la Figura 6, que nos muestra el desglose taxonómico de la palabra destornillador (*screwdriver*) según sus diferentes significados..

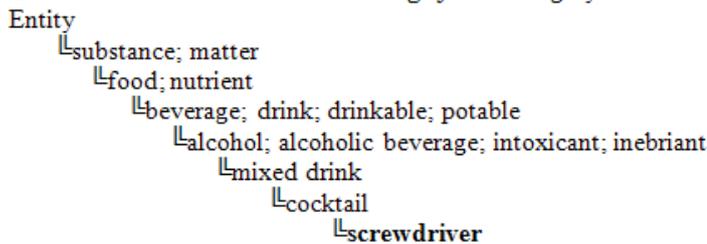
**Screwdriver****1 screwdriver**

*a hand tool for driving screws; has a tip that fits into the head of a screw*

Category Tree:

**2 screwdriver**

*a cocktail made with vodka and orange juice* Category Tree:



**Figura 6 – Captura de pantalla del árbol taxonómico para un taxón según WordReference (2010) ([www.wordreference.com](http://www.wordreference.com))**

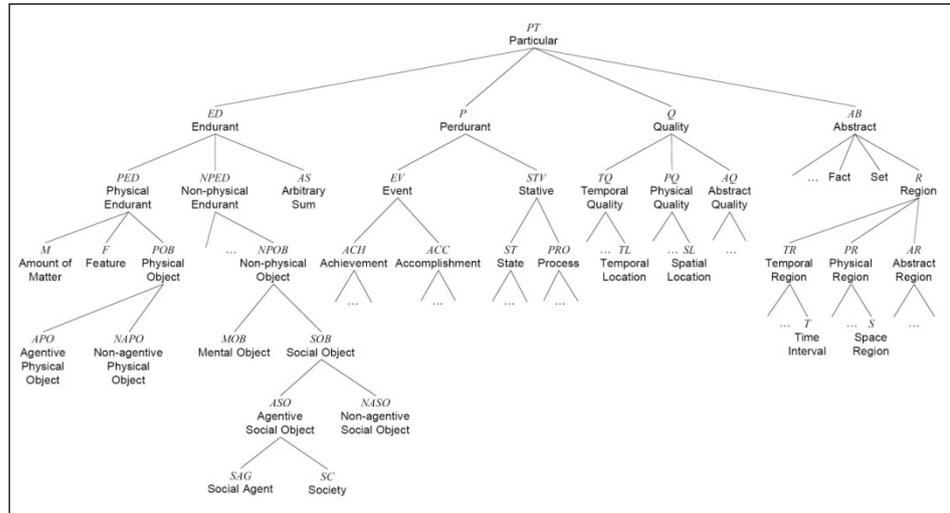
Un campo particular dentro de las taxonomías son las ontologías. Una ontología se puede describir como una especificación explícita y formal de una conceptualización compartida, donde por “conceptualización” se entiende el conjunto de conceptos relevantes del modelo abstracto de algún fenómeno, y por “compartida”, se entiende que dicha conceptualización está aceptada por el conjunto de usuarios, la cual se puede basar en una taxonomía o en axiomas (Gruber, 1993). Una definición de ontología más concreta nos la ofrece Verharen *et al.* (1997): “Una ontología es una base de datos que describe los conceptos del mundo o de un dominio en concreto, algunas de sus propiedades y como los conceptos se relacionan los unos con los otros”. Las ontologías se pueden basar en una sola taxonomía o en varias, siendo conceptos y relaciones que se organizan jerárquicamente y cuyos conceptos pueden ser ordenados como clases e instancias (Gómez-Pérez *et al.*, 2004). La estructura de una ontología debe estar basada en una taxonomía que tenga en cuenta el modelado de un sistema basado en ciertas descripciones funcionales. Del mismo modo, las ontologías se pueden clasificar como ontologías de nivel superior, de dominio, de tarea y de

aplicación; siendo las primeras las que describen los conceptos más generales (como por ejemplo: sustancia, tangible, intangible) y las últimas las que describen conceptos más específicos (como por ejemplo: oxígeno, hidrógeno o agua). Del mismo modo que encontramos un gran número de autores volcados en el campo de las taxonomías para los diferentes niveles del marco B-FES, también nos podemos encontrar con un gran número de investigaciones que respaldan el uso de las ontologías dentro de dicho marco de trabajo (Bryant-Arnold *et al.*, 2007; Cebrian-Tarrason *et al.*, 2008; Kannengiesser & Zhu, 2009; Kitamura & Mizoguchi, 2003b).

Estrechando el cerco para especificar los temas más concretos relativos al trabajo aquí presentado, dentro de las taxonomías se han descrito a las *reconciled functional basis* (RFB) del NIST como las más importantes hoy en día. Con este trabajo el NIST pretende cubrir tres necesidades específicas: La representación de las funciones en el Diseño Asistido por Ordenador (CAD), un esquema fijo para el modelado de funciones y un conjunto universal de funciones para actuar sobre sistemas mecánicos (Hirtz *et al.*, 2002). Los mayores logros alcanzados por el NIST han sido la reducción de la ambigüedad y el incremento de la uniformidad en los términos. Para reducir la ambigüedad los científicos del NIST postulan que cuanto mayor es el número de términos empleados para referirse a un mismo concepto (sinónimos), mayor es también el número de formas diferentes de modelar un concepto dado. Con el incremento de la uniformidad se pretende facilitar el intercambio de información referente a funciones entre diferentes aplicaciones. Este vocabulario organizado jerárquicamente, esto es, esta taxonomía, organiza los diferentes términos en tres niveles de especificación, en donde los términos de nivel superior proporcionan una cobertura completa de los significados de los términos de nivel inferior incluidos en esa misma clase y, por otro lado, los términos de un mismo nivel en una misma clase son mutuamente excluyentes. La reconciliación del NIST está considerada hoy en día como una de las más importantes en cuanto a taxonomía de funciones, y numerosos autores basan o derivan sus trabajos de ella (Bohm & Stone, 2004; Bohm *et al.*, 2003; Bryant-Arnold *et al.*, 2006; Bryant-Arnold *et al.*, 2007; Kurtoglu *et al.*, 2005; Nagel *et al.*, 2007a; Nagel *et al.*, 2007b)

En cuanto al campo de las ontologías nos vamos a centrar en la DOLCE (Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive

Engineering), que es una ontología de nivel superior, y como tal provee de unas nociones generales sobre las que se pueden vincular todos los términos del resto de ontologías de niveles inferiores (Masolo *et al.*, 2003). Esta ontología forma el primer módulo de una librería de ontologías fundacionales, cuyo propósito principal es el de “negociar” los significados para establecer consensos entre un amplio número de agentes artificiales que interactúan entre ellos o con seres humanos. Dicho de otro modo, sirve de guión para elaborar ontologías de niveles inferiores. La Figura 7 presenta el esquema general de la DOLCE, donde pueden observarse sus cuatro ramas principales en las que divide todas las partes del conocimiento: *endurant* (ED), *perdurant* (P), *quality* (Q) y *abstract* (AB). En una primera diferenciación definiremos los *endurants* como una entidad presente en el tiempo en todo momento de su existencia, tanto ella como todas sus partes. Un ejemplo de *endurant* sería, por ejemplo, un engranaje. *Perdurant* se define como una entidad que sucede en el tiempo y su extensión en el mismo depende de partes temporales, por lo que todas las partes que componen el P no tienen por qué estar presentes mientras está el propio P. Por ejemplo, en el giro de un engranaje una parte de él, avanzar un grado, sucede un instante, y al siguiente ya no está, puesto que se avanza un grado diferente. *Quality* se define como aquella entidad básica que se puede medir y que es inherente a otra entidad, como por ejemplo el peso del engranaje. Y por último, *abstract* se define como aquellas entidades que no poseen cualidades temporales ni espaciales, como por ejemplo un concepto.



**Figura 7 – Esquema de la ontología DOLCE basado en Masolo et al. 2003**

### 2.3.2 Lenguajes

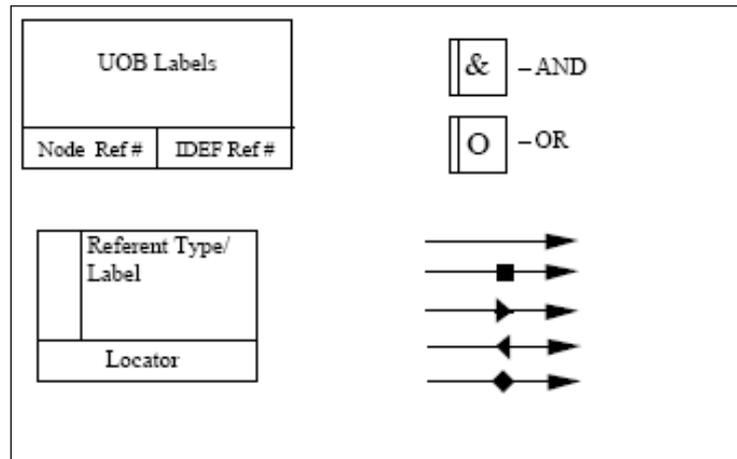
El diseño requiere de una representación del mismo para poder ser transmitido, entendido y reproducido. Un gran número de autores han dedicado sus estudios a analizar qué información necesita ser transmitida, y cómo debe hacerse dicha transmisión (Abdullah *et al.*, 2005; Brimble & Sellini, 2000; Gero, 1990; Shai & Reich, 2004a, b; Takeda *et al.*, 2005). Gracias al auge de los KBS (Sistemas Basados en el Conocimiento), ya existe un gran número de lenguajes, más o menos estandarizadas, para representar la información y transmitirla a medios informáticos para su automatización: XML (Extensible Markup Language), EEML (Extended Enterprise Modeling Language), ORM (Object Role Modeling), SDL (Specification and Description Language), UML (Unified Modeling Language) y la familia de lenguajes IDEF (Integration DEFinition) son solo algunos ejemplos destacados de entre la multitud de lenguajes de modelado existentes. Dentro del ámbito del presente trabajo, estos lenguajes se pueden clasificar por un lado como lenguajes de modelado de dominio específico, para el diseño y evolución de sistemas; el de modelado de marco específico, más cerrado que el anterior, para el diseño de objetos centrados en un marco de trabajo específico; y por último el lenguaje de modelado de objetos, basados en un conjunto estandarizado de símbolos para modelar una serie específica de objetos.

Muchos autores utilizan sus propias representaciones del conocimiento inferido en el diseño basado en el esquema FBS, de un modo más o menos estandarizado (Deng, 2000; Kitamura & Mizoguchi, 2003a; Sudarsan *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2001). El hecho de que no haya un uso estandarizado de una representación del conocimiento dentro de un mismo esquema genera una problemática de comprensión de la representación de dicho conocimiento al pasar de un autor a otro, por lo que resulta necesario el uso de lenguajes comunes estandarizados.

La familia de lenguajes IDEF consiste en un conjunto de lenguajes de modelado dentro del ámbito de la ingeniería de sistemas, que cubren un amplio rango de necesidades, desde la captura y modelado de la información (IDEF0, IDEF1, IDEF1x), hasta el diseño de redes (IDEF14). Debido a su diversidad presentan un amplio espectro de terminologías para representar el conocimiento en función del campo en el que quiera moverse el ingeniero del conocimiento. No se trata pues de decir cuál es la mejor herramienta, sino de saber escoger la más adecuada cuando sea necesario. Diversos trabajos aprovechan la adaptabilidad de la familia de lenguajes de IDEF y su simbología estandarizada para establecer sus propias adaptaciones de lenguajes de modelado (Bâdicâ & Bâdicâ, 2003; Bâdicâ *et al.*, 2005; Kim & Jang, 2002; Romero *et al.*, 2008). Dentro de esta familia cabe destacar los lenguajes IDEF3, para el diseño de procesos (Mayer *et al.*, 1995a) e IDEF4, para el diseño de objetos (Mayer *et al.*, 1995b).

IDEF3 se define como un proceso impulsado por la descripción del funcionamiento de un determinado sistema, reflejando las relaciones entre las acciones en una situación específica de funcionamiento y la descripción de los estados y las condiciones permitidas en la transición de los diferentes estados durante el proceso (Mayer *et al.*, 1995a). Las descripciones se desarrollan a través de dos perspectivas diferentes: centrado en el objeto o centrado en el proceso. Ambos enfoques no son excluyentes, permitiendo referencias cruzadas entre ellos para representar las descripciones de un proceso complejo. La perspectiva centrada en el proceso proporciona un mecanismo de visualización centrado en las descripciones del escenario. Los elementos gráficos que componen el proceso incluyen la unidad de comportamiento (UOB), cajas con enlaces, cruces, referencias y notas. La perspectiva centrada en el objeto detalla información acerca de cómo los tipos de objetos se transforman en otros tipos de cosas a

través de un proceso, o como objetos de un determinado tipo cambian de estados a través de un proceso. La Figura 8 muestra algunas representaciones gráficas para dichos conceptos.



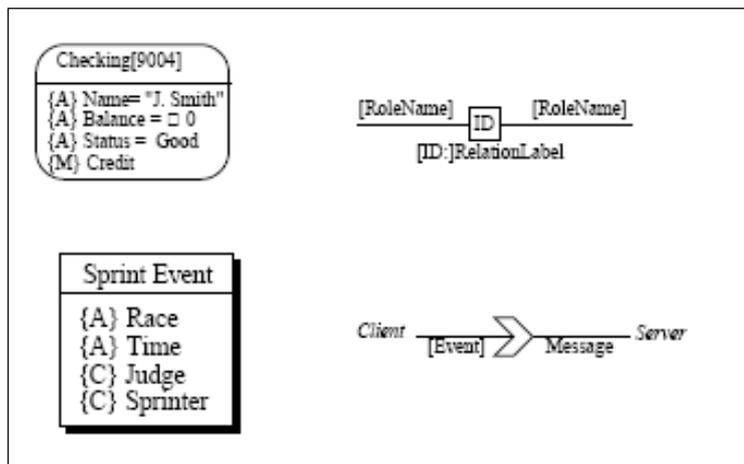
**Figura 8 - Representaciones gráficas utilizadas en IDEF3 (Mayer et al., 1995a)**

IDEF4 se define como aquel modelo que ayuda en el diseño modular dirigido u orientado a objetos, normalmente, de fácil manejo y reutilización. Apoya la transición de la aplicación y los requisitos de dominio de modelos de análisis para el diseño y la fuente real de generación de código (Mayer et al., 1995b).

IDEF4 es un procedimiento que sigue los pasos de clasificación/especificación, montaje, simulación y volver a partir actividades. Primeramente, el diseño está dividido en objetos, para después clasificar/especificar las interfases entre los objetos, dónde por interfase se entiende la conexión entre dos o más componentes de modelos con el propósito de pasar datos u objetos de uno a otro. Estos se especifican en el montaje de la actividad (dinámico, estático y modelos de comportamiento que detallan los diferentes aspectos de la interacción entre los objetos que se han desarrollado). Es importante la simulación de los mismos para poder variar los modelos existentes y simular hasta que el diseñador quede satisfecho.

Los conceptos con los que se define IDEF4 son: dominios; características, artefactos y objetos; objetos instancia; clases, subclases y superclases; particiones; atributos; estados objeto; métodos; mensajes y polimorfismo; eventos; objetos ciclos de vida; clientes/servidores; relaciones y funciones; herencias; encapsulación y

ocultación de la información. En la Figura 9 se muestran algunas representaciones gráficas de dichos conceptos.



**Figura 9 - Representaciones gráficas utilizadas en IDEF4 (Mayer et al., 1995b)**

### 2.3.3 Sistemas Basados en el Conocimiento (KBS)

Las posibilidades de las ontologías y las representaciones del conocimiento pasan por la elaboración de un KBS. Un KBS o sistema basado en el conocimiento es un sistema fundamentado en los métodos y técnicas de la Inteligencia Artificial y de los Sistemas expertos en procesos de búsqueda de soluciones. Sus principales componentes son las bases de datos donde se almacena el conocimiento experto, y las librerías de algoritmos para poder establecer los vínculos y conexiones necesarias para poder recuperar el conocimiento requerido por una búsqueda específica, y ser capaz de transferirlo de un dominio a otro (Colombo *et al.*, 2008). Hoy en día el uso de los KBS está totalmente extendido en la mayoría de grandes empresas y en los campos más diversos del conocimiento (Bermell-García & Fan, 2002; Bermell-García *et al.*, 2001; Chen, 1999; Dooley *et al.*, 1988; Kochan, 1999; Liening & Blount, 1998; Sainter *et al.*, 2000a; Sainter *et al.*, 2000b; Vidal & Mulet, 2006; Whittaker, 1991).

Dentro de los diversos campos donde se han aplicado los KBS también ha habido trabajos centrados en el marco FBS (Zhang *et al.*, 2002a, b), del mismo modo que algunos autores han centrado su investigación sobre el uso de las RFB del NIST (Fenves, 2002) o las taxonomías en general (Pavkovic *et al.*, 2009), y otros sobre

metodologías para la búsqueda de soluciones creativas (Aamodt & Plaza, 1994; Nakagawa, 2004; Tseng *et al.*, 2007) aplicados a los KBS.

## **2.4 Métodos creativos**

La historia de la humanidad aparece repleta de personajes que han dejado huella a los que se les ha llamado “creativos”, al igual que muchas de sus obras han sido llamadas “creativas” también. Estas obras engloban multitud de ámbitos, como herramientas, esculturas, teorías, poemas, máquinas o incluso maneras de pensar. La definición de la creatividad ha sido, pues, un amplio campo de debate en muy diversos ámbitos: psicología, ingeniería, filosofía, arte, etc. Creatividad es, por definición, capacidad o facultad de crear. Crear, a su vez, consiste en producir algo de la nada, o lo que es lo mismo, hacer que algo exista en donde antes no existía. Esta acción de hacer que una cosa exista implica diversos procesos: imaginarla, formarla en la mente, inventarla, forjarla, producirla, construirla. Este acto creativo se cumple con una doble génesis. Debe nacer primero en nuestra cabeza y luego emerger en la realidad mediante un proceso (Ferrer, 1997).

Para tal efecto se han desarrollado a lo largo del tiempo un gran número de herramientas y metodologías capaces de estimular a la persona y potenciar el proceso creativo, para desarrollar más y mejores productos empleando el menor tiempo posible. Este proceso se ve más optimizado aún si consideramos el uso de las herramientas de Invención Asistida por Ordenador (CAI), que implican la informatización de las herramientas para la innovación, y la automatización de la mayor parte posible de las fases de las mismas. En este apartado se le dedica una atención especial a la metodología TRIZ y los logros alcanzados en la automatización e informatización de la misma hasta el momento, al ser dicha metodología la escogida para defender parte de los objetivos postulados en el capítulo anterior.

### **2.4.1 Metodologías para la creatividad**

Resulta un hecho indiscutible que la innovación y la creatividad han estado en el punto de mira de los investigadores durante las últimas décadas. Como resultado de ello existen en la actualidad un gran número de metodologías para potenciar la creatividad de los individuos, desde las más conocidas y fáciles de emplear como puede ser el brainstorming desarrollado por Osborn (1953), consistente en la reunión de un grupo de personas para generar muchas ideas disparejas

en poco tiempo, o el benchmarking de Camp (1989), que consiste en la observación y técnica de las mejores técnicas de la competencia, hasta otras más complejas y elaboradas, como puede ser TRIZ (Altshuller, 1984, 1997, 1999), acrónimo ruso de la teoría para la resolución de problemas inventivos, o la metodología Delphi desarrollada por la Corporación Rand en 1944 (Astigarraga, 2000; Dalkey, 1967; Landeta, 1999; Rivera *et al.*, 2007), que consiste en un cuestionario abierto que se envía a un conjunto de expertos diversas veces juntamente con la retroalimentación de la ronda anterior. A parte de estos ejemplos, cabe destacar el gran número de metodologías existentes encaminadas a potenciar la creatividad y que simplemente serán citadas: análisis morfológico, brainwriting, checklists (Thompson & Lordan, 1999), sistemas de diseño genético (Woodbury, 1993), y un largo etcétera, incluyendo metodologías a partir de combinaciones de dos o más de las herramientas ya citadas (Dubois *et al.*, 2008; Hipple, 2003, 2005; Zhao, 2005). Todas estas metodologías no aparecen aisladas del proceso de diseño, sino que frecuentemente se desarrollan pensando en su aplicación en una fase o fases determinadas de dicho proceso, y para trabajar en un marco concreto. Pueden encontrarse por tanto trabajos que tratan de las metodologías para la creatividad dentro de un marco FBS, como sería el caso que interesa en el presente trabajo (Gero, 1996; Howard *et al.*, 2008).

Junto con las metodologías para potenciar la creatividad y generar ideas innovadoras, los diseñadores disponen de un amplio conjunto de herramientas para el apoyo y la gestión de la innovación, como por ejemplo los mapas mentales, la serie de normas UNE 166000, reingeniería de procesos, gestión del cambio, ingeniería concurrente, gestión del conocimiento, mejora continua, diseño para "x" (DFx), análisis de fallos, pensamiento ajustado, evaluación por pares, creación de equipo, auditoría tecnológica, previsión tecnológica, mantenimiento productivo total, análisis del valor, 6-sigma, etc. (Bakouros & Demetriadou, 2004; Buzan, 2002; Buzan & Buzan, 1999; Kwak & Anbari, 2006; Ochôa & Pinto, 2004; Pinedo, 2004).

#### **2.4.2 Herramientas de Invención Asistida por Ordenador**

Las herramientas de Invención Asistida por Ordenador, CAI (Computer Aided Inventing) tienen la finalidad de asistir al diseñador en el proceso creativo con el objeto de mejorar el proceso de diseño y obtener soluciones innovadoras. Estas herramientas han crecido

considerablemente en importancia, sobre todo en el ámbito del desarrollo de productos, a medida que la innovación ha sido uno de los objetivos principales de las empresas. Numerosos trabajos, por tanto, han tenido como objeto el estudio y desarrollo de herramientas CAI (Cascini *et al.*, 2005; Vidal *et al.*, 2004). Algunos de estos trabajos ya apuntan a la vinculación de dichas herramientas con otras aplicaciones de CAD (Computer Aided Design) y CAE (Computer Aided Engineering) (Cascini, 2004; Cavallucci & León, 2004). El grupo de herramientas catalogadas como CAD se refiere a aquellas que asisten a diseñadores e ingenieros en el diseño y modelado gráfico de productos, tanto en dos como en tres dimensiones. Por su parte, aquellas denominadas CAE engloban aquellos que permiten analizar y simular a un nivel más complejo los diseños de ingeniería, muchas veces obtenidos con las aplicaciones anteriores, optimizando los modelos por medio de análisis estáticos, dinámicos, elementos finitos y otros más. No es de extrañar, por tanto, el encontrar muchas veces elementos pertenecientes a estas tres categorías, CAD, CAE y CAI, combinados en una misma aplicación informática.

Para gestionar toda la información o conocimiento para el buen funcionamiento de estas aplicaciones se requiere, no obstante, una gestión eficiente del conocimiento que ellas conllevan. El desarrollo de tecnologías basadas en la inteligencia artificial ha facilitado la gestión de la información relacionada con la estructura y la forma de objetos, aunque el conocimiento (know-how) usado en la fase de diseño conceptual permanece oculto debido a su naturaleza subjetiva y su noción implícita (Kitamura & Mizoguchi, 2004). El desarrollo de los KBS (Knowledge Based Systems) ayuda a mejorar este aspecto. Es por ello que el uso de los KBS en la industria se ha incrementado considerablemente en los últimos años (Chulvi *et al.*, 2007; Cooper *et al.*, 1999; Preston *et al.*, 2005). Por ello, diversos autores han hablado de sus ventajas (Bermell-García *et al.*, 2001; Sainter *et al.*, 2000a) y su idoneidad para optimizar y automatizar herramientas CAD, CAE y CAI (Vidal & Mulet, 2006).

### **2.4.3 TRIZ**

TRIZ es el acrónimo ruso de la Teoría de Resolución de Problemas Inventivos (Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch) (Altshuller, 1984). TRIZ comenzó hace más de seis décadas con la hipótesis de que existen unos principios inventivos universales que son la base para las creaciones innovadoras que hacen avanzar la tecnología, y

que estos principios pueden ser identificados y codificados para hacer el proceso inventivo más previsible. Desde entonces hasta hoy, más de dos millones y medio de patentes han sido analizadas y clasificadas para conocer sus principios de innovación, para concluir en la elaboración un conjunto de herramientas para guiar en el proceso de generación de ideas y búsqueda de soluciones innovadoras para resolver problemas (Abdalla, 2006; Altshuller, 1997, 1999; Altshuller & Shulyak, 1997; Belski, 2007; Mann, 1999, 2005, 2009; Mann & Dewulf, 2001; Moehrle, 2005; Shpakovsky, 2003).

A pesar de que estas herramientas han estado orientadas y utilizadas desde el momento de su creación hacia la invención de artilugios y conceptos físicos y técnicos, TRIZ no es una herramienta para innovar en un campo cerrado del conocimiento. Es más, en la última década la tendencia de numerosas investigaciones ha consistido en tratar de focalizar los principios de TRIZ para su aplicación en la organización de empresas, en la elaboración de procesos y en los campos de dirección y negocios (Domb & Mann, 1999, 2001; Dourson, 2004; Mann, 2003; Mann & Domb, 1999; Mann & Jones, 2002; Movarrei & Vessal, 2006; Rovida *et al.*, 2009; Ruchti & Livotov, 2001; Souchkov, 2007; Souchkov *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2005a).

El uso de las herramientas de TRIZ en aplicaciones CAI ha sido objeto de estudio por diversos investigadores (Cascini, 2004; Cascini *et al.*, 2005; Cavallucci & León, 2004; Cavallucci *et al.*, 2008; Ikovenko, 2004). Por un lado, una buena parte de estos estudios discuten sobre la forma de integrar la creatividad de TRIZ con el conocimiento semántico de un modo teórico, con la finalidad de asistir en la fase de diseño (Cavallucci & Weill, 2001; Mulet & Vidal, 2005), mientras que por otro, algunos investigadores han intentado poner estos modelos en práctica (Shpakovsky *et al.*, 2002b; Soo *et al.*, 2006; Verbitsky, 2004; Zhang *et al.*, 2005b). Estos últimos hacen un mayor énfasis en el uso de las taxonomías y las ontologías para poder trasladar los modelos de la teoría a la práctica. Es precisamente por este motivo que el estudio de las taxonomías necesarias para la vinculación de herramientas de TRIZ con aplicaciones informáticas mediante herramientas semánticas de Ingeniería Basada en el Conocimiento, KBE (Knowledge Based Engineering), ha sido objeto de numerosos trabajos (Cascini & Rissone, 2004; Cascini *et al.*, 2008; Cascini & Zini, 2008; Chang & Chen, 2004; Chang *et al.*, 2003; Dewulf, 2006; Jugulum & Frey, 2007; Qi & Shangguan, 2008).

Otros autores ya han defendido el establecimiento de taxonomías que relacionen TRIZ con un marco de trabajo común como puede ser el marco B-FES, diferenciando aquellas estructuras que pertenecen al diseño de aquellas que forman parte del medio, que denominaremos restricciones (Busov *et al.*, 1999; Cao & Tan, 2007; Hirtz *et al.*, 2002; Malmqvist *et al.*, 1996; Pinyayev, 2006; Verhaegena *et al.*, 2009).

## 2.5 Evaluación de la creatividad

Los problemas sólo se resuelven cuando dedicamos gran cantidad de atención a ellos y de una manera creativa. La vida de un individuo no se centra en eliminar de ella lo que está mal, se necesitan metas positivas, entender mejor un modo de ser que resulta más satisfactorio, por ello es importante estimular la originalidad y el pensamiento creativo para afrontar el futuro con gusto y confianza, hay que educar para que vengan generaciones originales y competentes.

Así pues, la creatividad es una realidad compleja, tiene un carácter impredecible, esto es, puede aparecer de improviso, y además es incontrolable. La creatividad no se puede entender observando sólo a las personas, sino que generalmente se valora por personas competentes, ajenas, que deciden si las pretensiones de una persona que se dice creativa son válidas o no (Csikszentmihalyi, 1998; Pascale, 2005). Es por ello que su evaluación se prevé como compleja, medir la creatividad es todo un reto. Uno de los sistemas más aceptados y convenientes a la hora de medir la creatividad es el modelo desarrollado por Shah y Vargas (2002). Estos investigadores crearon un sistema a través del cual la creatividad se valora desde cuatro parámetros básicos: la novedad, la variedad, la cualidad y la cantidad. El modelo en sí es muy robusto, pero aún así en ciertas ocasiones puede ser necesario precisar algunos detalles o introducir modificaciones para adaptarlos a aquello que queremos medir.

A pesar de la gran cantidad de pruebas elaboradas para determinar la creatividad de un individuo (Corbalán-Berná *et al.*, 2003; Guilford, 1968; Hocevar & Bachelor, 1989; López-Martínez & Navarro-Lozano, 2008; Otis & Lennon., 1995; Runco & Basadur, 2006; Sánchez-Escobedo & García-Mendoza, 2007; Torrance, 1969), muchos individuos han sido etiquetados como creativos porque sus obras han sido calificadas como creativas de un modo subjetivo y viceversa. Es muy posible que una persona potencialmente muy creativa nunca llegue a ser calificada como tal si sus proyectos no son aceptados

como creativos dentro de la sociedad donde se mueve, así como una persona muy inteligente a la que no le han enseñado a leer y escribir no quedará como tal en nuestra sociedad. Se ve, por tanto, muy importante el poder definir qué productos son creativos y cuáles no. Muchas veces, sobre todo en la rama artística, es la sociedad misma la que impone subjetivamente si un producto es creativo o no. Esto sucede frecuentemente con la opinión de los críticos, bien de arte, literarios, de cine, y otros, que dictan según sus propios criterios sobre la creatividad de una obra, y dicha opinión es aceptada por todos.

En la búsqueda de la objetividad en esta evaluación surgen los indicadores (CIDEM, 2002; COTEC, 2001; OECD, 2005), aunque en la mayor parte de los trabajos consultados la creatividad se asimila directamente a los indicadores de innovación. Es decir, sólo se consideran como productos creativos aquellos que, además de esta cualidad, también tienen éxito en el mercado. Los indicadores acostumbran a ser datos extraídos a medio o largo plazo bien de la propia empresa que gestiona el nuevo producto, bien de los consumidores de dicho producto. Algunos de los indicadores más frecuentes para reflejar el nivel de innovación de un producto son el número de patentes que genera (Barry, 2007), publicaciones, beneficios netos, porcentajes de ventas debidas a la innovación, ratio del margen bruto de ventas del nuevo producto frente a los maduros, entre otros.

No obstante, estos indicadores reflejan el grado de innovación de un nuevo producto, pero no su nivel de creatividad directamente. La innovación de un producto considera su nivel de creatividad por un lado, y su éxito en el mercado por otro (Schumpeter, 1942). Por ello, diferentes autores han realizado sus estudios para poder determinar realmente el grado de creatividad de un producto per se, entre ellos Chaur y Lloveras (2003), Dorst y Cross (2001), García y Calantone (2002), Im y Workman (2004), Justel (2008) y Yu *et al.* (2008). De entre ellos, destacamos a J. Moss (1966), quién ya elaboró una identificación y estimación de un producto creativo a través de la combinación de su grado de utilidad (*usefulness*) y de su rareza (*unusualness*). Otro instrumento de evaluación de productos creativos es el CPSS (*Creative Product Semantic Scale*) de Besemer y O'Quin (Besemer, 1998, 2007; Besemer & O'Quin, 1989; Christiaans, 2002; O'Quin & Besemer, 2006). En éste, la creatividad de un producto se mide a través de tres parámetros: Novedad (*novelty*), solución

(*resolution*) y diseño (*style*). También nos encontramos con la medida de la creatividad en la ingeniería de diseño propuesta por Sarkar y Chakrabarti (2008), que presenta la creatividad como el producto de la novedad (*novelty*) y la utilidad (*usefulness*) del mismo.

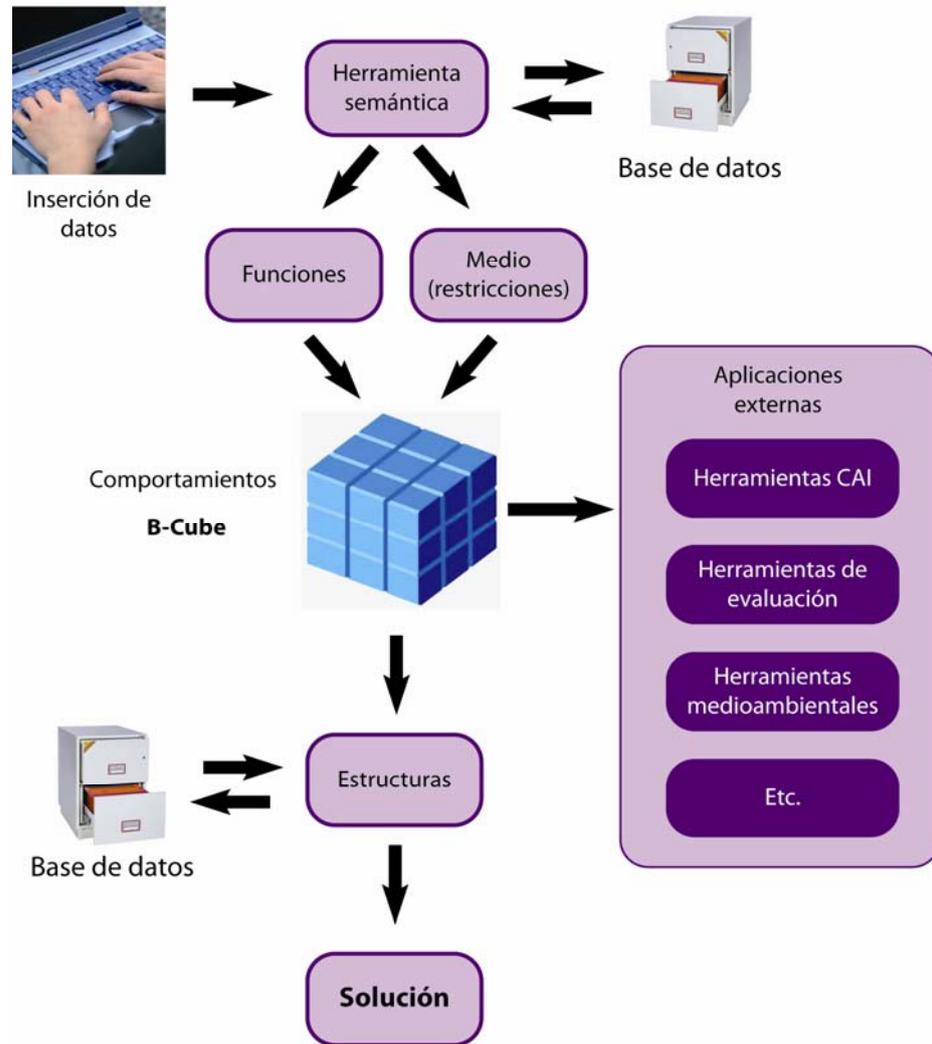
### **3 El modelo B-Cube en el diseño de objetos**



### 3.1 Introducción

El modelo B-Cube puede ser considerado, de una forma simplificada, como un modelo para la representación del conocimiento de los comportamientos dentro del marco FBS. Este modelo, como se verá tanto en el presente capítulo como en los posteriores, ofrece múltiples posibilidades, como pueden ser, además de simplemente representar el conocimiento, su funcionamiento en un KBS para la automatización del diseño funcional o la vinculación de dicho sistema con herramientas CAI para mejorar la creatividad de sus soluciones, tal y como aparece representado en la Figura 10. En este esquema se ve como el sistema partiría de los datos o demandas introducidos por el diseñador, los cuales deben ser analizados por una herramienta semántica auxiliada por bases de datos, a partir de la cual se establecen las demandas o funciones iniciales que debe cumplir el diseño y las restricciones del medio que nos condicionarán el resultado. Dentro del KBS, el modelo B-Cube servirá para establecer las relaciones entre las funciones y las estructuras de la solución, del mismo modo que también será el nexo de intercambio de conocimiento entre el KBS y otras aplicaciones externas.

Este capítulo se centra, en un primer lugar en la parte física del modelo, en sus bases y su desarrollo. Para tal efecto se explica en primer lugar la ontología de nivel superior de la DOLCE, sobre la que está basado mayoritariamente el desarrollo del modelo B-Cube. En este capítulo también se reflexiona sobre la relación del B-Cube con la taxonomía de funciones del NIST, necesaria para poder operar el sistema dentro del marco previsto, y se concluye con la ejemplificación del uso de la parte física del modelo B-Cube para la representación y desarrollo de diseños mecánicos. Para tal efecto, en primer lugar se define un modelo informal basado en la terminología IDEF para representar gráficamente los diseños elaborados dentro del marco B-FES, utilizando las terminologías de la taxonomía de las *reconciled functional basis* (RFB) del NIST y del modelo B-Cube, para a continuación desarrollar diversos diseños mecánicos, incrementando progresivamente la complejidad de los mismos, para empezar desde una comprensión más clara del uso del modelo B-Cube dentro del desarrollo del diseño, hasta mostrar las posibilidades del mismo en diseños complejos.



**Figura 10 – KBS teórico para el diseño funcional**

### 3.2 DOLCE

La DOLCE (Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering) (Masolo *et al.*, 2003) es una ontología de nivel superior que provee de unas nociones generales sobre las que vincular todos los términos del resto de ontologías de niveles inferiores, que sirve como punto de partida o referente para el desarrollo del modelo B-Cube. Se hace necesario, por tanto, explicar unos conceptos específicos de la DOLCE sobre los que se ha basado el modelo, y su

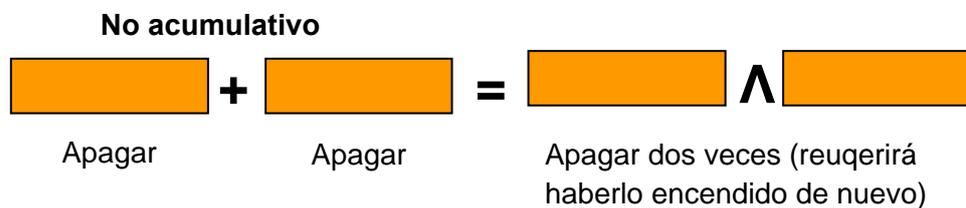
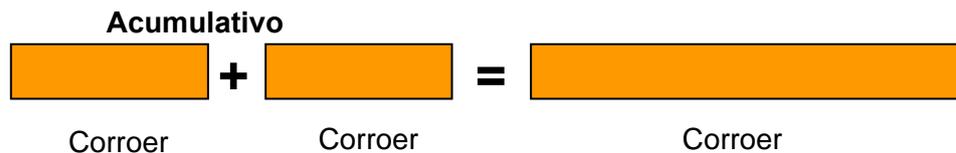
interpretación de los mismos. Dentro de la terminología principal de la DOLCE se observará que existen dos términos (*endurant* y *perdurant*) creados exclusivamente por y para la mencionada ontología, y como tales no tienen una traducción directa al castellano. Por ello se ha decidido respetar sendos términos en su idioma original durante toda la Tesis.

En primer lugar, *endurant* (ED) queda definido como una entidad presente en el tiempo, ella y todas sus partes, durante cualquier instante de su existencia. Los *endurants* (EDs) pueden ser interpretados por tanto como los elementos, físicos o no, correspondientes a las estructuras de una solución de un diseño y a las restricciones del medio, dentro del esquema B-FES. En este punto se hace necesario un inciso para explicar que tanto las estructuras como las restricciones son consideradas EDs, con la única diferencia de que por estructura se denomina a los elementos que forman parte del sistema que estamos diseñando, mientras que por restricciones se considera a aquellos elementos externos al sistema, los cuales no pueden ser modificados y afectan directamente a alguna parte del mismo. Así pues, todos los EDs estarán relacionados con uno o más comportamientos pero no servirán como descriptor de éstos. Es decir, no serán un valor significativo de los comportamientos dentro del modelo B-Cube, si bien servirán para ayudar a definir la entrada al mismo. Por esta razón se utilizará la diferenciación entre *endurants* físicos (PEDs), correspondientes a los elementos tangibles como pueden ser una persona, un destornillador o una botella, y *endurants* no físicos (NPEDs), correspondientes a la región abstracta como lo es una persona legal, un rol o un sistema económico (Bottazzi & Ferrario, 2006).

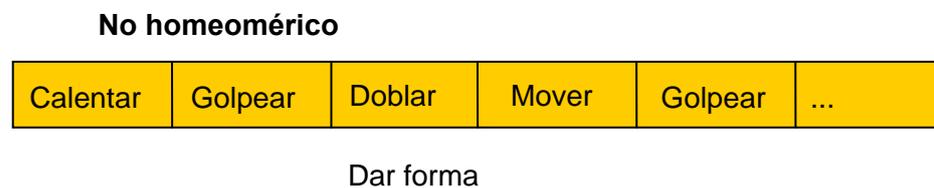
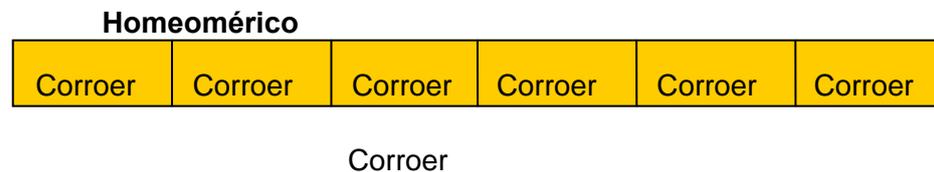
En segundo lugar se definen los *perdurants* (Ps). Un *perdurant* (P) es una entidad que sucede en el tiempo y su extensión en el mismo depende de partes temporales, por lo que todas las partes que componen el P no tienen por qué estar presentes mientras está el propio P. Como ejemplo, un lápiz es un ED, puesto que está presente en la totalidad del tiempo que dura su propia existencia, mientras que escribir un texto con el lápiz es un P, ya que en cada momento se está escribiendo una parte diferente del texto. En cierto modo hacen referencia al modo específico en que se lleva a cabo una acción por una estructura definida, esto es, definen de modo directo un aspecto concreto de los comportamientos. Consecuentemente, los Ps van a

ser utilizados en el modelo B-Cube para definir los comportamientos. Con el objetivo de comprender mejor los valores utilizados en el modelo, se hace necesario definir en este punto conceptos clave utilizados por la DOLCE para describir los subniveles de los Ps: acumulativo (*cumulative*), homeomérico (*homeomeric*) y atómico (*atomic*).

**Acumulativo:** Sucede cuando la suma mereológica de dos casos de un mismo tipo mantiene ese mismo tipo. Ejemplo:



**Homeomérico:** Se define homeomérico sí y solamente sí todas sus partes temporales pueden ser descritas por la misma expresión que la nombra. Así, por ejemplo:



**Atómico:** Inmensurablemente pequeño en el tiempo. No se puede dividir en fracciones menores. Por ejemplo:

**Atómico**



Apagar ( $t \rightarrow 0$ )

**No atómico**

|                   |         |       |
|-------------------|---------|-------|
| Coger instrumento | Sujetar | Tirar |
|-------------------|---------|-------|

Extraer ( $t > 0$ )

Por último, por cualidad (*quality* - Q) se define a aquella entidad básica que se puede medir y que es inherente a otra entidad, es decir, que están ligadas a un P o un ED. Así pues, cada entidad posee un cierto número de cualidades (Qs) que la definen. No se debe confundir cualidad con propiedad, ya que estas últimas son universales mientras que las primeras son particulares. Es necesario diferenciar entre los tres diferentes tipos de Qs que define la DOLCE: cualidad física (*physical quality* - PQ), que es aquella cualidad ligada a un PED; cualidad abstracta (*abstract quality* - AQ), que viene vinculada a un NPED; y por último cualidad temporal (*temporal quality* - TQ), que es aquella que se presenta ligada a un P. Puesto que las Qs tienen la función de describir, se presentan en principio como óptimas para describir los comportamientos. La Tabla 2 a continuación muestra resumidos los conceptos principales descritos en este punto, junto con su definición descrita por la DOLCE y su interpretación llevada a cabo para el desarrollo del modelo B-Cube.

**Tabla 2 – Definiciones básicas de la DOLCE con su interpretación**

| Elemento  | Definición DOLCE   | Interpretación   |
|---|--|--|
| <i>Endurant</i> (ED):<br>físico (PED)<br>no físico (NPED)       | Entidad las partes de la cual están presentes siempre que la entidad está presente.              | Ente o elemento al que se refiere la entrada en la matriz (B-Cube).                      |
| <i>Perdurant</i> (P)  | Entidad de la cual algunas partes no están presentes en algún momento en que la entidad lo está. | Tipo de comportamiento al que se refiere el ente o elemento citado anteriormente.        |
| Cualidad (Q):<br>temporal (TQ)<br>física (PQ)<br>abstracta (AQ) | Entidad que está ligada a otra entidad.  | Característica o cualidad ligadas del siguiente modo:<br>TQ → P<br>PQ → PED<br>AQ → NPED |

### 3.3 Desarrollo del modelo B-Cube

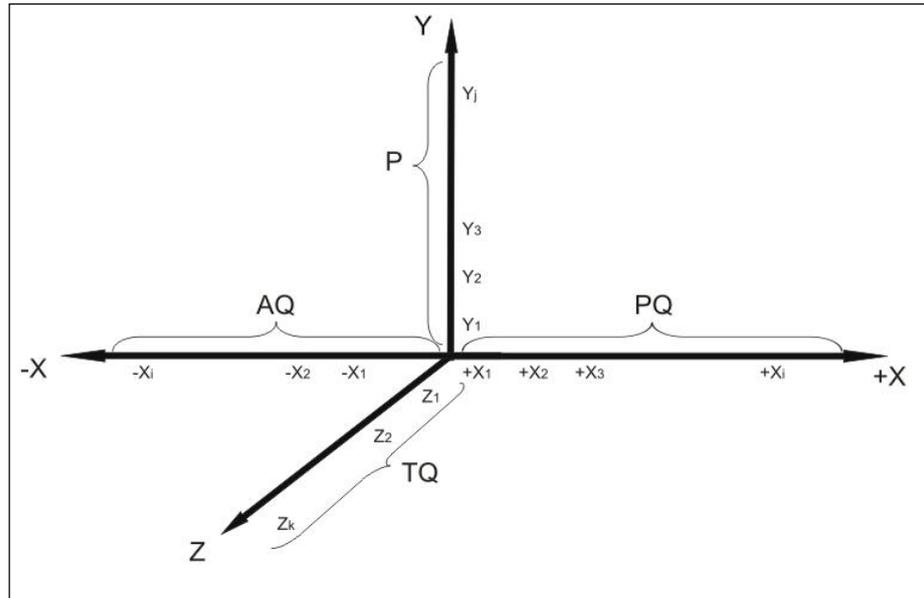
El modelo B-cube propone un planteamiento tridimensional que utiliza definiciones a modo de conceptos definitorios de los comportamientos. En otras palabras, un comportamiento queda definido por un vector tridimensional (x, y, z), donde cada uno de los valores que completa el vector determina sus características o cualidades. En este apartado se definirán de un modo completo los tres ejes correspondientes a sendas dimensiones y sus rangos de valores, teniendo en cuenta las definiciones de la DOLCE descritas en el apartado anterior (elementos de la Tabla 2).

En primer lugar, cabe destacar que los *endurants* (EDs) se han definido como las estructuras del diseño o restricciones del medio, es decir, como elementos físicos relacionados con el diseño. Sabemos que una estructura que lleva a cabo una función concreta tiene un comportamiento específico, por tanto queda demostrado al mismo tiempo que posee relación con los comportamientos, pero que ni pertenece al nivel de comportamientos, ni sirve por tanto como parámetro para definirlos. Por tanto, los EDs nos condicionan la

entrada al modelo B-Cube, pero por sí mismos no forman parte del modelo, pues no definen un comportamiento. Del mismo modo se aprecia que el número de estructuras-elementos existentes en el universo tiende al infinito, por lo que no parece funcional utilizar los EDs para clasificar los tipos de comportamientos. No obstante, se ha definido anteriormente la relación entre los EDs y las cualidades (Qs), en concreto los *physical endurants* (PEDs) están directamente relacionados con las cualidades físicas (PQs), y los *non-physical endurants* (NPEDs) con las cualidades abstractas (AQs). Las Qs sí que presentan un número menor y finito, por tanto serán las PQs y las AQs las encargadas de completar los valores correspondientes al eje X del modelo B-Cube. Con la finalidad de establecer un orden y facilitar el uso del modelo, las PQs se ubicarán en la parte positiva del eje X (+x), mientras que las AQs se situarán en la parte negativa del mismo (-x). Un mismo elemento no puede poseer una AQ y una PQ, pues no puede ser físico y no-físico al mismo tiempo.

Por otro lado, los *perdurants* (Ps) han sido descritos como “tipo de comportamiento”. Así pues, por definición los Ps pueden ser utilizados para definir comportamientos, aunque dentro del modelo B-Cube sólo definirán una parte del mismo y no el comportamiento en sí. Los valores correspondientes a los Ps se ubicarán a lo largo del eje Y.

Las cualidades temporales (TQs) se han definido como cualidades ligadas a los Ps. Una TQ describe el modo o sentido en que un P actúa sobre un elemento. Como consecuencia, las TQs serán utilizadas también para determinar un comportamiento, quedando sus valores asignados al eje Z, completando de este modo las tres dimensiones que el modelo B-Cube utiliza para definir un comportamiento, tal y como quedan representadas en la Figura 11.



**Figura 11 – Ejes del modelo B-Cube**

El siguiente paso consiste en asignar los valores para cada uno de los ejes:

**Eje X:** En este eje existen dos partes totalmente diferenciadas. Por una parte están los valores positivos, a los que han sido asignadas las PQs. Estas cualidades físicas son aquellas que están vinculadas con un PED, como por ejemplo pueden serlo el peso de un objeto, una distancia o un estado energético. Si observamos las pautas marcadas por la DOLCE en su esquema (Figura 7) se puede apreciar que dentro del grupo de las PQs sólo se provee de una definición, localización espacial (*spatial location*), pero deja el grupo abierto para nuevas incorporaciones acorde con las necesidades del usuario final de la ontología. Esta misma circunstancia fue la que aprovechó Garbacz (2006) en su trabajo sobre taxonomías de funciones para incrementar este grupo con dos valores adicionales: conexión topológica (*topological connectedness*) y energía (*energy*). Así y todo, con la experimentación se ha comprobado que estos tres términos no bastan para completar las necesidades del modelo B-Cube a la hora de definir todos los comportamientos existentes. En este sentido se aprovecha la idea del modelo de caja negra defendido por Bryant-Arnold, Nagel y otros autores (Bryant-Arnold *et al.*, 2006; Bryant-Arnold *et al.*, 2007; Nagel *et al.*, 2007a; Nagel *et al.*, 2007b). Este modelo de caja negra resalta el hecho de que para cada tipo diferente

de flujo, tal y como vienen propuestos por el NIST, cuando éste actúa sobre una función específica, la función muestra un comportamiento diferente según el tipo de flujo que haya actuado sobre ella. De este enunciado se puede deducir que cada uno de los tres tipos de flujos presentados por el NIST, energía (*energy*), señal (*signal*) y material (*material*), son aptos para definir un comportamiento, y consecuentemente estos términos deben ser incluidos en el grupo de las PQs del modelo B-Cube. Así, los valores para la parte positiva del eje X del modelo B-Cube son:

- **Localización espacial (*spatial location*):** El comportamiento se refiere o actúa sobre la posición de un PED en el espacio, como por ejemplo acercando o alejando un objeto, rotándolo o permitiendo o restringiendo sus grados de libertad.
- **Conexión topológica (*topological connectedness*):** Hace referencia al tipo de conexión, a nivel topológico, en que se encuentra el PED y que es afectado por el comportamiento. Por ejemplo: romper, pegar o incrustar.
- **Energía (*energy*):** Relativo al estado energético del PED, como puede ser congelar o llevar a ebullición un líquido, o cargar una batería.
- **Material (*material*):** Presenta relación con una magnitud física del PED que se ve afectada por el comportamiento. Así pues, ejemplos de comportamientos capaces de afectar al material del PED son aumentar o reducir el peso, o cambiar el color de un objeto.
- **Señal (*signal*):** Es referente a las acciones tomadas sobre un PED cuando éste actúa como una señal, como por ejemplo amplificar o amortiguar una onda sonora, o un teléfono móvil enviando una señal.

Por otro lado, cuando un comportamiento está relacionado con un NPED en lugar de con un PED se requiere de una AQ para describirlo. En este caso, a pesar de que el término AQ aparece definido en el esquema de la DOLCE, el nivel reservado para sus términos aparece vacío. Es decir, la DOLCE ha considerado la necesidad de una clasificación para las AQs, pero no proporciona ningún valor, caso o ejemplo para dicho grupo. Puesto que este tipo de definiciones requiere un tratamiento mayor, será descrito en su totalidad en el

capítulo posterior, dedicado exclusivamente a los comportamientos de rol en el modelo B-Cube y en el diseño funcional.

**Eje Y:** Para definir el eje Y, al igual que sucede con el eje X, nos fijamos en el nivel de *perdurant* (P) y sus subniveles según se muestra en el esquema de la DOLCE de la Figura 7. En este caso la DOLCE misma ya ha completado y defendido perfectamente todos los subniveles de esta categoría, por lo que no hace falta buscar ninguna complementación adicional para poder utilizarlos en el modelo B-Cube. Los P quedan clasificados en último nivel, siguiendo el algoritmo que se muestra en la Figura 12, con los términos logro (*achievement*), realización (*accomplishment*), estado (*state*) y proceso (*process*), es decir, realización de una acción (logro), realización de una tarea (realización), estado continuo (estado) y proceso complejo (proceso). Para poder etiquetar y diferenciar estos cuatro términos se utilizan los conceptos explicados en el punto anterior: acumulativo, homeomérico y atómico. Así, los términos anteriores quedan definidos de la siguiente forma:

- **Estado (*state*):** Acumulativo y homeomérico, como por ejemplo estar sentado, acumular energía, soportar un peso o corroer un sólido.
- **Proceso (*process*):** Acumulativo y no homeomérico, como lo son los comportamientos de correr, conducir un automóvil y gestionar una empresa.
- **Realización (*accomplishment*):** No acumulativo y no atómico. Como ejemplo los comportamientos de dar una conferencia, desmontar un vehículo, escribir un texto y cocinar una receta.
- **Logro (*achievement*):** No acumulativo y atómico, como por ejemplo los casos de caer un rayo, romper un vaso, y encender o apagar la luz (pulsando un interruptor).

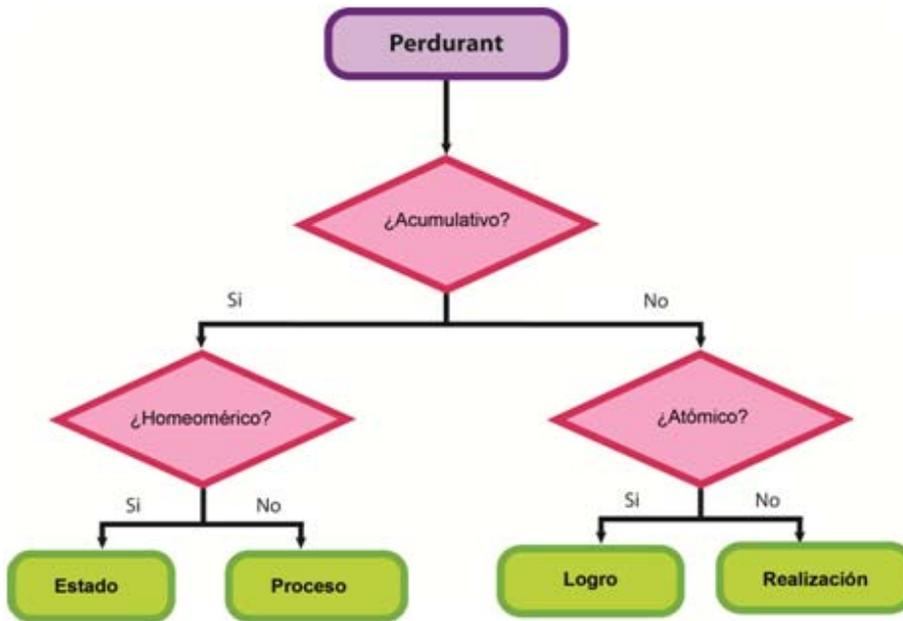
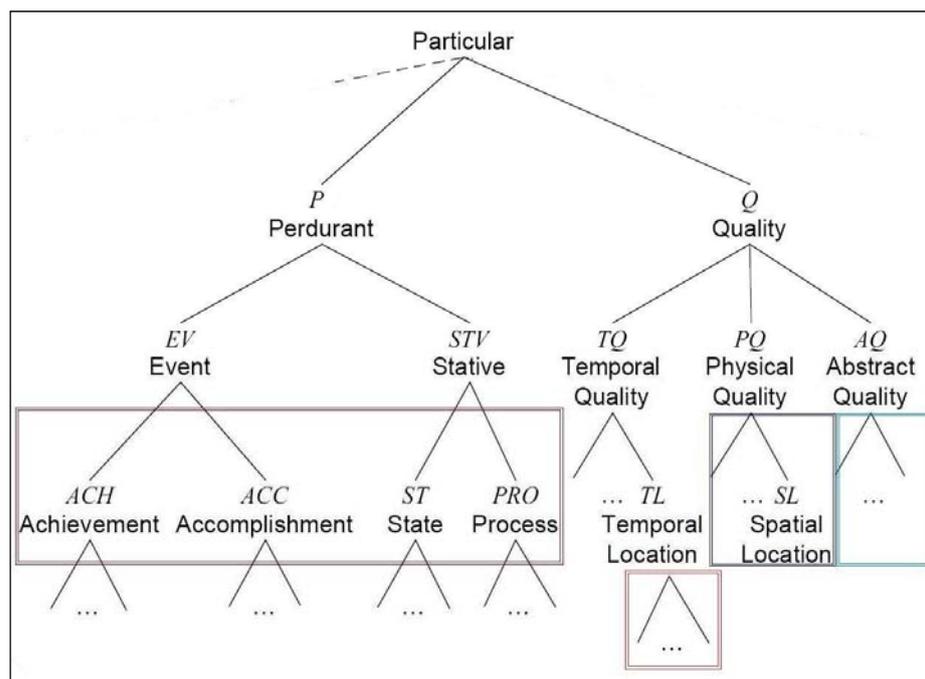


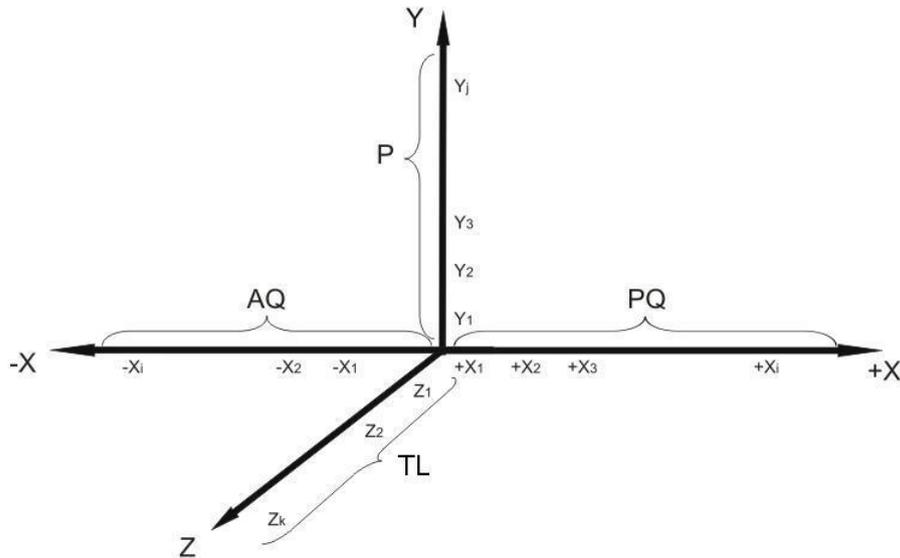
Figura 12 - Algoritmo para la clasificación de los perdurants

**Eje Z:** A este tercer eje que completa las dimensiones del modelo se le han asignado los valores correspondientes a las cualidades temporales (TQs). Del mismo modo que sucedió con las PQs en el eje X, la DOLCE sólo proporciona un valor como ejemplo dentro de este grupo, y deja abierto el subnivel para que el usuario final lo complete según sus necesidades. El valor proporcionado en este subnivel es la ubicación temporal (*temporal location* - TL). En este caso, y siguiendo también con el trabajo de Garbacz como en el primer eje, éste propone, en lugar de incrementar el subnivel con nuevos valores, tomar ubicación temporal como nivel principal y desarrollar su nivel inferior para la adición de nuevos valores. Para aclarar esta idea, la Figura 13 ilustra los niveles del diagrama de la DOLCE utilizados para definir los ejes del modelo B-Cube, donde se aprecia que el nivel utilizado para el eje Z es inferior a los utilizados para definir los otros ejes, según la propuesta de Garbacz. Por tanto, los ejes anunciados en la Figura 11 quedan realmente como se presentan en la Figura 14. Para Garbacz, el subnivel de ubicación temporal se compone de dos valores: estado inicial (*initial SoA*) y estado final (*final SoA*), donde *SoA* (*State of Affairs*) viene a significar el estado en que se encuentra la PQ o AQ afectado por el comportamiento. Así, estos dos valores quedan definidos como:

- **Estado Inicial (*Initial SoA*):** En el comportamiento, la definición “inicial” se refiere a que el aspecto o estado a que se refiere la PQ o AQ existe al inicio de la acción. En el transcurso del comportamiento este aspecto se verá eliminado o reducido como consecuencia del mismo comportamiento que lo afecta. Por ejemplo, los comportamientos enfriar o congelar tienen como valor de PQ energía. En estos casos, dicha energía existe al inicio de la acción y nos la encontramos reducida o eliminada al final de la misma, es decir, una vez que el comportamiento descrito ha actuado.
- **Estado final (*Final SoA*):** Aquí sucede el caso contrario al anterior. La PQ o AQ está presente o tiene un nivel alto al final de la acción, pero no al principio de la misma. Es el propio comportamiento durante su transcurso el que causa que esta PQ o AQ aparezca o se vea incrementada. Por ejemplo, en el caso del comportamiento calentar, la PQ energía del sujeto al final de la acción es superior a su nivel al inicio de la misma.



**Figura 13 – Detalle del esquema de la DOLCE con los niveles utilizados por el modelo B-Cube**



**Figura 14 - Ejes del modelo B-Cube teniendo en cuenta las consideraciones de Garbacz**

Esta posición temporal se puede apreciar fácilmente en los valores de las PQs, a excepción de localización espacial. En el valor energía, como ya se ha visto en los ejemplos anteriores, queda claramente definido si su valor elevado se encuentra al inicio o al final del comportamiento. Lo mismo ocurre con los casos de material (p.ej. el peso puede ser aumentado o disminuido), señal (una señal puede ser amplificada o amortiguada), y *topological connectedness* (los elementos puede ser separados, perdiendo su conexión topológica, o unidos, ganándola). Sin embargo, este concepto no resulta tan claro en el caso del valor localización espacial, puesto que un elemento siempre tiene una posición definida en el espacio, y no puede perderla. En este caso la posición en el espacio siempre será “en referencia a”, y su sentido se establecerá por convenio con el valor conexión topológica. Así, del mismo modo que cuando un elemento pierde una conexión topológica que tenía al inicio (estado inicial) se separa del mismo, aunque sea a microescala, cuando un comportamiento causa que un elemento tome una posición en el espacio más alejada a su punto de referencia, es decir, que se separe, se le clasificará igualmente como estado inicial. Este mismo convenio se utilizará para establecer la dirección de las TL para la clasificación de los comportamientos cuando éstos pertenezcan al sector de las AQs, es decir, al eje  $-X$ .

Así por ejemplo, si el acto físico de vender un objeto provoca que el elemento sujeto se separe físicamente de su lugar inicial de referencia, que sería el concesionario, el rol del vendedor, que es un NPED al que le corresponde una AQ, mantendrá este sentido y tendrá, por tanto, un valor de estado inicial en el eje Z.

Sin embargo, con estos dos valores del eje Z propuestos por Garbacz no se consiguen abarcar todas las necesidades para definir a los comportamientos posibles. Existen algunos comportamientos que no incrementan o reducen los PQ o AQ a los que afectan, como por ejemplo cuando en un motor se transforma la energía de química a térmica o de térmica a mecánica. En estos casos el nivel de energía no cambia (primer principio de la termodinámica) y sin embargo el comportamiento sí le afecta. Para englobar y definir este conjunto de comportamientos se ha escogido el término estado inmutable (*immutable SoA*), definido del siguiente modo:

- **Estado inmutable (*Immutable SoA*):** En el comportamiento a describir, el P actúa claramente sobre un PQ o AQ definido, pero su valor inicial no se ve alterado por el propio comportamiento. Esto es, no hay un incremento, aparición, decremento o desaparición del PQ o AQ como consecuencia del comportamiento que lo afecta.

Con estos valores descritos en este punto y resumidos en la Tabla 3, la parte física del modelo B-Cube queda tal y como se representa en la Figura 15. Con este modelo, un comportamiento ya no queda definido por una sola palabra, sino que viene representado por un vector tridimensional (x, y, z). Así, por ejemplo, un soplete utilizado para la soldadura autógena de dos tuberías metálicas presenta un comportamiento (2, 3, 3), dónde:

- **X = 2 = conexión topológica**, ya que soldar dos piezas se refiere al estado de la conexión física existente entre ellas.
- **Y = 3 = realización**, siguiendo el algoritmo de la Figura 12 se ve que soldar en este caso es una acción no acumulativa, ya que soldar un tubo más soldar un tubo da como resultado soldar dos tubos; y que es no atómico, porque el proceso necesita de más de una acción instantánea: encender la llama, acercar las piezas a soldar, añadir aditivos, etc.

- **Z = 3 = estado final**, porque la conexión topológica no está presente al inicio de la acción, pero se obtiene a consecuencia del comportamiento.

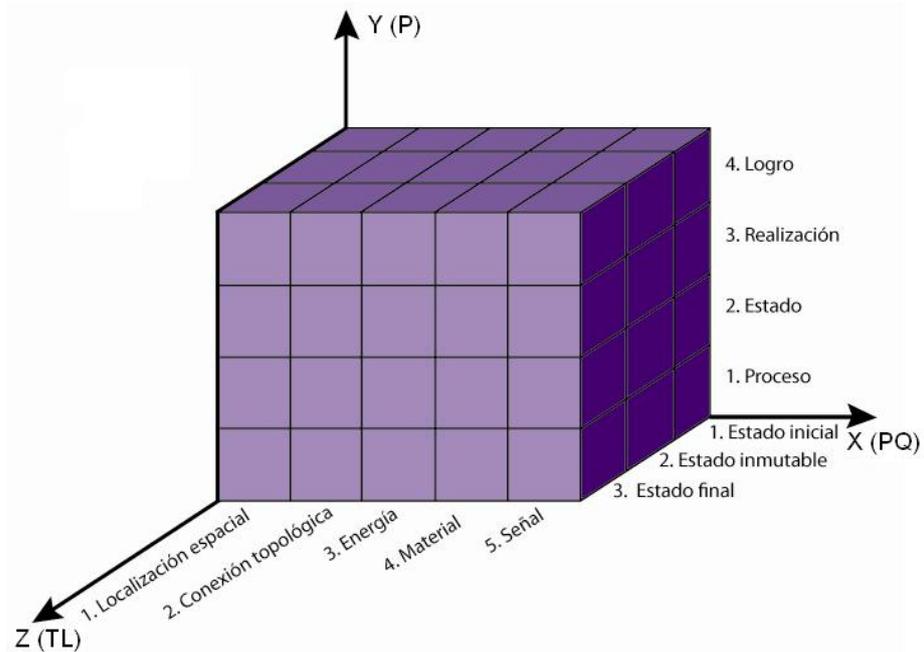
Mientras que el mismo soplete utilizado para calentar agua presenta un comportamiento de (3, 2, 3), dónde:

- **X = 3 = energía**, puesto que calentar agua se refiere al estado energético del agua.
- **Y = 2 = estado**, ya que calentar agua se considera acumulativa, donde calentar agua más calentar agua da como resultado calentar agua; y homeomérico, pues en todo instante de la acción se le denomina calentar agua.
- **Z = 3 = estado final**, porque el nivel de energía es mayor al final de la acción a consecuencia del comportamiento.

**Tabla 3 – Valores físicos del modelo B-Cube**

| Eje                      | Valor | Término               | Significado   | Ejemplos  |
|--------------------------|-------|-----------------------|---|---|
| X<br>Physical<br>Quality | 1     | Localización espacial | Posición del PED en el espacio                                    | Alejar un objeto<br>Rotar un objeto                         |
|                          | 2     | Conexión topológica   | El tipo de conexión a nivel topológico en que se encuentra un PED | Romper un objeto<br>Unir un objeto                          |
|                          | 3     | Energía               | Estado energético del PED   | Congelar agua<br>Cargar una batería                         |
|                          | 4     | Material              | Una magnitud física del PED que es afectada por el comportamiento | Incrementar conductividad<br>Cambiar el color               |
|                          | 5     | Señal                 | Acciones referentes a un PED cuando éste actúa como una señal     | Amplificar una onda<br>Un teléfono móvil mandando una señal |
| Y<br>Perdurant           | 1     | Proceso               | El comportamiento es acumulativo y no homeomérico                 | Correr  |
|                          | 2     | Estado                | Acumulativo y homeomérico   | Estar sentado   |

| Eje                       | Valor | Término          | Significado   | Ejemplos            |
|---------------------------|-------|------------------|---|---------------------|
| Z<br>Temporal<br>Location | 3     | Realización      | No acumulativo y no atómico   | Dar una clase       |
|                           | 4     | Logro            | No acumulativo y atómico  | Romper un espejo    |
|                           | 1     | Estado inicial   | El comportamiento causa que el PQ o AQ inicial se reduzca o desaparezca | Enfriar un objeto   |
|                           | 2     | Estado inmutable | El comportamiento no varía el nivel o cantidad de PQ o AQ al que afecta | Transformar energía |
|                           | 3     | Estado final     | El comportamiento causa que el PQ o AQ inicial aumente o aparezca       | Calentar un objeto  |
|                           |       |                  |   |                     |



**Figura 15 – Parte física del modelo B-Cube de comportamientos**

Una vez definido el modelo en su parte física, conviene destacar el hecho de que el modelo B-Cube actúa como una ontología y no como una simple clasificación de términos jerarquizada, como lo son las taxonomías. Esto es razonable ya que está construido a partir una ontología de nivel superior como es la DOLCE. El hecho de ser una ontología implica que hay un conocimiento inherente a cada término o taxón. Así pues, las RFB presentan la clasificación jerarquizada característica de las taxonomías, lo que significa que *join* es un elemento dentro del grupo de términos *couple*, y éste a su vez forma parte del conjunto de términos que abarca *connect*. En el caso del modelo B-Cube, como puede verse en la Figura 16, cuando intentamos clasificar los términos jerárquicamente éstos se repiten sistemáticamente. Es más, es indiferente qué eje X, Y o Z tomemos como grupo principal y cuáles como ramas secundarias y terciarias, pues el significado seguiría permaneciendo constante. Esto justifica el hecho de que no se trate de una simple clasificación de términos, puesto que no es el término al final de las ramas el que da el significado al término, sino que cada rama que se escoja le va a proveer de un significado específico. Es decir, en el modelo B-Cube el camino tiene más importancia que el término final de la misma. Esto es, cuando se habla del “camino” (2, 4, 3) nos estamos refiriendo a una acción que afecta a la conexión topológica (X=2) de un objeto en un modo no acumulativo y atómico (Y=4), y que causa que el objeto consiga la unión topológica al final de la acción (Z=3), independientemente del nombre escogido para designar a dicho “camino”. Los términos *touch*, *prick*, *stick*, *attach*, *link*, *join*, y otros muchos pueden representar ese mismo “camino”, pero esos mismos términos pueden representar del mismo modo “caminos” diferentes. Por ejemplo, *join* puede ser entendido como (2, 3, 3), (2, 1, 3) o (2, 4, 3). Una simple palabra podría ser fijada para cada término con el objeto de hacer el modelo más amigable y de fácil comprensión, pero por el momento parece mejor mantener la terminología de vectores con el objetivo de evitar la ambigüedad que representa la interpretación de un simple verbo.

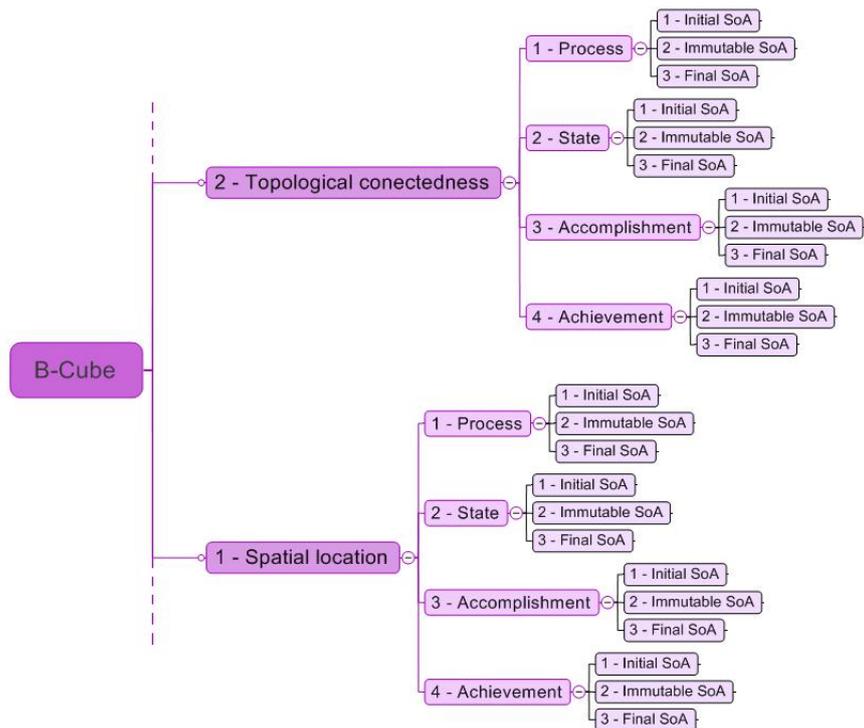


Figura 16 – Extracto de la ontología B-Cube.

### 3.4 B-Cube y NIST

En este punto se comparará la taxonomía establecida y aceptada de las RFB del NIST (Hirtz *et al.*, 2002) con la terminología del modelo B-Cube, con el objetivo principal de buscar correlaciones entre términos y similitudes y diferencias entre sus usos y aplicaciones.

La primera diferencia que nos encontramos al comparar las RFB del NIST y el modelo B-Cube radica en el hecho de que mientras los términos de las RFB resultan más genéricos que los del modelo B-Cube, que se presentan más específicos gracias a su carácter vectorial. Por lo tanto, aún cuando se utilizan los términos del tercer nivel de las RFB, que es el nivel de mayor especificidad, falta todavía mucha información que no está incluida en la propia definición, como por ejemplo sucede con la función *divide*. Este término presenta un grado de información a nivel general sobre qué está haciendo el término, esto es, dividir algo, pero no hay ningún tipo de información sobre qué tipo de cosa se está dividiendo (flujo) o como se alcanza a ejecutar dicha división. El simple término *divide* puede expresar que

algo material se rompe de golpe (2, 4, 1), como por ejemplo cuando se parte un lápiz, o puede significar que algo material está siendo dividido en partes de un modo más paulatino, como cuando se cortan las rebanadas de pan con un cuchillo (2, 3, 1), o incluso un instrumento que divida la señal en dos canales (5, 2, 1). Otra forma de explicar esta diferencia en cuanto a nivel de especificidad entre las RFB y el modelo B-Cube es que, mientras que el trabajo del NIST es claramente una taxonomía, el modelo B-Cube puede actuar como una ontología, tal y como se ha explicado en el punto anterior.

Para realizar la correlación se ha optado por escoger los términos de segundo y tercer nivel (*secondary function* y *tertiary function*) de las RFB (Tabla 4) por dos razones. La primera es conseguir un número elevado de términos para poder establecer las correlaciones de un modo más específico, ya que buscamos un nivel de abstracción reducido, y esas sutiles diferencias de significado entre términos adquieren una considerable importancia cuando nos referimos a los comportamientos. El otro motivo es que ya el mismo trabajo del NIST cuando establece correlaciones con las diferentes taxonomías en que se basa les asigna correspondencias al término genérico con que designa al segundo nivel. La excepción la presenta el término de función primaria *convert*, que no posee ningún término de segundo ni tercer nivel, por lo que en este caso deberá ser empleado el mismo término *convert* para definir a toda la rama.

**Tabla 4** – Reconciled Functional Basis( RFB) del NIST(Hirtz et al., 2002)

| Primary Function | Secondary Function | Tertiary Function                  |
|------------------|--------------------|------------------------------------|
| Branch           | Separate           | Divide<br>Extract<br><i>Remove</i> |
|                  | Distribute         |                                    |
| Channel          | Import             |                                    |
|                  | Export             |                                    |
|                  | Transfer           | Transport<br>Transmit              |

| Primary Function  | Secondary Function | Tertiary Function                            |
|-------------------|--------------------|--|
|                   | Guide              | Translate<br>Rotate<br>Allow DOF             |
| <i>Connect</i>    | Couple             | Join<br>Link                                 |
|                   | Mix                |  |
| Control magnitude | Actuate            |  |
|                   | Regulate           | Increase<br>Decrease                         |
|                   | Change             | Increment<br>Decrement<br>Shape<br>Condition |
|                   | Stop               | Prevent<br>Inhibit                           |
| Convert           |                    |  |
| Provision         | Store              | Contain<br>Collect                           |
|                   | Supply             |  |
| Signal            | Sense              | Detect<br>Measure                            |
|                   | Indicate           | Track<br>Display                             |
|                   | Process            |  |
| Support           | Stabilize          |  |
|                   | Secure             |  |
|                   | Position           |  |

Las correlaciones se han realizado tomando los términos del modelo B-Cube uno por uno y, para cada uno de esos términos, se ha buscado un término del NIST. Como resultado predecible, un término del NIST puede corresponderse con más de uno del modelo B-Cube. Por ejemplo, el término *remove* puede ser concretado de diferentes formas. Puede significar el proceso acumulativo (*cumulative*) de separar dos partes que no están conectadas topológicamente, como achicar el agua mediante una bomba manual, o puede ser llevado a cabo con una acción más “contable”, como sacar un pollo de la nevera. El mismo término también puede significar el proceso de separar dos partes unidas topológicamente, como cuando se pulimenta un mueble, o también cuando se hace de un modo más homeomérico, como la corrosión de una barra de hierro. En la Tabla 5 se muestra un ejemplo de dos objetos o sustancias diferentes capaces de llevar a cabo la misma función en términos del NIST (*remove*), pero de dos modos concretos diferentes. La pulidora supone un proceso continuo, duradero a lo largo del tiempo y no homeomérico, mientras que la corrosión ambiental por su parte actúa de un modo continuo, duradero y homeomérico.

**Tabla 5** – Ejemplo de dos comportamientos diferentes capaces de llevar a cabo la función *remove*.

|        |   |  |
|--------|---|--|
|        |  |  |
| FRB    | Remove  | Remove   |
| B-Cube | (2,1,1)   | (2,2,1)  |

Otro caso que surge durante la elaboración de las correlaciones es que dos términos diferentes de las RFB pueden llevar al mismo comportamiento del modelo B-Cube. Este caso sucede cuando una de las posibles formas de llevar a cabo una función puede ser descrita con las mismas tres propiedades que definen un modo de alcanzar otra función. En este caso tenemos como ejemplo a las funciones *translate* y *rotate*. *Translate* puede ser concretado como el proceso ( $y = 1 = \text{proceso}$ ) de mover ( $x = 1 = \text{localización espacial}$ ) un objeto sin

una dirección definida ( $z = 2 =$  estado inmutable), esto es, sin acercarlo o alejarlo de un punto de referencia. Del mismo modo puede ser definido el comportamiento que describe a la función *rotate*, donde se actúa como un proceso (proceso) de girar (localización espacial) un objeto, por lo que tampoco se acerca ni se aleja de un punto de referencia (estado inmutable). Esto no significa que el modelo B-Cube presente ambigüedades, más bien por el contrario se pretende incrementar la especificidad presente en las RFB, ya que el término *translate* puede significar tanto acercar un objeto ( $Z = 3$ ) como alejarlo ( $Z = 1$ ), o la simple palabra trasladar puede ser entendida como un movimiento realizado de un modo más instantáneo ( $Y = 4$ ).

La Tabla 6 muestra las correlaciones entre los términos de las RFB del NIST y los términos del modelo B-Cube. La tercera columna muestra otras correspondencias de términos con la finalidad de ayudar a clarificar los significados específicos de cada comportamiento. En la misma tabla se puede apreciar que existen algunos comportamientos clasificados en el modelo B-Cube que no presentan ninguna correlación con las RFB. Puesto que las definiciones de los comportamientos en el modelo B-Cube se han realizado mediante la combinatoria de sus posibles parámetros, lo que asegura que no hay omisiones de términos, este hecho nos apunta a posibles acciones que los investigadores del NIST no han tenido en cuenta a la hora de realizar su taxonomía.

**Tabla 6** – Correlación entre las reconciled functional basis (RFB) del NIST y los términos del modelo B-Cube.

| B-Cube    | NIST                                       | Other correspondences          |
|-----------|--|--------------------------------|
| (1, 1, 1) | <i>Remove</i> ; Extract                    | Bail out                       |
| (1, 1, 2) | Translate; Rotate                          | Move; Vibrate; Spin;           |
| (1, 1, 3) | <i>Supply</i>                              | Implant; Insert; Install       |
| (1, 2, 1) | <i>Transport</i>                           | Repel; Keep separated          |
| (1, 2, 2) | Allow DOF; <i>Secure</i> ;<br><i>Guide</i> | Not Allow DOF; Hold up; Orient |
| (1, 2, 3) | <i>Transport</i>                           | Attract; Keep close            |
| (1, 3, 1) | <i>Guide</i> ; <i>Remove</i>               | Shift                          |
| (1, 3, 2) | Position                                   | Align, Orient                  |

| B-Cube    | NIST                              | Other correspondences            |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------------|
| (1, 3, 3) |                                   | Introduce; Put in; Approach      |
| (1, 4, 1) | <i>Separate</i> ; Export          |                                  |
| (1, 4, 2) | Stop                              | Locate                           |
| (1, 4, 3) | Import                            | Reach                            |
| (2, 1, 1) | <i>Remove</i>                     | Carve; Polish; Clean; Erode      |
| (2, 1, 2) | Stabilize                         | Stabilize                        |
| (2, 1, 3) | <i>Secure</i> ; Couple            | Fix; Fuse; Bind; Screw           |
| (2, 2, 1) | <i>Remove</i>                     | Cleave; Corrode                  |
| (2, 2, 2) | Contain; <i>Inhibit</i>           | Protect; Shield                  |
| (2, 2, 3) | Mix                               |                                  |
| (2, 3, 1) | <i>Separate</i>                   | Disjoin; Disincrust              |
| (2, 3, 2) | <i>Secure</i>                     | Insulate; Retain                 |
| (2, 3, 3) | Join                              | Assemble                         |
| (2, 4, 1) | Divide                            | Split; Tear; Rip; Disincrust     |
| (2, 4, 2) | <i>Inhibit</i>                    | Block                            |
| (2, 4, 3) | Link                              | Touch; Prick; Stick; Attach      |
| (3, 1, 1) | Collect                           | Consume                          |
| (3, 1, 2) | <i>Transmit</i> ; <i>Convert</i>  | Conduct; Channel; Transform      |
| (3, 1, 3) | <i>Increment</i> ; <i>Supply</i>  | Generate; Energise               |
| (3, 2, 1) | <i>Convert</i> ; <i>Collect</i> ; | Cool; Freeze; Condense; Solidify |
| (3, 2, 2) | Store; <i>Prevent</i>             | Conserve; Transform              |
| (3, 2, 3) | <i>Convert</i> ; <i>Supply</i>    | Warm; Evaporate; Melt            |
| (3, 3, 1) | <i>Collect</i>                    | Unload; Discharge                |
| (3, 3, 2) | Regulate                          | Regulate                         |
| (3, 3, 3) | <i>Supply</i>                     | Load; Charge                     |
| (3, 4, 1) | Prevent; <i>Stop</i>              | Switch off; Stop; Turn off       |
| (3, 4, 2) | <i>Guide</i>                      | Switch                           |
| (3, 4, 3) | Actuate                           | Switch on; Turn on               |

| B-Cube    | NIST                     | Other correspondences         |
|-----------|--------------------------|-------------------------------|
| (4, 1, 1) | <i>Shape</i>             | Compact; Compress             |
| (4, 1, 2) | Condition; <i>Shape</i>  | Adapt; Prepare; Deform        |
| (4, 1, 3) | <i>Shape</i>             | Expand; Stretch; Enlarge      |
| (4, 2, 1) | <i>Decrement</i>         | Reduce; Dampen; Weaken        |
| (4, 2, 2) | <i>Measure; Regulate</i> |                               |
| (4, 2, 3) | <i>Increment</i>         | Magnify; Strengthen; Increase |
| (4, 3, 1) | <i>Decrement</i>         | Decrement; Attenuate          |
| (4, 3, 2) | <i>Change</i>            | Normalize; Adjust             |
| (4, 3, 3) | <i>Increment</i>         | Amplify                       |
| (4, 4, 1) | Decrease                 |                               |
| (4, 4, 2) | <i>Change</i>            | Invert                        |
| (4, 4, 3) | Increase                 |                               |
| (5, 1, 1) | <i>Display; Export</i>   | Emit                          |
| (5, 1, 2) | Transfer                 | Identify                      |
| (5, 1, 3) | Detect; Import           |                               |
| (5, 2, 1) | <i>Display</i>           |                               |
| (5, 2, 2) | <i>Transmit</i>          | Conduct; Guide                |
| (5, 2, 3) | Sense                    |                               |
| (5, 3, 1) | <i>Display</i>           | Emit                          |
| (5, 3, 2) | <i>Process</i>           | Compare                       |
| (5, 3, 3) | <i>Indicate</i>          | Record; Register; Import      |
| (5, 4, 1) | <i>Indicate</i>          | Show                          |
| (5, 4, 2) | <i>Process</i>           | Check                         |
| (5, 4, 3) | <i>Measure</i>           | Locate                        |

La parte abstracta del modelo B-Cube, correspondiente al eje -X, ha sido omitida deliberadamente de esta comparativa debido a que las RFB del NIST no las tiene en consideración, sino que se centra en el diseño mecánico. Esto no conlleva importancia cuando se diseñan objetos físicos, útiles o artefactos, dónde la parte física del modelo B-

Cube puede trabajar correctamente con las RFB del NIST, pero será necesario plantear unas bases funcionales para la parte abstracta con la finalidad de emplear el modelo para el diseño de procesos y organizaciones.

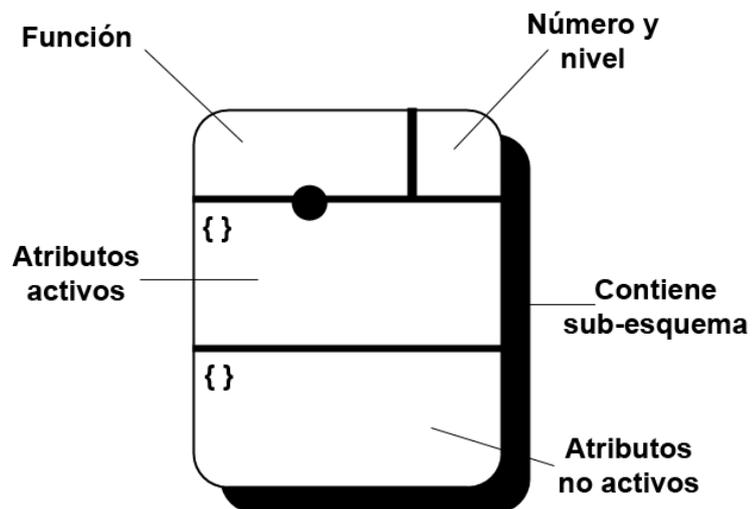
. A la vista de los resultados del presente aportado, se puede afirmar que el modelo B-Cube permite ver y cubrir todos los vacíos dejados por en NIST en algunas definiciones. La correlación establecida en este apartado posibilita la elaboración de modelos funcionales aprovechando las RFB para la representación del nivel de funciones, con todas las ventajas que ello conlleva (Hirtz *et al.*, 2002), conjuntamente con el modelo B-Cube para cubrir el nivel de comportamientos de una forma completa, uniforme, y sin ambigüedades, como podrá ser visto en los ejemplos presentados del punto 3.6 al punto 3.8. Para poder mostrar y manipular el conocimiento presentado en dichos modelos funcionales se hace necesario de un modelo informal estandarizado para su representación, cuyo desarrollo se muestra en el punto siguiente.

### **3.5 Modelo informal para la representación de diseños basados en el esquema B-FES**

En este punto se presenta una propuesta para la representación del conocimiento en el diseño, dentro de un marco B-FES y basada en la terminología de la familia IDEF, para lograr que la representación sea intuitiva y sencilla de comprender. El trabajo se ha basado en los lenguajes de modelado IDEF 3 y, mayoritariamente, IDEF4, orientados al diseño de procesos y de objetos respectivamente, y en el marco B-FES, que diferencia aquellas estructuras que pertenecen al diseño de aquellas que forman parte del medio, que denominaremos restricciones. Las taxonomías empleadas para completar los términos son la terminología de las RFB del NIST (Hirtz *et al.*, 2002) para definir las funciones, y la taxonomía empleada en el modelo B-Cube para expresar los comportamientos.

Para representar una función se ha escogido la caja básica que representa tanto las instancias como los comportamientos en IDEF4, con esquinas redondeadas, con la única modificación de subdividir la cabecera en 2 espacios para poder disponer de espacio para indicar el número y nivel de la función al igual que se representa en IDEF3, tal y como se muestra en la Figura 17. En esta cabecera se incluye el

nombre de la función correspondiente a la taxonomía de las RFB a la izquierda, y el número y nivel de la función a la derecha, donde los niveles quedan representados como unidades simples (1, 2, 3,...) para el primer nivel, decenas para el segundo nivel, donde el primer dígito corresponde al nivel del que procede (11 sería la primera sub-función de segundo nivel derivada de la primera función de primer nivel), centenas para el tercero, y así sucesivamente. La encapsulación de la información a dos niveles representa, en la parte superior las propiedades activas de la función en el diseño representado, y las funciones disponibles propias de la función pero no activas en el diseño en la parte inferior. La zona sombreada de la caja indica que dicha función contiene sub-esquemas. Los sub-esquemas se representan en hojas separadas, y todas las numeraciones se presentan en forma de esquema numerado, donde el primer dígito indica el componente del que proceden, Por ejemplo, si la función 3 de un diagrama contiene un sub-esquema, todas las funciones de dicho sub-esquema aparecerán precedidos de 3. (3.1; 3.2; 3.21; etc.)



**Figura 17 - Representación de las funciones**

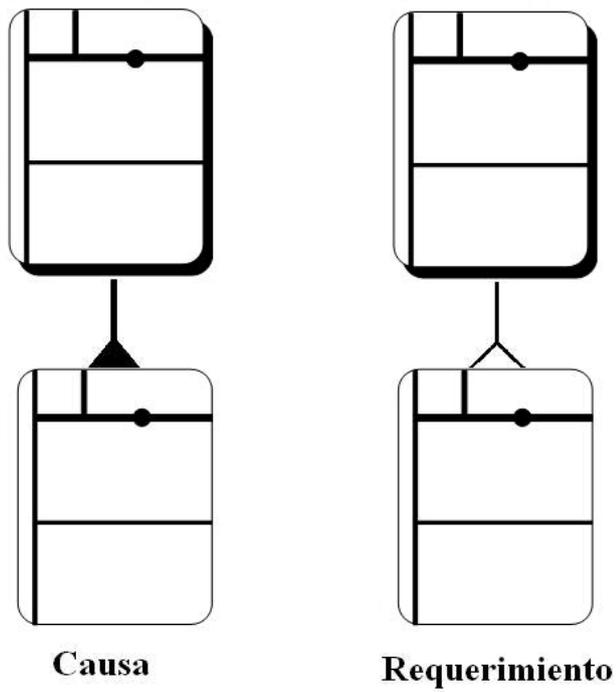
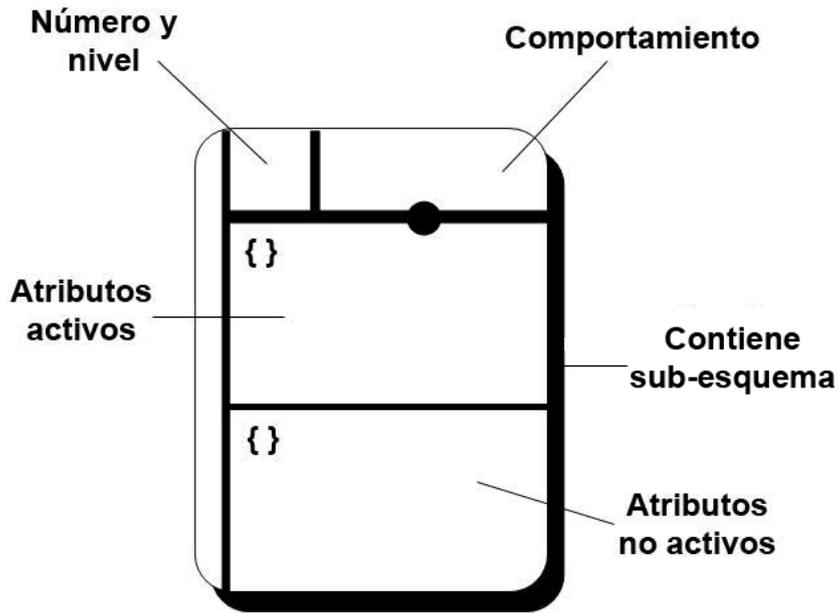
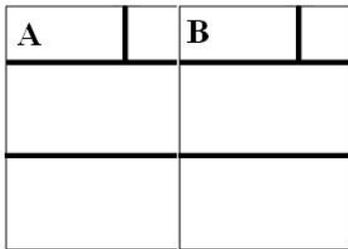
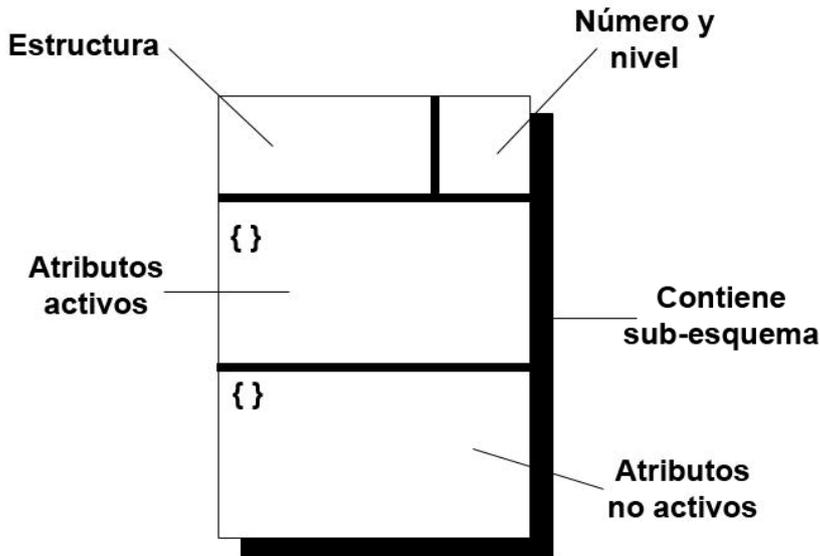


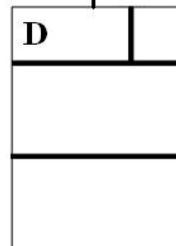
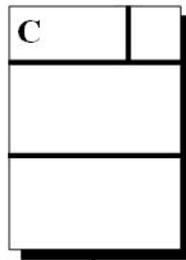
Figura 18 - Representación de los comportamientos

El nivel de comportamientos viene representado por el mismo tipo de caja básica que en el caso de las funciones, diferenciándolo de las mismas mediante una banda lateral izquierda. El resto de características también son compartidas con el nivel de funciones, a excepción de la numeración que se incluye en el lado opuesto para incrementar las diferencias entre éstos y las funciones, tal y como se puede ver en la representación gráfica en la Figura 18. El nombre del comportamiento se corresponderá con la terminología del modelo B-Cube. Puesto que los subniveles de comportamientos pueden ser causados por o requeridos por el nivel anterior, esta diferencia se destacará por un triángulo en la base de la unión entre comportamientos: triángulo negro para representar que el sub-comportamiento es provocado por el anterior (causa) y blanco para indicar que el sub-comportamiento es requerido a consecuencia del anterior, como también aparece representado en la misma Figura 56.

Para diferenciar el nivel de estructuras se ha escogido la caja básica que representa objetos en IDEF4, con esquinas rectas. Tanto la cabecera como el cuerpo han seguido el mismo modelo de divisiones y significados que en el caso de las funciones. Por lógica y para simplificar los esquemas, las estructuras contenidas dentro de otras estructuras se representarán como si de niveles y subniveles se tratara, donde el nivel superior corresponde al continente y el sub-nivel inferior al contenido. Esto implica que entre ambas estructuras existe el comportamiento implícito correspondiente a contener, definido como (2, 2, 2) según la terminología de B-Cube, donde el nivel superior es el sujeto y el sub-nivel el objeto. Del mismo modo, todas las estructuras que presenten unión entre ellas, es decir, un comportamiento (2, 2, 3) se representarán con sus correspondientes cajas unidas por un lateral. Todas estas posibilidades se representan en la Figura 19.



Estructura A unida a B

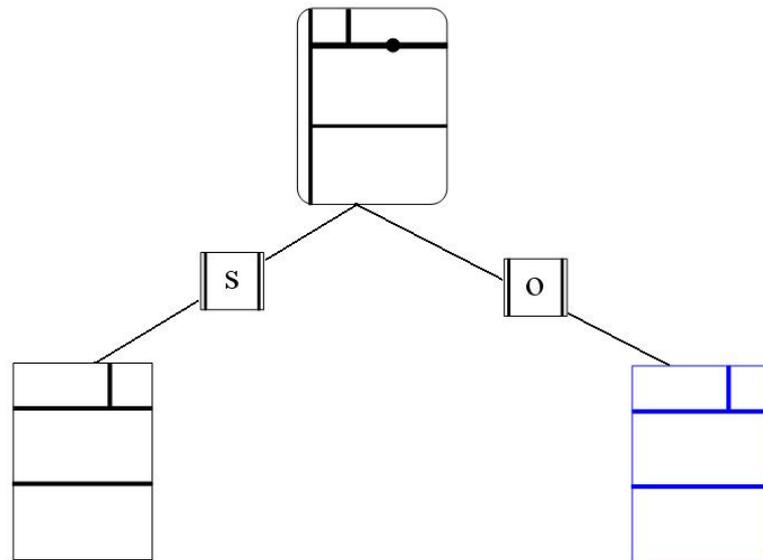


Estructura D contenida en C

Figura 19 - Representación de las Estructuras

Por último, para diferenciar las estructuras pertenecientes a la solución del diseño de las estructuras pertenecientes al medio, llamadas restricciones, se opta por cambiar el color de la caja. Por tanto la representación de las restricciones queda del mismo modo que las estructuras, pero con las cajas de color azul. Para representar qué estructura o restricción actúa como sujeto y cuál como objeto

sobre un comportamiento dado se utilizarán cajas similares a las utilizadas para indicar “and” y “or” en IDEF3, en este caso etiquetadas como “O” para representar al objeto (*object*) de la acción y “S” para representar al sujeto (*subject*) de la misma, tal y como se representa en la Figura 20. Como norma general, tanto las cajas O como las S llevarán como subíndice el número identificativo del comportamiento con el que guardan relación, con la finalidad de que la identificación visual de las mismas sea más clara para el usuario.



**Figura 20 - Representación de estructura sujeto y restricción objeto respecto de un comportamiento dado.**

Para clarificar el uso de este tipo de representación se muestran a continuación dos ejemplos, una pulidora y una guillotina, partiendo el primero de la función del NIST *branch/separate/remove*, representada por el comportamiento (2,1,1), como puede verse en la Figura 21, y el segundo de una función determinada por el taxón *branch/separate/divide* representada por el comportamiento (2,4,1), que puede verse en Figura 22

En el primer caso, la pulidora, se parte de la función primaria *remove*, la cual se ve en la Tabla 6 que puede ser llevada a cabo por cuatro comportamientos diferentes: (1, 1, 1), (1, 3, 1), (2, 1, 1) y (2, 2, 1). Como la acción de la pulidora afecta a la conexión topológica del objeto (por ejemplo, la superficie de una madera) y no a su posición en el espacio, el valor de X debe de ser 2. Además, el modo en que la

acción es llevada a cabo se considera como un proceso acumulativo y no homeomérico, esto es,  $Y = 1$ , por lo que el único comportamiento de los cuatro que cumpla ambas condiciones es el (2, 1, 1). Por último, la conexión topológica está presente al inicio de la acción y se pierde durante el transcurso de la misma ( $Z = 1$ ), lo que verifica que la elección es correcta. En la figura puede verse que la estructura escogida para desempeñar el comportamiento es una lija circular (*sanding wheel*) que está conectada con la carcasa (*casing*) que contiene el motor (*engine*). Este motor es el encargado de mover la lija circular a través de un comportamiento definido como (1, 1, 2), esto es, afecta a la localización espacial ( $X = 1$ ) con un proceso continuo ( $Y = 1$ ), pero sin acercarlo ni alejarlo de un punto de referencia ( $Z = 2$ ), simplemente rotándolo. El motor requiere a su vez de energía para funcionar, por lo que se necesita de una estructura capaz de conducir dicha energía. Un cable (*wire*) cumpliría con este requisito, puesto que puede ejecutar la acción descrita como un estado ( $Y = 2$ ) de permitir el flujo de energía ( $X = 3$ ) sin incrementarla o reducirla por sí mismo ( $Z = 2$ ). Por último, la carcasa que está conectada tanto al cable como a la lija circular y que contiene el motor es la parte por la que el usuario sostiene a la lijadora, que queda representado con el comportamiento (1, 2, 2).

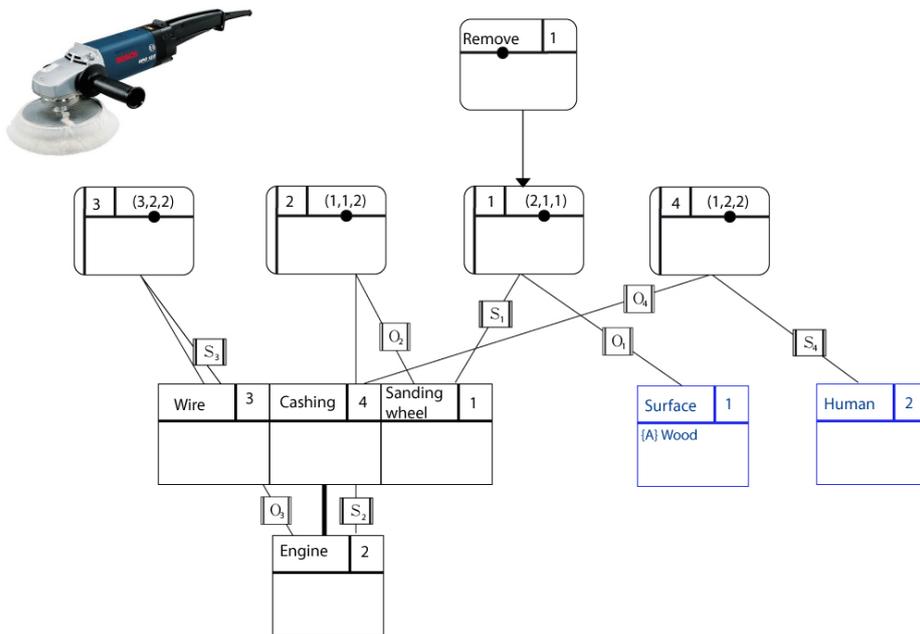
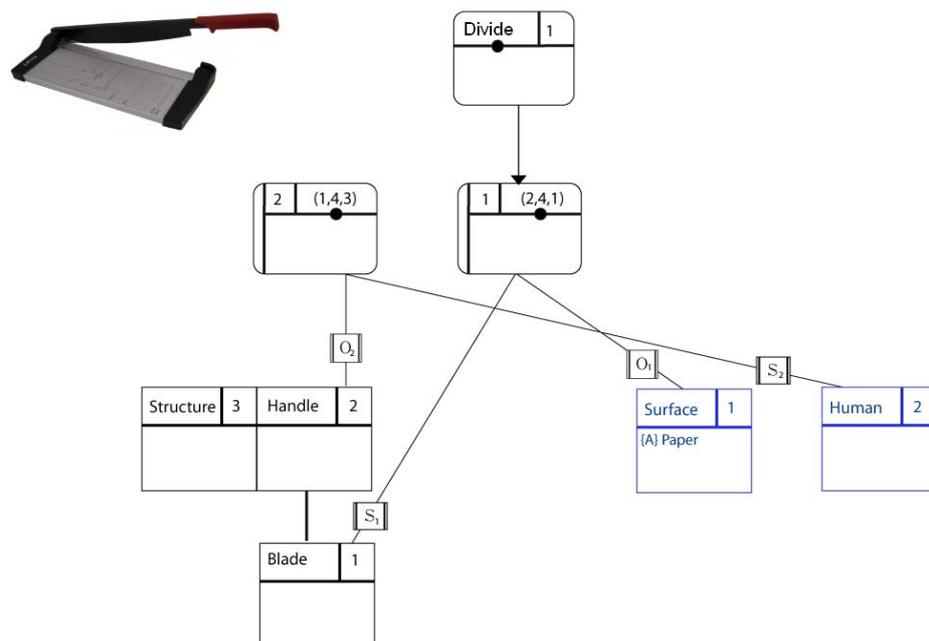


Figura 21 – Representación del esquema B-FES de una pulidora

El segundo ejemplo es el caso de la guillotina. En la Figura 22 se aprecia que la función principal, representada por el término del NIST *branch/separate/divide*, se corresponde según la Tabla 6 con el término de B-Cube (2, 4, 1) solamente. Este comportamiento representa que la acción afecta a la conexión topológica ( $X = 2$ ) de un modo no acumulativo e instantáneo ( $Y = 4$ ) y que causa que la conexión topológica inicial se pierda ( $Z = 1$ ). La estructura elegida para llevar a cabo este comportamiento consiste en un filo (*blade*) cubierto por un mango (*handle*) que protege al usuario de dañarse a sí mismo cuando lo usa. Dicho uso se representa con el comportamiento (1, 4, 3), esto es, el usuario cambia la posición espacial ( $X = 1$ ) del mango de un modo igualmente no acumulativo e instantáneo ( $Y = 4$ ) con el objetivo de acercarlo al papel ( $Z = 3$ ).



**Figura 22 - Representación del esquema B-FES de una guillotina**

### 3.6 Representación del diseño de un útil para la limpieza de cascos de barcos

En este caso se parte de un diseño existente para realizar su análisis funcional y representarlo dentro de un marco B-FES utilizando el modelo B-Cube y la taxonomía de las RFB, para justificar con ello la utilización del modelo B-Cube dentro del diseño funcional. El diseño

escogido para este primer ejemplo consiste en un artefacto llamado Tulum, de la compañía Praesentis (Figura 23 y Figura 24), consistente en un brazo extensible y articulado de 4,5 metros, provisto de cámara en uno de sus extremos y de una pantalla en el otro, que permite visualizar las imágenes que capta la cámara. Este útil sirve para inspeccionar zonas sumergidas y poco accesibles de embarcaciones e instalaciones portuarias. Dispone de dos accesorios, un cepillo y un gancho, que sirven para limpiar y quitar objetos extraños incrustados en los casos de dichas embarcaciones.



**Figura 23 – Vista superior del Tulum ([www.praesentis.com](http://www.praesentis.com))**



Figura 24 – Vista inferior del Tulum ([www.praesentis.com](http://www.praesentis.com))

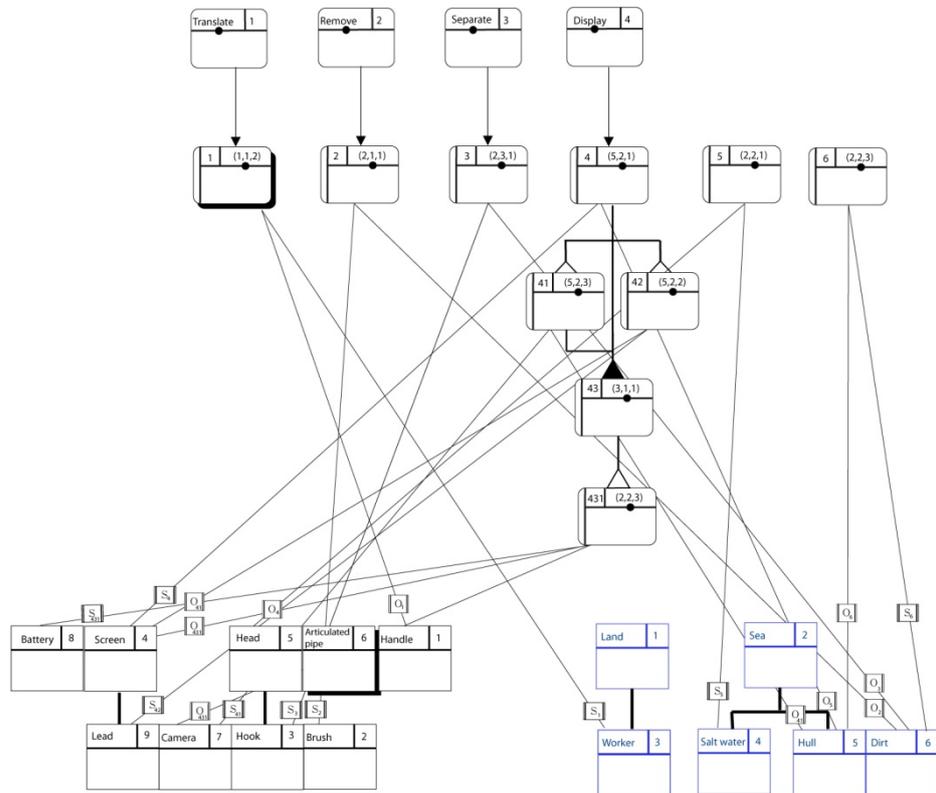
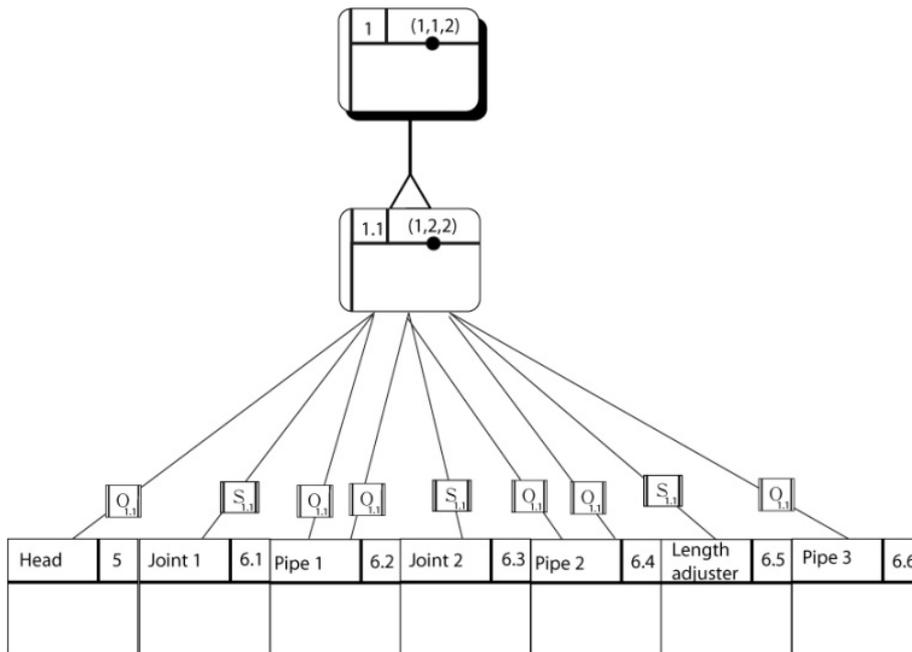


Figura 25 – Esquema del desarrollo funcional del Tulum

En los esquemas de las Figura 25 y Figura 26 se puede observar el desarrollo del útil en todos los niveles requeridos por el esquema B-FES, esto es, funciones, comportamientos, estructuras y medio, donde las funciones están relacionadas con los comportamientos y estos con las estructuras, correspondientes a la solución, y/o con las restricciones, que forman parte del medio. La Figura 25 se muestra en mayor resolución en el anexo 1.



**Figura 26 – Sub-esquema del desarrollo funcional del Tulum**

El nivel de funciones comprende aquellas funciones genéricas que lleva a cabo el artilugio analizado, expresadas en términos de la taxonomía del NIST: “channel, guide, translate”, “branch, separate, remove”, “branch, separate” y “signal, indicate, display”. Estas funciones se corresponden respectivamente con los objetivos del útil analizado, que son la capacidad de ser manejado por el operario, quitar la suciedad, separar los objetos incrustados, y mostrar el casco del barco.

El nivel de comportamientos se compone de los cuatro comportamientos principales que proceden de las funciones anteriores,

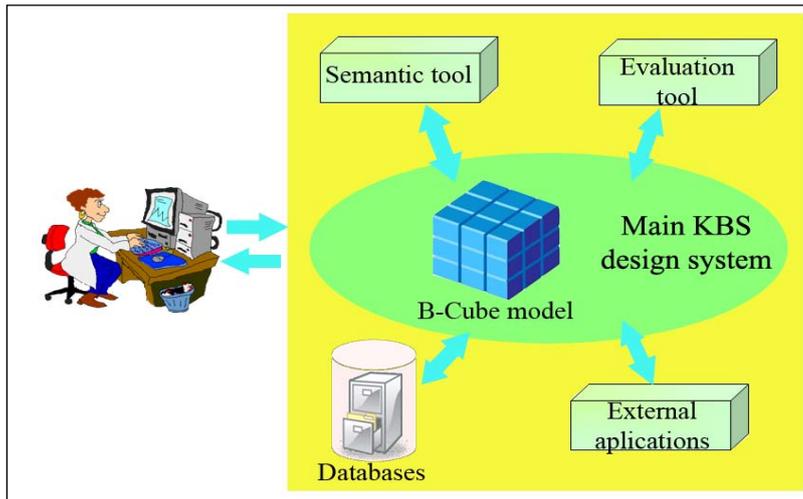
que son, siguiendo el mismo orden que las funciones en el párrafo anterior, (1, 1, 2) para “*translate*”; (2, 1, 1) para “*remove*”; (2, 3, 1) para “*separate*”; y (5, 2, 1) para “*display*”. Además hay que añadirle los comportamientos que generan las restricciones del medio, que en este caso se muestra con el estado de pérdida de conexión topológica causado por la corrosión del agua salada, dicho en términos de B-Cube (2, 2, 3), y también aquellos comportamientos de segundo y siguientes niveles derivados de los comportamientos principales. En el caso del ejemplo, del comportamiento (1, 1, 2) deriva un comportamiento (1, 2, 2) que correspondería a aumentar los grados de libertad entre las partes del útil para facilitar su manejo; mientras que del comportamiento (5, 2, 1), que es mostrar las imágenes, se derivan los comportamientos de capturarlas (5, 2, 3) y conducir las (5, 2, 2). Estos comportamientos de capturar y mostrar las imágenes causan a su vez un comportamiento de consumo de energía, que se muestra con el comportamiento (3, 1, 1), por lo que se requiere en el útil otro comportamiento adicional derivado de éste último que es el almacenamiento de dicha energía (3, 2, 2).

En un nivel inferior nos encontramos por un lado con la capa de restricciones del medio, compuesto por el mar, que contiene el agua salada y el casco del barco, que a su vez tiene adherida la suciedad, y el muelle, donde se sitúa el operario. Por otro lado tenemos la capa de estructuras, es decir, la solución desglosada en todas sus partes o estructuras. El nombre de cada estructura es suficiente para describirla, por lo que no necesita de mayor explicación. Cabe recordar que en estas dos capas la representación de las cajas de dos estructuras unidas representa que entre ellas hay un comportamiento de unión (2, 2, 3), y la representación de una estructura derivada de otra de nivel superior implica que la primera se encuentra contenida en la última, representando un comportamiento (2, 2, 2), tal y como se ha especificado en el punto anterior.

### **3.7 Evolución del diseño de un útil para escribir**

En un sistema basado en el conocimiento ideal, el diseñador simplemente debería introducir el enunciado de aquello que desea diseñar, y el sistema le proveería de la solución óptima o de varias alternativas que sean consideradas todas ellas como óptimas. Dicho KBS necesita para su funcionamiento herramientas semánticas, bases de datos y sistemas de evaluación de soluciones. Necesita además un

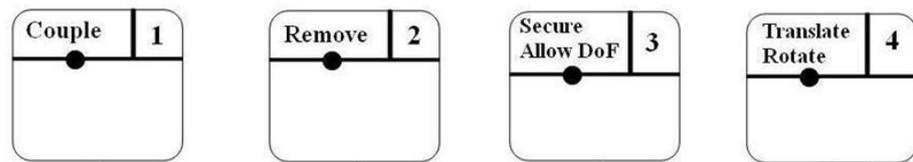
modelo de diseño para ordenar y homogeneizar el sistema, que en nuestro caso se ha defendido que esté basado en el marco FBS, del cual el modelo B-Cube va a formar su núcleo central, tal y como se muestra en la Figura 27. Puesto que el presente punto pretende demostrar el funcionamiento del modelo B-Cube dentro del sistema, se supone que tanto la herramienta semántica como el sistema de evaluación funcionan idealmente (o son controlados por el diseñador directamente), y que existen bases de datos completas para el sistema que queremos diseñar.



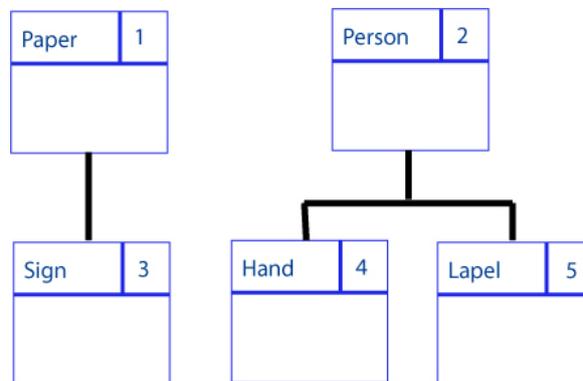
**Figura 27- Esquema del KBS propuesto**

En el caso a analizar se quiere diseñar un útil para escribir y borrar sobre papel, capaz de ser utilizado manualmente por una persona y que se pueda guardar cómodamente en la solapa. En este caso el diseñador o la herramienta semántica pueden llegar a distinguir cuatro funciones para desarrollar el correspondiente nivel: escribir, borrar, ser manipulado y sujetarse; y las siguientes restricciones para elaborar el nivel de Medio: persona, mano y solapa (que derivan de la anterior), y papel. También deberán aparecer los signos, vinculados al papel, que es el objetivo a lograr por el útil. Partiendo de estos datos, en primer lugar se necesita normalizar las funciones establecidas. Para dicha normalización se utilizan las RFB propuestas por el NIST. La función escribir puede ser considerada como unir los símbolos al papel, por lo que se corresponderá con el término “*connect, couple*” de las RFB. Por su parte la función borrar se corresponde con “*branch, separate, remove*”. Conseguir que un objeto pueda sujetarse puede

corresponderse con dos términos diferentes del NIST, “*support, secure*” y “*channel, guide, (not) allow degree of freedom*”. Aunque inicialmente parezca que se deba escoger un solo término, más adelante veremos que resulta conveniente dejar indicadas ambas opciones. Por último, la función ser manipulado se corresponde tanto al término “*channel, guide, translate*” como a “*channel, guide, rotate*”. Estos dos niveles de inicio se muestran en la Figura 28 y la Figura 29, que representan los niveles de funciones y medio respectivamente.



**Figura 28 – Nivel de funciones**



**Figura 29 – Nivel de Medio (restricciones)**

Para empezar a crear el nivel de comportamientos nos apoyamos en la correlación de los términos de las RFB con los términos del modelo B-Cube que se muestra en la Tabla 6, en el capítulo 3.4. En esta correlación podemos ver que a la función “*connect, couple*” le corresponde el comportamiento (2, 1, 3) directamente. En el caso de la función “*branch, separate, remove*” se observa que puede representarse por los comportamientos (1, 1, 1), (1, 3, 1), (2, 1, 1), (2, 2, 1), por lo que se requiere una mejor definición, bien por parte de la herramienta semántica, bien a través del feedback del mismo diseñador, o bien sea mediante otro sistema automatizado (p.ej. librerías de algoritmos). En este caso, escogemos (2, 1, 1) puesto que su comportamiento opuesto, es decir, escribir, ha quedado definido como un comportamiento (2, 1, 3).

La siguiente función hemos visto que podía ser definida tanto por “*support, secure*” como por “*cannel, guide, (not) allow degree of freedom*”. En este caso, para la primera definición le corresponden los valores de comportamientos (1, 2, 2), (2, 1, 3) y (2, 3, 2), mientras que para la segunda definición le corresponde el único valor (1, 2, 2). Este valor es el considerado para definir el comportamiento, puesto que coincide con una de las opciones correspondientes a la primera definición. Por último, las funciones “*channel, guide, translate*” y “*channel, guide, rotate*” se corresponden ambas con un único termino del modelo B-Cube, (1, 1, 2).

De estos comportamientos y de sus relaciones con el nivel del medio es de donde se deducirán las estructuras necesarias para el diseño del útil requerido. Para el ejemplo de este trabajo se ha supuesto que el diseñador dispone de una base de datos de estructuras bastante limitada. En este caso se trata de buscar en la base de datos las estructuras que sean capaces de llevar a cabo el comportamiento requerido, considerar el efecto de dichas estructuras con las restricciones del medio para un primer descarte, y luego evaluar las soluciones restantes para ver cuales cumplen realmente su cometido y bajo qué condiciones, en lo que sería una segunda criba. La Tabla 7 y la Tabla 8 muestran los ejemplos de búsqueda de estructuras-solución correspondientes a los comportamientos (2, 1, 3) y (2, 1, 1), respectivamente.

**Tabla 7** - Búsqueda y evaluación de estructuras para cumplir con el comportamiento (2, 1, 3)

| Estructura      | Compatibilidad con papel | Evaluación   |
|-----------------|--------------------------|--|
| Mina de carbono | Buena                    | Se desgasta.<br>Requiere contenedor.   |
| Tinta           | Buena                    | Se desgasta.<br>Requiere contenedor.   |
| Tiza            | Buena                    | Se desgasta.<br>Requiere contenedor.<br>Mala calidad del trazo.<br>Mancha y se emborriona. |
| Remache         | Mala                     | -  |
| Soldadura       | Mala                     | -  |

**Tabla 8 - Búsqueda y evaluación de estructuras para cumplir con el comportamiento (2, 1, 1)**

| Estructura | Compatibilidad con papel | Evaluación   |
|------------|--------------------------|--|
| Muela      | Regular                  | Daña ligeramente el papel.<br>Requiere fijación.<br>Útil tanto para la tinta como para la mina de carbono.                                       |
| Lija       | Regular                  | Daña ligeramente el papel.<br>Requiere fijación.<br>Útil tanto para la tinta como para la mina de carbono.                                       |
| Goma       | Buena                    | Se desgasta.<br>Bueno para la mina de carbono, pero inútil para la tinta.<br>Requiere fijación.  |
| Martillo   | Regular                  | Inútil   |
| Disolvente | Regular                  | Daños al papel en función de la concentración.<br>Expande la mancha de tinta.<br>Requiere contenedor.<br>Potencialmente peligroso para la salud. |

En este primer caso se observa que en la base de datos de estructuras se han encontrado cinco capaces de llevar a cabo el comportamiento deseado (2, 1, 3). De estas cinco, dos han sido directamente descartadas por su efecto sobre la restricción, es decir, por dañar al papel. Las tres restantes han sido evaluadas para su propósito final. Como se ve, dos de ellas presentan una desventaja y un requisito cada una, mientras que la tercera presenta tres desventajas y un requisito. Esta última será, por tanto, descartada. Ante la imposibilidad de definir cuál de las dos estructuras-solución restantes es la óptima, el sistema se desdobra a partir de este momento en la evolución paralela de dos útiles, que servirán ambos como solución final y deberán ser evaluados ambos una vez concluido el proceso de diseño. Dichos diseños paralelos les denominaremos solución A para la mina de carbono y solución B para la tinta.

En la Tabla 8 se puede apreciar del mismo modo como el proceso de diseño tiene en consideración la utilidad de las estructuras para

interactuar tanto con los signos de carbono como con los de tinta. Como vemos en este caso, la estructura-solución goma, que es la única que presenta buena compatibilidad con el papel, es útil para la evolución del diseño A, mientras que es inútil para el diseño B. En este caso se debe optar por una estructura de compatibilidad dudosa o regular con el papel que presente el menor número de desventajas y requisitos. En este caso tenemos una vez más dos estructuras, lo que sugiere un diseño B1, con muela, y otro diseño B2, con lija, aunque como se ha podido comprobar que en este caso la elección de una estructura u otra no ha influido en la evolución del diseño, se han mantenido ambas opciones como diseño B para continuar con el desarrollo del ejemplo. La Figura 30 y la Figura 31 muestran el desarrollo de ambos diseños en un primer nivel.

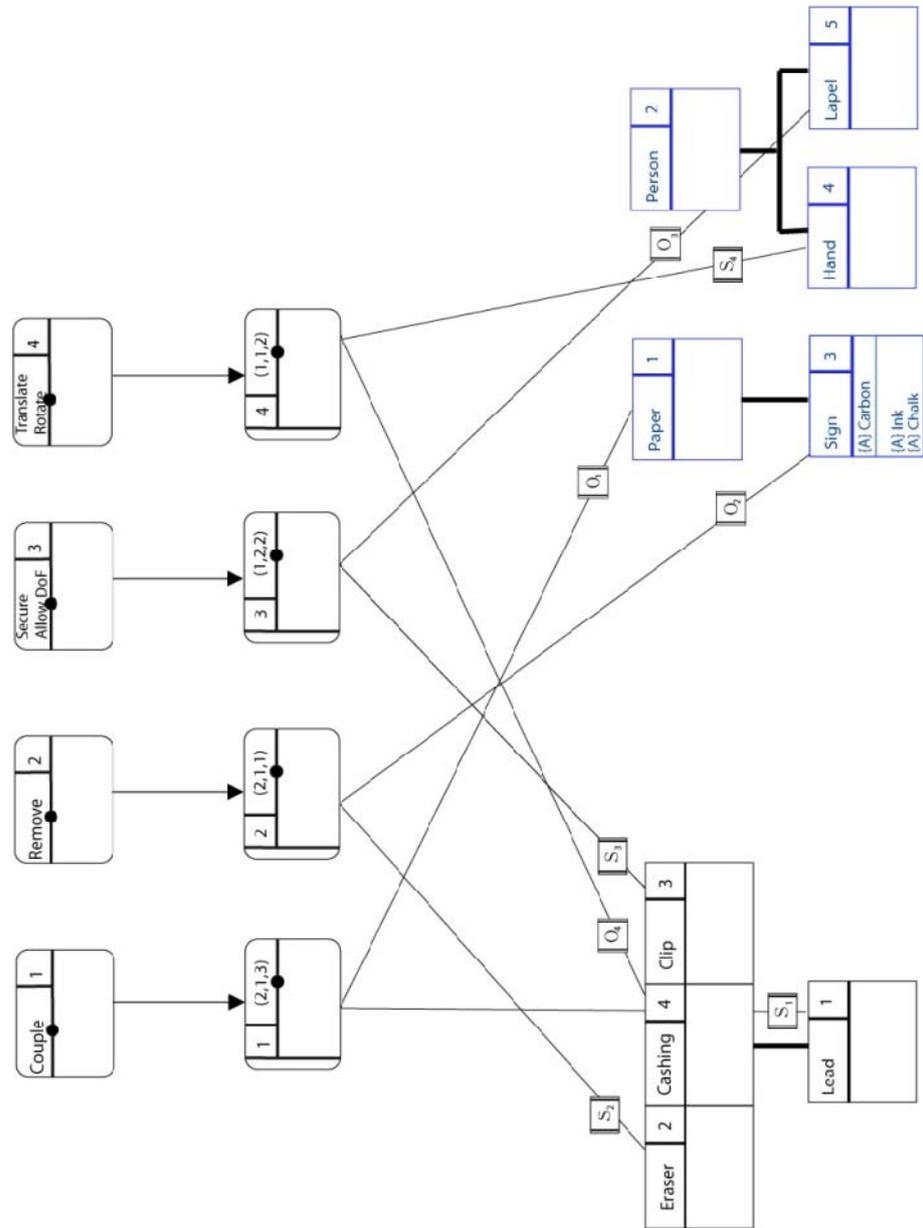


Figura 30 – Primer nivel del desarrollo del diseño A

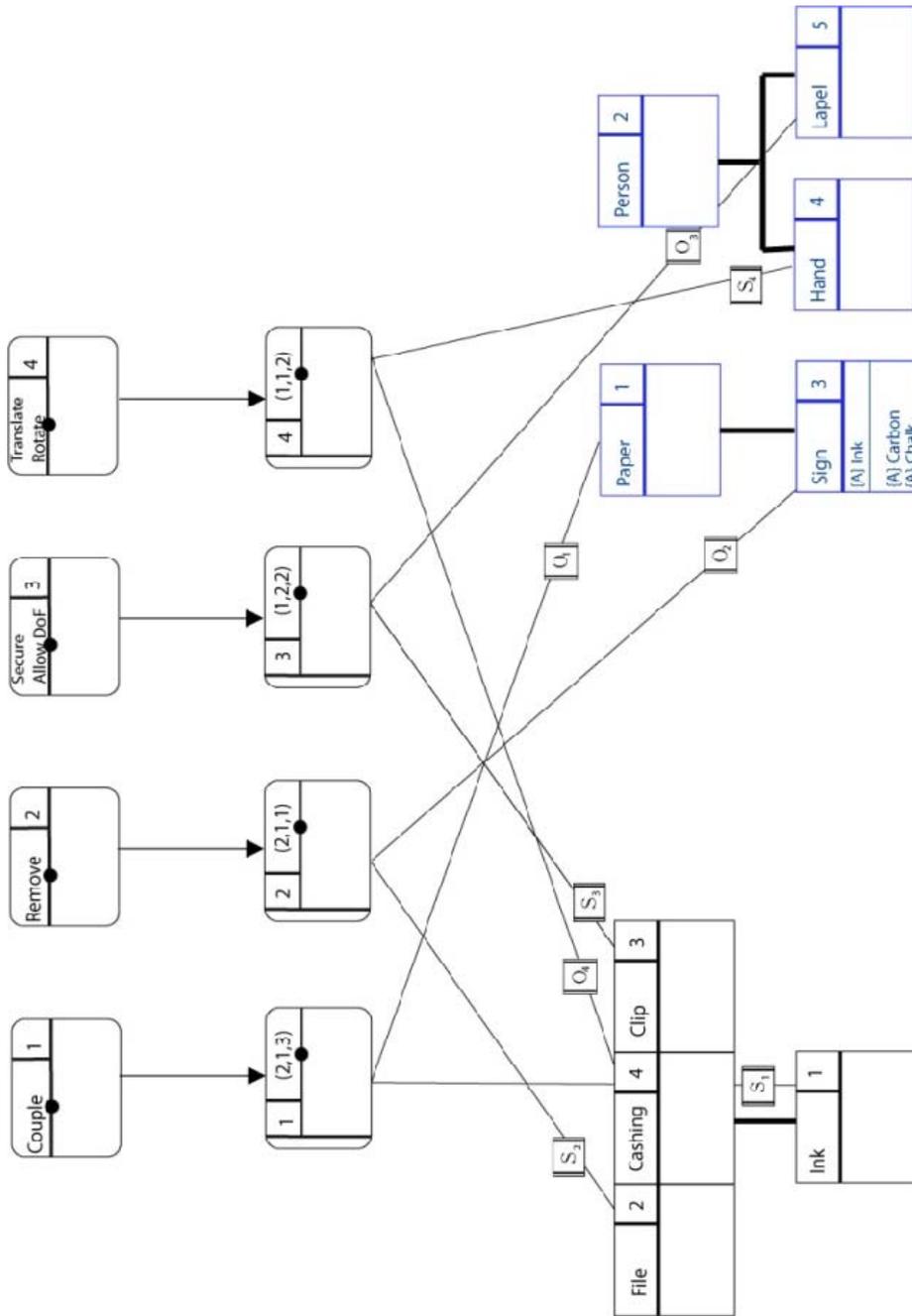


Figura 31 - Primer nivel del desarrollo del diseño B

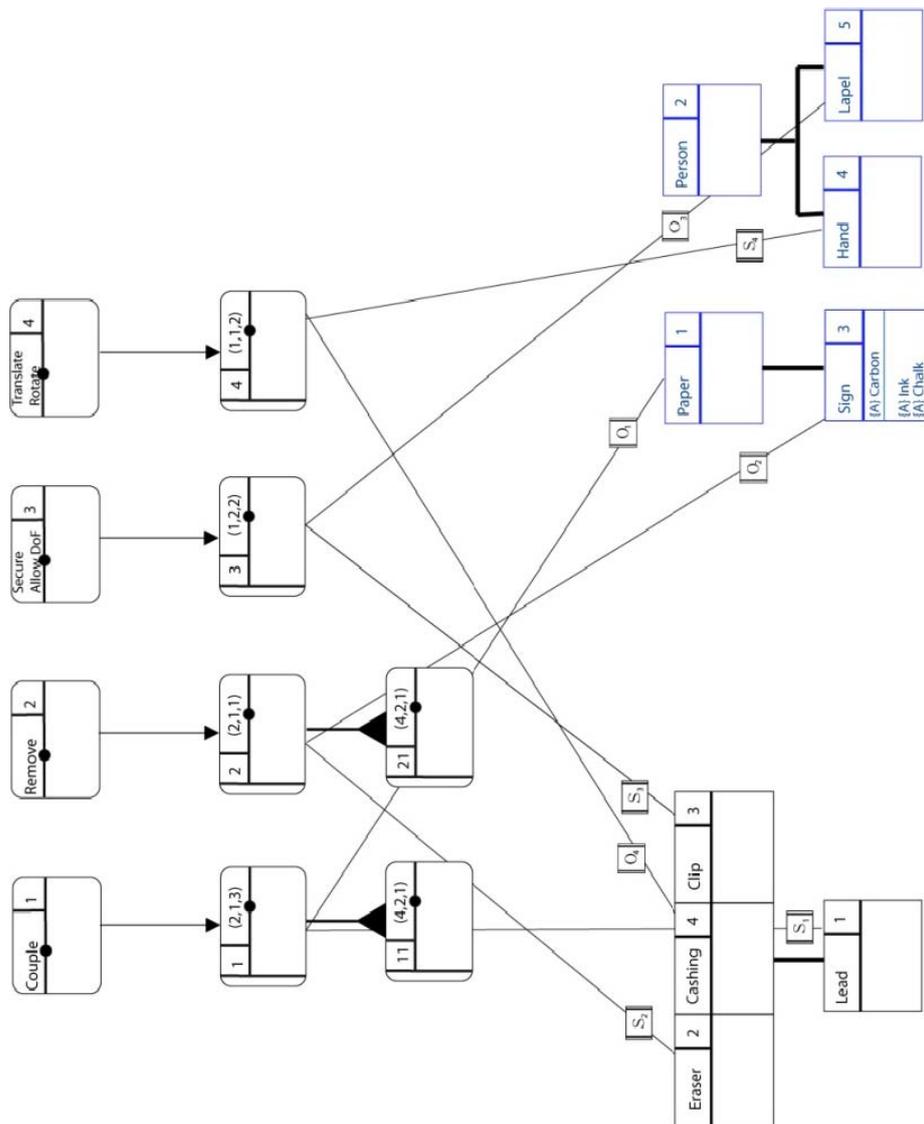
**Tabla 9 - Búsqueda y evaluación de estructuras para cumplir con el comportamiento (2,2,2) en el diseño A (opción con mina de carbono)**

| Estructura  | Compatibilidad con mina de carbono | Evaluación   |
|---|------------------------------------|--|
| Tubo:<br><br>- Metal<br>- Plástico<br>- Madera<br>- Cartón                    | Buena                              | <i>Requiere mecanismo para sacar la mina.</i><br><br>- Viable<br>- Viable<br>- Viable<br>- Viable. Baja resistencia mecánica. Más ecológico.                                     |
| Recubrimiento:<br><br>- Pasta de madera<br>- Plástico<br>- Resina<br>- Vidrio | Buena                              | <i>Requiere mecanismo para retirar cobertura.</i><br><br>- Viable<br><br>- Viable. Depende de la dureza.<br>- Viable. Depende de la dureza.<br>- Difícil de retirar la cobertura |
| Gel   | Mala                               |  |
| Vacío   | Buena                              | Sistema muy caro<br>Difícil de implantar en un útil de reducidas dimensiones   |

A partir de este nivel, el sistema evoluciona convirtiendo las desventajas y requisitos de las nuevas estructuras en nuevos comportamientos, que pueden ser cumplidos por las estructuras existentes o requerir de nuevas estructuras. En este caso siempre se considerará como estructura óptima la existente, si la hubiera, pues en este caso no se generarán nuevos comportamientos y se reducirá el número de estructuras. Así, las nuevas estructuras mina de carbono y tinta generan dos comportamientos: uno para reflejar su desgaste con el uso (4, 2, 1) y otro para reflejar su necesidad de un contenedor (2, 2, 2). Como se puede apreciar en la Figura 32, el comportamiento (4, 2, 1) deriva de los comportamientos (2, 1, 3) y (2, 1, 1), que son los correspondientes al uso normal del útil para lograr las funciones requeridas. Al ser un comportamiento procedente de una desventaja, se considera que es un comportamiento no deseado, y como tal

necesitará una consideración distinta a los anteriores. Por su parte, el comportamiento (2, 2, 2) procede de un requisito, por lo que se considera un comportamiento deseado y se procederá a actuar con él del mismo modo que hemos visto con los comportamientos procedentes de funciones. Si nos fijamos en el caso del diseño A (Tabla 9), en este caso la estructura mina de carbono está vinculada al mismo tiempo con el comportamiento deseado y con el comportamiento no deseado. El modo de actuar en este caso será considerar el comportamiento no deseado como un factor en la evaluación de soluciones que nos demandará cumplir un requisito, es decir, lograremos transformar una desventaja (comportamiento no deseado) en un requisito (comportamiento deseado), sobre el cual ya sabemos cómo actuar. En la Tabla 9 se representan los requisitos derivados del comportamiento no deseado en cursiva.

La Figura 32 muestra el desarrollo del diseño A en su segunda fase. En ella se puede observar cómo se produce otro importante desdoble en los diseños, pues en un caso se avanza hacia la elaboración de un mecanismo para sacar la mina del contenedor, y en el segundo hacia un mecanismo para retirar el contenedor de la mina. Además, se va vislumbrando que los diferentes materiales con que fabricar los contenedores nos conducirán hacia un conjunto más extenso de soluciones de las que solo diferirán los materiales empleados. Este conjunto de soluciones similares lo llamaremos “familia” de soluciones.



**Figura 32 - Evolución del desarrollo de la rama del diseño A**

El proceso de desarrollo de los diseños seguirá evolucionando siguiendo el mismo patrón expuesto hasta el momento, hasta que todos los comportamientos requeridos puedan ser llevados a cabo por las estructuras existentes, y las estructuras existentes no demanden de ningún nuevo comportamiento no definido. En ese momento se considera que los diseños están finalizados y listos para ser evaluados,

bien por el propio diseñador, bien a través de una aplicación externa de evaluación, creada para tal efecto. Los esquemas resultantes para las familias de diseños finales se presentan en las Figuras Figura 33 para la familia de diseños A2 y Figura 34 para la familia de diseños B. La familia de diseños A1 viene representada por la Figura 35 y Figura 36, ya que tanto el comportamiento 112 como la estructura 6 presentan un sub-esquema. Figuras 33, 34 y 35 aparecen representadas en mayor resolución en el Anexo 1.

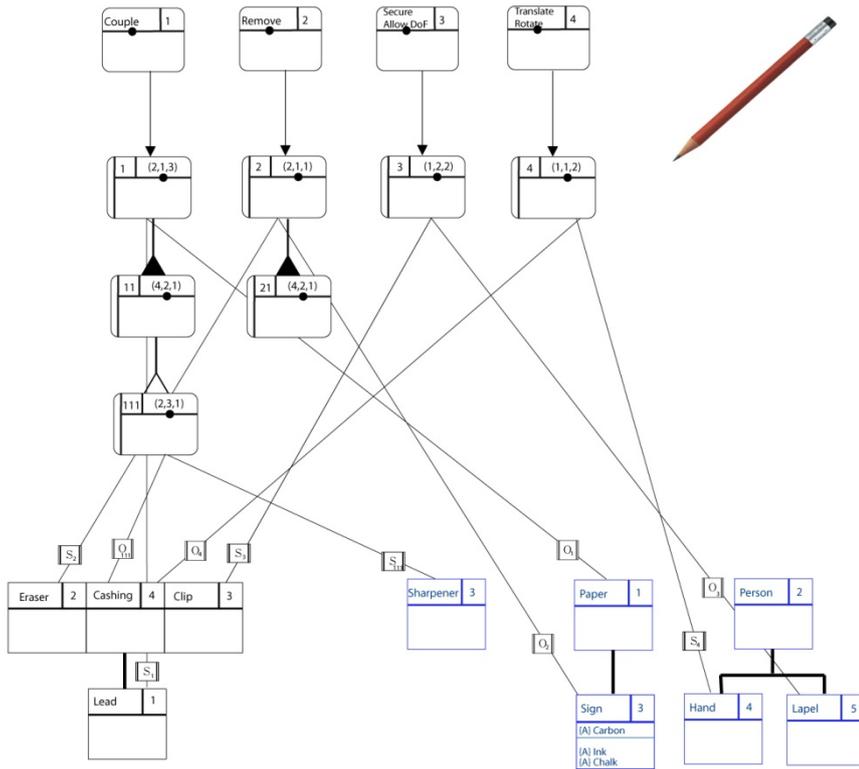
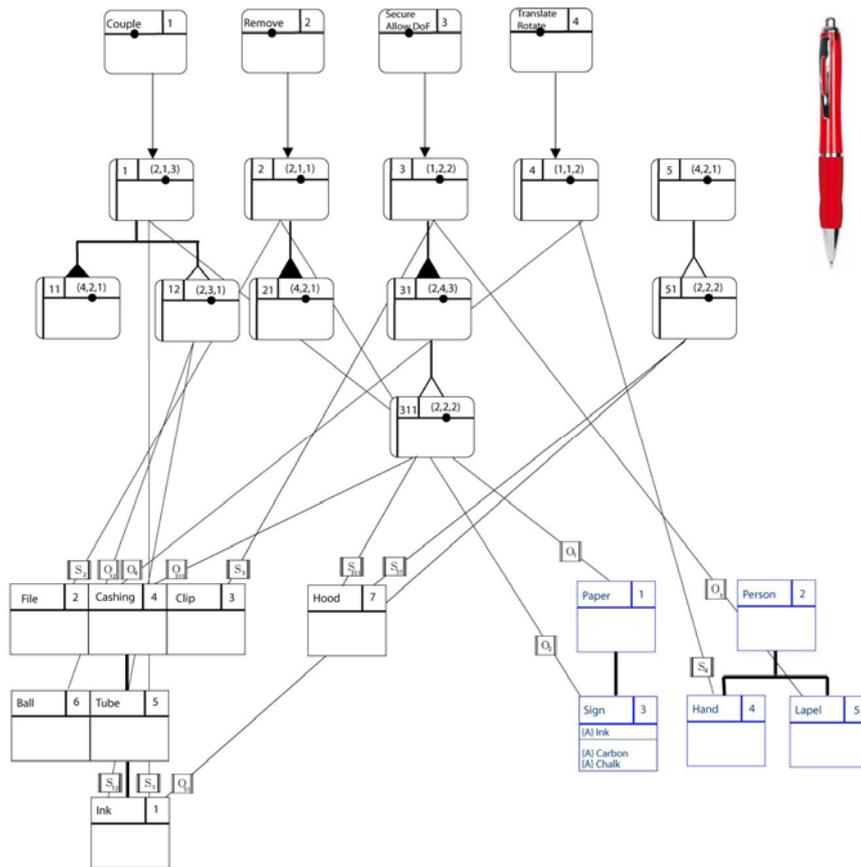


Figura 33 - Esquema final para la familia de diseños A2



**Figura 34 - Esquema final para la familia de diseños B**

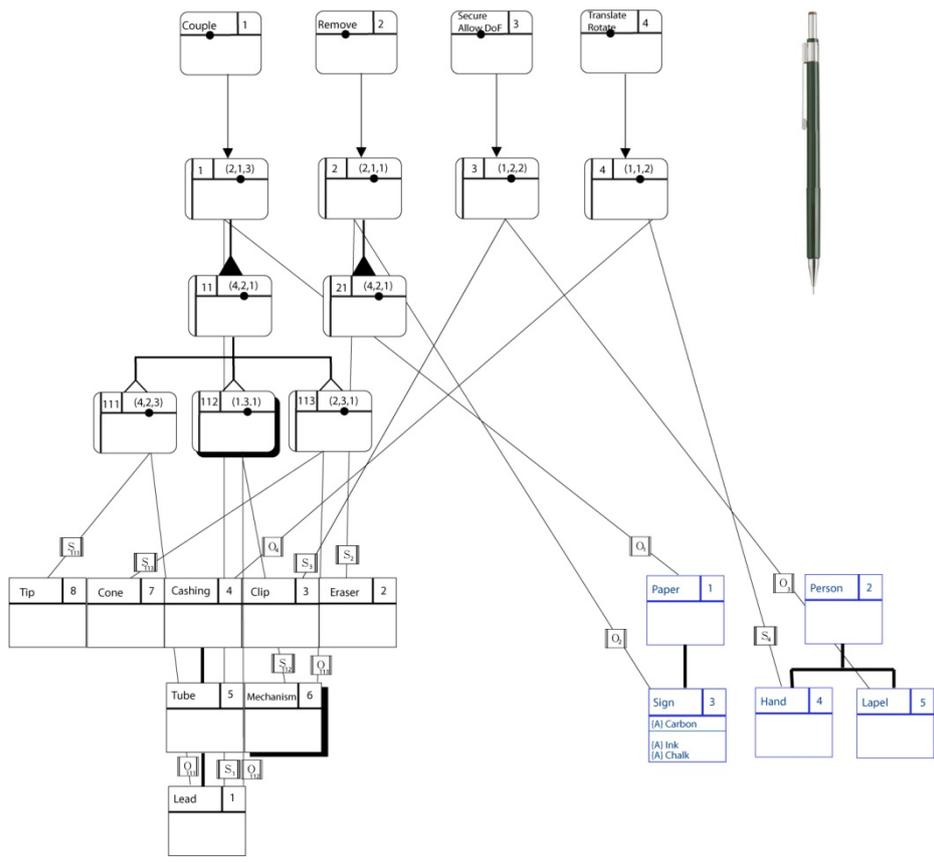


Figura 35 – Esquema final para la familia de diseños A1

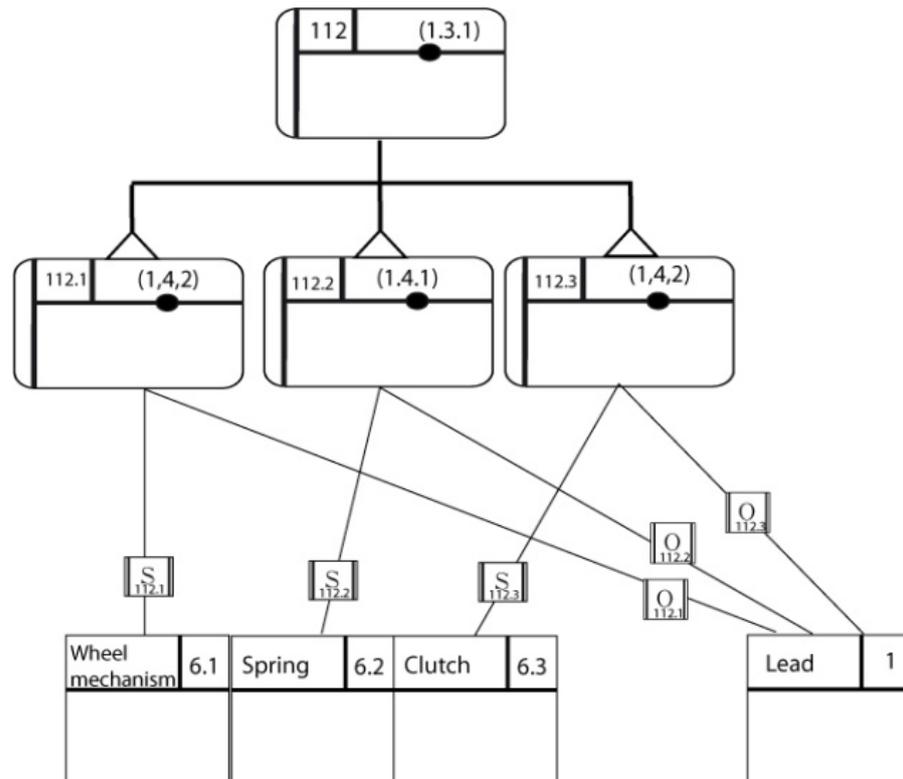


Figura 36 – Subesquema derivado del diseño A1

### 3.8 Representación del diseño de una bicicleta

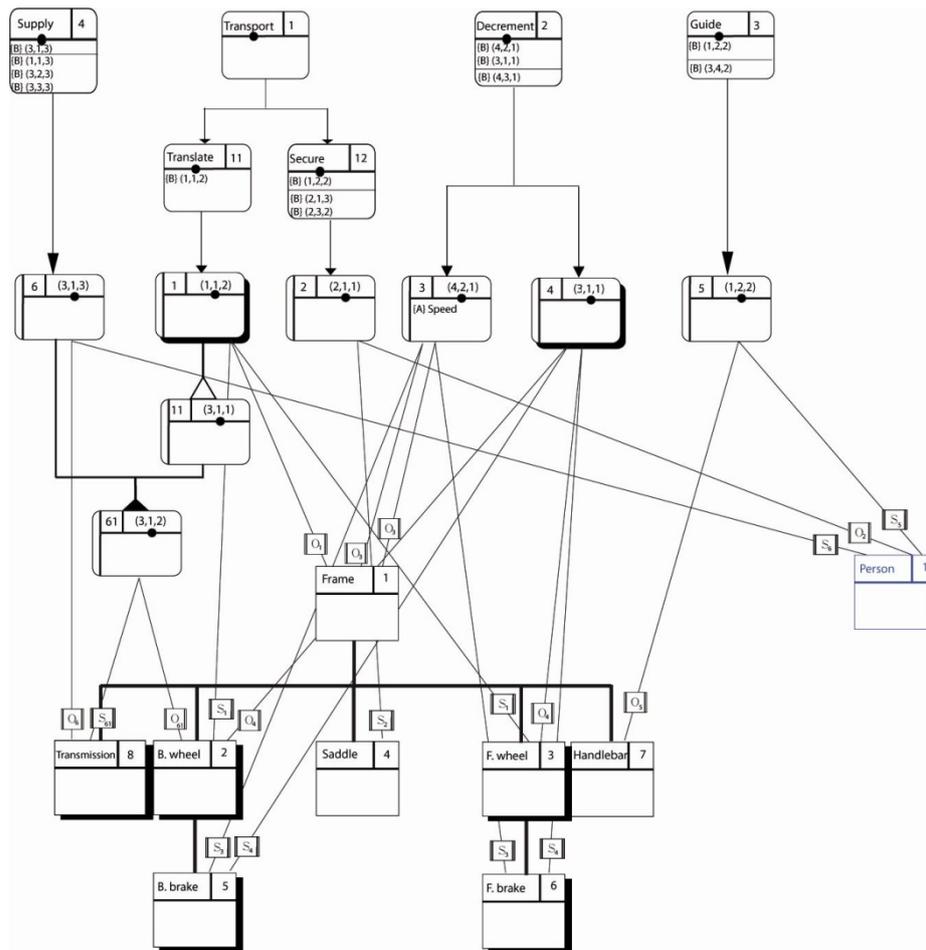
Como último y más completo ejemplo dentro del apartado de diseño funcional de objetos utilizando el modelo B-Cube, se presenta el diseño completo de una bicicleta. Como se puede observar en el esquema de la Figura 37, en este modelo aparecen varios subniveles para cada uno de los niveles función, comportamiento y estructura, del mismo modo que algunos de los elementos de los niveles de comportamiento y estructuras presentan a su vez subesquemas.

En la mencionada Figura 37, representada en mayor calidad en el Anexo 1, se puede observar como el diseño parte de cuatro funciones principales a cumplir por el útil. Éstas son: Transportar (*transport*), frenar (*decrement*), guiar o ser guiado (*guide*), y suministrar la energía (*supply*). La primera de dichas funciones implica a su vez dos subfunciones: la de desplazarse el mismo útil (*translate*) y la de llevar a la persona (*secure*). Cada una de estas funciones lleva representadas en el interior de las cajas aquellos comportamientos a los que están vinculadas, quedando en la parte superior aquellos

comportamientos en uso en el presente diseño, y en la parte inferior los posibles pero no utilizados.

De cada función salen, por tanto, uno o más comportamientos, representados del mismo modo en el esquema. Así, por ejemplo, el caso de la función frenar (*decrement*) implica una reducción de la energía del sistema (representado por el valor  $x=3$  del comportamiento, referente a la energía), pero también una reducción de la velocidad (representado por el valor  $x=4$  del comportamiento, referente a material, y el atributo velocidad). También se observa en el nivel de los comportamientos cómo la acción de movimiento (1,1,2) produce un decremento energético (3,1,1) que requiere de una transmisión de energía (3,1,2) procedente de la generación de la misma (3,1,3).

En el nivel de estructuras se representan los elementos principales de la bicicleta, entendiendo como que las partes se encuentran insertadas en el cuadro de la misma. Se puede observar que la mayoría de las estructuras presentan subesquemas, pues si se analizan con mayor precisión éstas están compuestas por un número diferente de elementos.

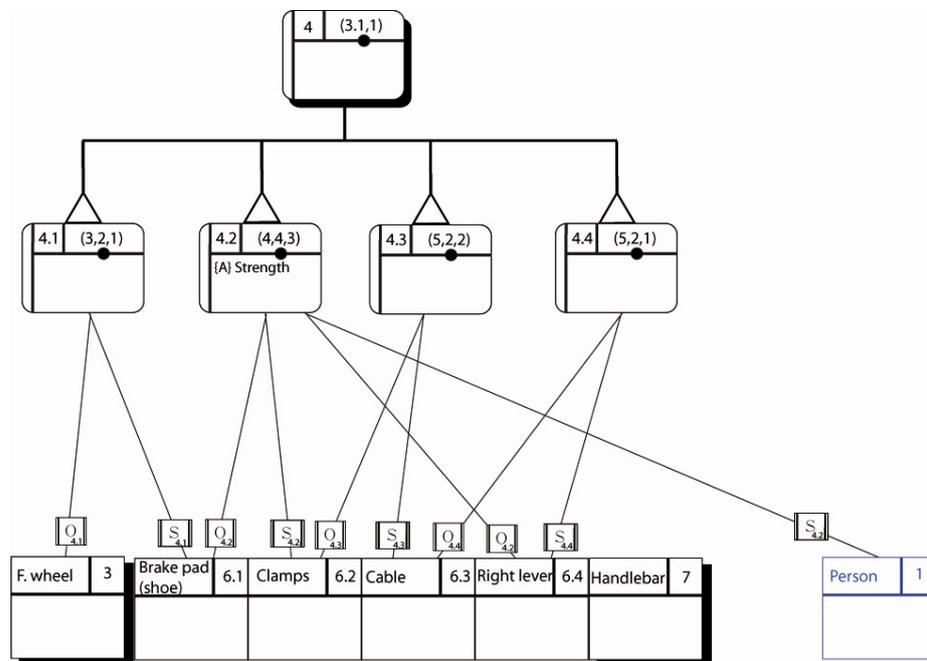


**Figura 37 – Esquema principal del diseño de la bicicleta**

Así, la Figura 38 nos muestra el subesquema correspondiente a la transmisión de la bicicleta (estructura 8) con todos sus elementos desglosados (estructuras 8.1, 8.2, 8.3, 8.4 y 8.5). También se representan aquellas estructuras y restricciones del medio presentes en el esquema de nivel superior que también hacen referencia al presente subesquema, como es el caso de la rueda trasera, a la que se une una parte de la transmisión (8.1 disco trasero), de la persona, que actúa sobre otra parte de la transmisión (8.5 pedal), y de los comportamientos (3,1,3) y (3,1,2), correspondientes a las acciones de dar y transmitir la energía, que es el objeto que cumplen las partes de la transmisión.



Por su parte, los frenos quedan representados por la Figura 39 para el freno delantero, y la Figura 40 para el trasero. Ambas figuras presentan sendos subesquemas similares, dónde además de mostrar el subnivel de las estructuras 5 (freno trasero) y 6 (freno delantero), también se muestra el subnivel del comportamiento 4 (3,1,1), compuesto de cuatro comportamientos de nivel inferior correspondientes a las acciones específicas que realiza cada una de las estructuras que forman parte del freno para llevar a cabo la acción específica del freno, señalada por dicho comportamiento de nivel superior. Así, la persona aplica su fuerza (4,4,3) sobre la palanca de freno correspondiente, para que esta envíe su señal (5,2,1) a través del cable (5,2,2) hasta las pinzas para que ésta ejerza la fuerza necesaria (4,4,3) sobre las zapatas para que estas puedan reducir la energía (3,2,1) de las ruedas.



**Figura 39 – Subesquema del freno delantero**

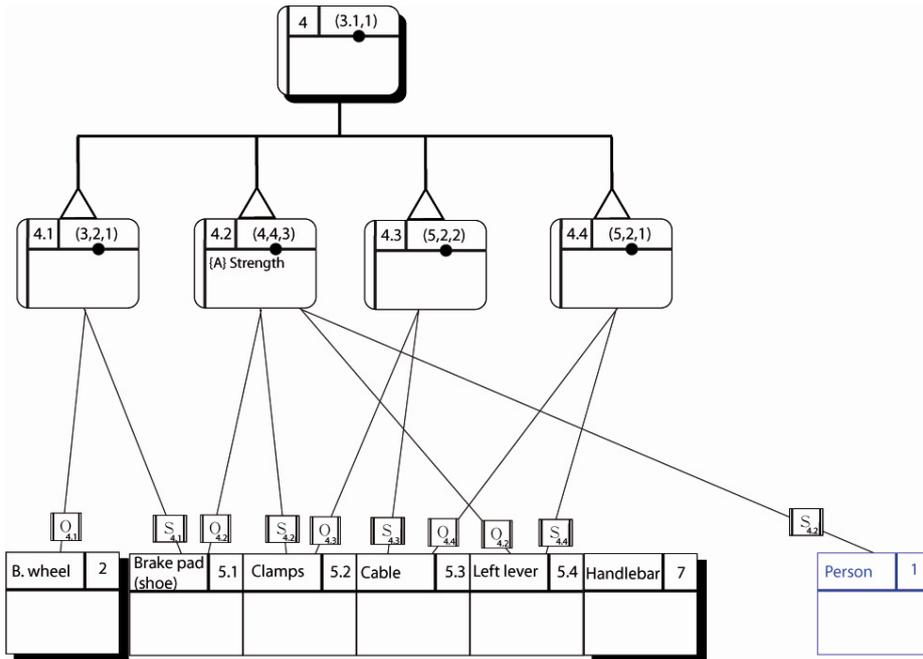
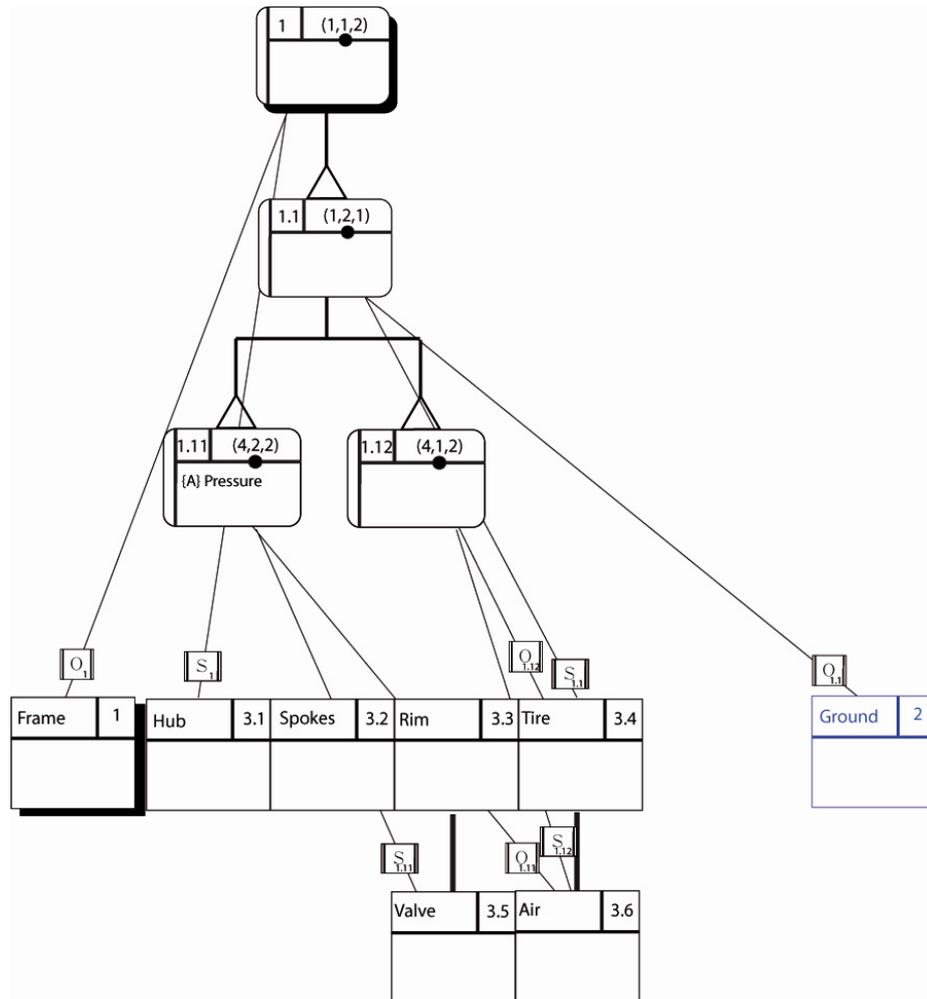


Figura 40 – Subesquema del freno trasero

Del mismo modo, las Figuras Figura 41 y Figura 42 representan los subesquemas de las ruedas delantera y trasera respectivamente. En este caso los subesquemas siguen siendo bastante similares, como en el caso de los frenos, pero existe una diferencia mayor debido a que la transmisión, y por tanto el comportamiento asociado a esta (3,1,2), va unida a una estructura incluida en la rueda trasera, pero no a la delantera.



**Figura 41 – Subesquema de la rueda delantera**





## **4 Comportamientos de rol en el modelo B-Cube**



## 4.1 Introducción

El presente capítulo complementa al capítulo 3 en cuanto a la definición de la parte abstracta del modelo B-Cube y la exposición de ejemplos del uso para la representación y desarrollo de diseños de procesos. Como ya se ha visto en el capítulo anterior, a pesar de que el término cualidad abstracta (AQ) aparece definido en el esquema de la DOLCE, el nivel reservado para sus términos aparece vacío. Es decir, la DOLCE ha considerado la necesidad de una clasificación para las AQs, pero no proporciona ningún valor, caso o ejemplo para dicho grupo. Puesto que en este caso no existe una taxonomía de comportamientos humanos que se haya postulado como mejor frente a las demás en el ámbito de las necesidades de esta Tesis, el presente capítulo comienza con una revisión de las taxonomías más importantes, para escoger la que se considere óptima para poder ser aplicada a nuestro modelo y elaborar a partir de ella la dimensión abstracta del modelo B-Cube. Siguiendo la misma línea que los diseños del capítulo anterior, se utilizará el mismo modelo informal presentado en el punto 3.5 para representar los ejemplos.

## 4.2 Taxonomías de funciones de rol

Como se ha avanzado en la introducción del presente capítulo, para las taxonomías de rol o de comportamiento humano no se ha estipulado una de entre ellas que destaque o intente reconciliar las anteriores, como ha sucedido en el terreno físico con las *reconciled functional basis* (RFB) del NIST. Para tal efecto se presentan a continuación las taxonomías más relevantes de los comportamientos humanos, con el objeto de seleccionar aquella que presente un comportamiento óptimo para poder ser utilizada en el diseño funcional.

### 4.2.1 Modelo jerárquico entrada-salida de Willis

La clasificación jerárquica de Willis (1961) consiste en un esquema de comportamientos a tres niveles, siguiendo el esquema de entrada-salida de un modelo de caja negra. El primero de estos tres niveles corresponde al proceso de diseño en un modelo de caja negra, esto es, entrada (*input*), transformación (*black-box*) y salida (*output*). El segundo nivel consiste simplemente en una agrupación por familias de los taxones correspondientes del tercer nivel, mientras que estos últimos son los descriptores de comportamientos propiamente dichos

escogidos por Willis para representar el diseño, desarrollo y uso de las herramientas de entrenamiento en un ámbito militar, dentro de un marco de trabajo acotado por las bases y principios formulados por las teorías psicológicas del aprendizaje. Todos estos términos quedan definidos en la Tabla 10.

**Tabla 10 – Modelo jerárquico de Willis (1961)**

| Fase (nivel 1)                         | Familia (nivel 2)                      | Comportamiento (nivel 3)   |
|--|--|--|
| Entradas<br>( <i>input</i> )           | Discernimiento de entradas no verbales | Detección no verbal<br>Identificación, reconocimiento  |
|  | Discernimiento de entradas verbales    | Identificación verbal<br>Identificación, reconocimiento  |
| Transformación<br>( <i>black-box</i> ) | Memoria (recuperación de información)  | Hechos de memoria<br>Principios de memoria<br>Procedimientos de memoria  |
|  | Manipulación o procesado de datos      | Uso de principios, interpretar, inferir<br>Toma de decisiones con alternativas conocidas<br>Toma de decisiones con alternativas no especificadas<br>Toma de decisiones con alternativas desconocidas |
| Salida ( <i>output</i> )               | Actos motrices                         | Movimiento de posicionamiento<br>Movimiento repetitivo<br>Movimiento continuo<br>Movimiento en serie<br>Reacción estática  |
|  | Verbalización                          | Verbalización oral<br>Verbalización escrita<br>Otros modos de verbalización  |

Respecto al punto de vista de su vinculación con el modelo B-Cube, la parte más interesante se refleja en el hecho de poseer tres direcciones, es decir, dirección de entrada en el sistema (*input*), sin moverse del sistema (*black-box*), y salida del sistema (*output*). Este punto coincide con las tres direcciones de los comportamientos marcadas por el eje Z, definidas como estado inicial, estado inmutable y estado final. Sin embargo, el hecho de que la taxonomía de Willis quede definida en un marco de trabajo muy específico, y el que los taxones de tercer nivel no estén mejor descritos, hace prever una difícil extrapolación a campos más genéricos.

**4.2.2 Modelo jerárquico de Berliner**

Berliner y sus colaboradores (1964), al igual que en el caso anterior, también centran sus esfuerzos iniciales en el campo del entrenamiento militar. Es más, su taxonomía surge de las carencias en cuanto a especificidad encontrada en modelos anteriores, por ello posee más taxones de tercer nivel que sus predecesores. Aún así, su modelo jerárquico se presenta igualmente en tres niveles, donde el primero de ellos corresponde a los procesos, el segundo a las actividades y el tercero contiene los comportamientos específicos. Esta taxonomía se muestra completa en la Tabla 11.

**Tabla 11 – Modelo jerárquico de Berliner (1964)**

| Procesos              | Actividades                              | Comportamientos   |
|-----------------------|--|---|
| Procesos perceptuales | Buscar y recibir información             | Detectar<br>Inspeccionar<br>Observar<br>Leer<br>Recibir<br>Escanear<br>Inspeccionar |
|                       | Identificar (objetos, acciones, eventos) | Discriminar<br>Identificar<br>Localizar   |

| Procesos                 | Actividades                                  | Comportamientos  |
|--------------------------|--|--|
| Procesos mediacionales   | Procesado de información                     | Categorizar<br>Calcular<br>Codificar<br>Interpolar<br>Detallar<br>Tabular<br>Traducir                      |
|                          | Resolución de problemas y toma de decisiones | Analizar<br>Calcular<br>Escoger<br>Comparar<br>Estimar<br>Planificar                                       |
| Procesos de comunicación | Procesos de comunicación                     | Advertir<br>Responder<br>Comunicar<br>Dirigir<br>Indicar<br>Informar<br>Ordenar<br>Solicitar<br>Transmitir |
| Procesos motores         | Complejo / continuo                          | Ajustar<br>Alinear<br>Regular<br>Sincronizar<br>Seguir   |
|                          | Simple / discreto                            | Activar<br>Cerrar<br>Conectar<br>Desconectar<br>Unir<br>Mover<br>Presionar<br>Fijar                        |

La principal ventaja de Berliner respecto a Willis es que el primero, en su búsqueda de una mayor especificidad en los comportamientos, toma en consideración una mayor variedad de trabajos y no sólo los directamente relacionados con el entrenamiento militar, por lo que la extrapolación de sus términos a otros campos se perfila más fácil y completa. Aún así, falta una mejor definición de los taxones del tercer nivel con el objeto de facilitar una mejor comprensión del significado concreto de los mismos, y facilitar del mismo modo la extrapolación de la taxonomía a otros campos.

Un detalle remarcable para el presente trabajo de las aplicaciones de dicha taxonomía se presenta en el trabajo de Rabideau (1964), el cual utiliza los dos primeros niveles de dicho modelo para formar una matriz cúbica de comportamientos, medidas e instrumentos referidas a las evaluaciones de rendimientos, tal y como se muestra en la Figura 43.

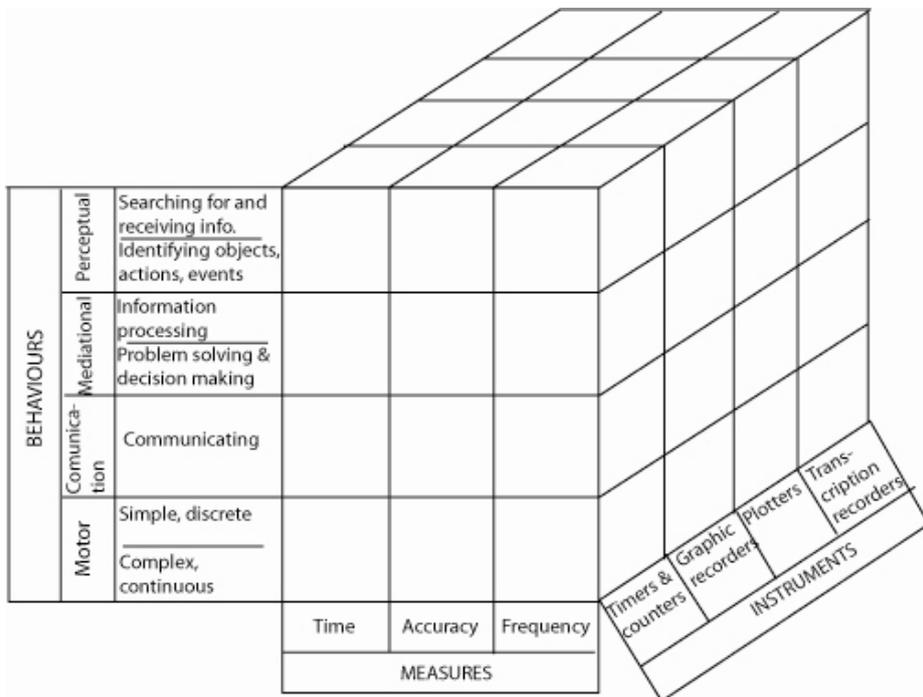


Figura 43 – Matriz de comportamientos, medidas e instrumentos según Tabideau (1964)

### 4.2.3 Estructura del modelo intelectual de Guilford

Del mismo modo que en el caso anterior (Rabideau, 1964), también Guilford (1977) decidió desarrollar su modelo morfológico para organizar las habilidades intelectuales en forma de matriz cúbica. En esta matriz (Figura 44), el primer eje queda definido con las operaciones (*operations*), que se refiere a los tipos principales de actividades intelectuales o procesos, es decir, aquello que un ente o individuo puede hacer con la información, donde por información se entiende aquello que el ente puede discriminar. El eje de productos (*products*) incluye las diferentes formas que puede tomar dicha información mientras está siendo tratada por el individuo o ente. Por su parte, el tercer eje, denominado contenido (*contents*) se refiere a las clases o tipos generales de información que pueden ser discriminados por el ente o individuo.

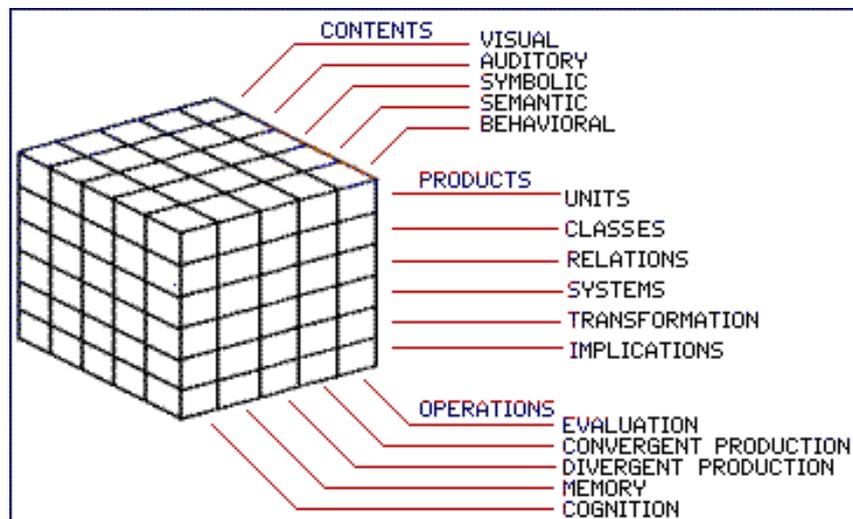


Figura 44 – Modelo de la estructura del intelecto de Guilford (1977)

Aunque en su trabajo Guilford defina mejor los términos incluidos en su taxonomía de un modo más extenso que en los casos presentados anteriormente, el modelo tampoco se percibe como vinculable en su totalidad al modelo B-Cube por estar muy centrado en la información. Esto coincidiría con la dimensión señal ( $X = 5$ ) del B-Cube, donde sí que pueden establecerse relaciones entre ambos modelos. Del mismo modo, la estructura de matriz cúbica que presenta el modelo de Guilford le confiere un nivel de concreción a sus términos que se perfila

como mejor para identificar comportamientos que para representar funciones dentro del marco B-FES.

#### 4.2.4 Modelo SRK de Rasmussen

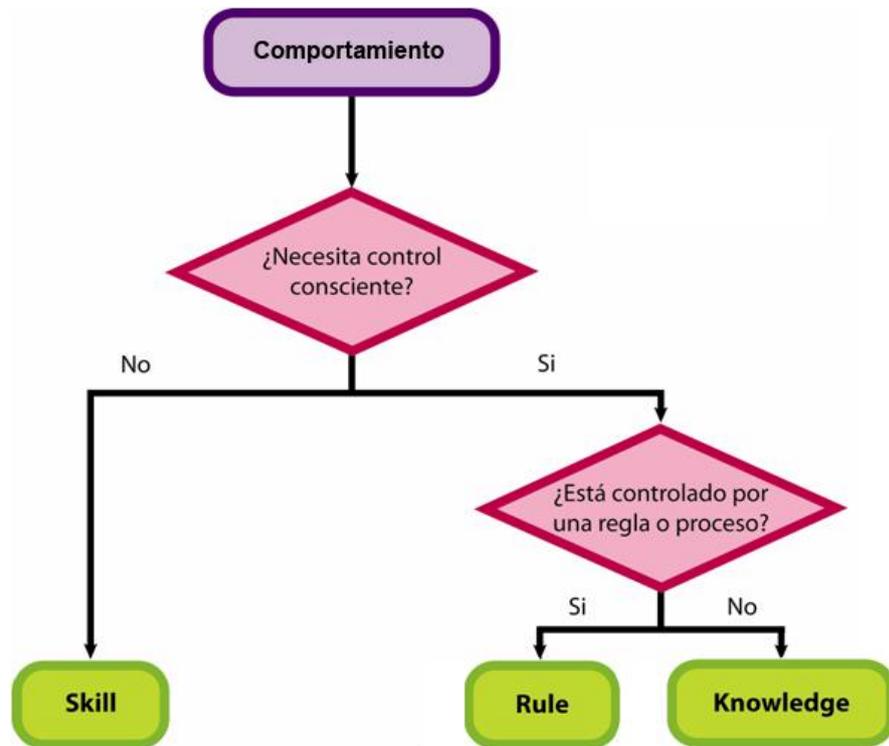
La contribución de Rasmussen (1983) en el campo de las taxonomías de comportamientos consiste en una clasificación de los comportamientos humanos en tres grupos según la implicación cognitiva que requieren. Estos son: habilidad (*skill*), regla (*rule*) y conocimiento (*knowledge*). Esta clasificación se identifica por su acrónimo SRK, y es apoyada por los trabajos de multitud de autores como óptima para la representación de comportamientos humanos (Duez & Vicente, 2005; Hobbs & Williamson, 2002; Lin & Zhang, 2004; Pahl-Wostl, 2002; Vicente & Rasmussen, 1992; Zhang *et al.*, 2002a)

El término *skill* agrupa a todos aquellos comportamientos aprendidos que no precisan de un control consciente por parte del individuo que lo lleva a cabo. Si bien durante el proceso de aprendizaje sí que se ha de mantener la concentración en la acción, una vez aprendida ésta pasa a estar controlada por el cerebelo, y por tanto deja de requerir la atención del cerebro. Se podría decir que los comportamientos descritos por una *skill* no tienen una meta definida. Las acciones englobadas en el grupo denominado *rule* requieren de un proceso o “norma escrita” para poder ser llevados a término. Estos comportamientos no requieren de una acción intelectual muy exhaustiva, pero el individuo que lo lleva a cabo debe de ser consciente en todo momento de la regla o procedimiento a seguir para poder ejecutar la acción. En una *rule* la meta no está definida de una forma explícita, pero la hay y está implícita en la situación. Por último, el término *knowledge* engloba a todas aquellas actividades que requieren de un nivel conceptual superior a los dos anteriores. En este caso la meta aparece formulada explícitamente.

Para poder comprender mejor estos tres términos vamos a tomar como ejemplo el de un violinista profesional como sujeto-estructura. Como el violinista ya sabe tocar el violín, cuando se encuentra en su casa tocando una melodía que ya conoce es una *skill*, puesto que no necesita de una concentración especial en la acción que está realizando, e incluso puede llevar a cabo otras acciones al mismo tiempo. Cuando este mismo violinista se encuentra tocando su instrumento en un concierto siguiendo una partitura, su acción se convierte en una *rule*. En este caso el violinista está concentrado en

su acción y no lleva a cabo ninguna otra, y cualquier distracción puede minar su capacidad de llevarla a cabo con éxito completo, pero al mismo tiempo el sujeto no tiene libertad de acciones, sino que está sujeto a una regla de la cual no puede salirse: la partitura. Cuando el violinista se sienta en su casa en un lugar tranquilo para componer su propia obra nos encontramos ante un *knowledge*. Esta acción requiere de plena concentración por parte del individuo, pero éste tiene total libertad a la hora de escoger que nota va a poner, en qué posición, y de qué duración. La Figura 45 muestra el algoritmo para la clasificación de los comportamientos según Rasmussen (1983).

Aunque los términos de Rasmussen reúnan en un primer momento los requisitos para completar el eje X del modelo B-Cube con los valores abstractos necesarios para completar el modelo, los vectores resultantes son demasiado genéricos y escasos como para poder englobar a todos los comportamientos humanos posibles, llevando a la paradoja de que el comportamiento llegue a ser más abstracto que la función misma, lo cual no es posible por definición.



**Figura 45 - Algoritmo para la clasificación de los comportamientos humanos (Rasmussen, 1983)**

#### 4.2.5 Taxonomía del comportamiento humano de Fineberg

El trabajo de Fineberg (1995) presenta un estudio sobre las taxonomías de los comportamientos humanos elaboradas a lo largo de 35 años, con la finalidad de acabar con la exclusividad de los campos de trabajo de la mayoría de ellas, y desarrollar una taxonomía unificada y multipropósito. Aún así, el modelo sigue estando elaborado sobre la base de las prácticas militares, al igual que la mayoría de las taxonomías de comportamientos humanos vistas anteriormente, pero en este caso el autor ya prevé que su trabajo pueda ser extrapolado a otros campos, evitando así la carencia de un modelo conceptual sobre el que adaptar las futuras aproximaciones.

La taxonomía (Tabla 12) también se presenta en tres niveles jerárquicos, donde el primer nivel corresponde a los que considera los cuatro dominios principales. Estos son sensación (*sensation*), mediación (*mediation*), reacción (*reaction*), e interacción (*interaction*). Al igual que en las RFB del NIST, en la taxonomía de Fineberg también se cumple el hecho de que los términos de nivel superior proporcionan una cobertura completa de los significados de los términos de nivel inferior incluidos en esa misma clase y, por otro lado, los términos de un mismo nivel en una misma clase son mutuamente excluyentes. Así, el término detectar se diferencia de los significados de los términos de su mismo nivel, como localizar o recibir, pero su significado de estos tres queda incluido como una sensación automática.

**Tabla 12** – Taxonomía del comportamiento humano de Fineberg (1995)

| Taxón primario | Taxón secundario | Taxón terciario   |
|----------------|------------------|---|
| Sensation      | Automatic        | Acquire<br>Alert<br>Detect<br>Localize<br>Orient<br>Receive |
|                | Volitional       | Discriminate<br>Extract<br>Filter<br>Identify<br>Inspect    |

| Taxón primario | Taxón secundario | Taxón terciario  |
|----------------|------------------|--|
|                |                  | Monitor<br>Perceive<br>Queue<br>Read<br>Recognize<br>Search  |
| Mediation      | Preparatory      | Adapt<br>Aggregate<br>Categorize<br>Code<br>Compile<br>Compute<br>Copy<br>Correct<br>Count<br>Edit<br>Hypothesize<br>Itemize<br>Link<br>Match<br>Name<br>Organize<br>Process<br>Purge<br>Quantify<br>Remember<br>Tabulate<br>Translate |
|                | Problem Solving  | Compensate<br>Derive<br>Determine<br>Diagnose<br>Extrapolate<br>Induce<br>Innovate<br>Interpret<br>Investigate<br>Plan   |

Comportamientos de rol en el modelo B-Cube

| Taxón primario | Taxón secundario | Taxón terciario   |
|----------------|------------------|---|
|                |                  | Prioritize<br>Solve<br>Synthesize<br>Think  |
|                | Decision making  | Adjudicate<br>Appraise<br>Assess<br>Compare<br>Decide<br>Estimate<br>Evaluate<br>Know<br>Revise<br>Test   |
| Reaction       | Physical         | Carry<br>Climb<br>Close<br>Deposit<br>Extend<br>Feed<br>Fill<br>Lift<br>Load<br>Loosen<br>Move<br>Open<br>Pack<br>Place<br>Press<br>Pull<br>Push<br>Release<br>Resist<br>Retract<br>Return<br>Reverse<br>Run<br>Throw |

| Taxón primario | Taxón secundario | Taxón terciario  |
|----------------|------------------|--|
|                |                  | Walk   |
|                | Psychomotor      | Activate<br>Align<br>Assemble<br>Connect<br>Drive<br>Insert<br>Manipulate<br>Operate<br>Position<br>Reset<br>Seal<br>Set<br>Set up<br>Steer<br>Switch<br>Tighten<br>Turn<br>Type<br>Write    |
|                | Conceptual       | Attack<br>Combat<br>Complete<br>Destroy<br>Display<br>Do<br>Eliminate<br>Glean<br>Maintain<br>Overhaul<br>Penetrate<br>Produce<br>Record<br>Reduce<br>Regulate<br>Repair<br>Replace<br>Shift |

| Taxón primario | Taxón secundario | Taxón terciario  |
|----------------|------------------|--|
|                |                  | Simulate<br>Substitute<br>Tend<br>Track<br>Transform<br>Utilize  |
| Interaction    | Controlling      | Answer<br>Call<br>Communicate<br>Consult<br>Contact<br>Cue<br>Demonstrate<br>Describe<br>Explain<br>Feedback<br>Indicate<br>Listen<br>Persuade<br>Report<br>Request<br>Respond<br>Talk<br>Transmit |
|                | Organizing       | Allocate<br>Coordinate<br>Develop<br>Exchange<br>Form<br>Introduce<br>Lead<br>Reinforce<br>Share<br>Synchronize  |
|                | Leading          | Assure<br>Bond<br>Coach<br>Consider  |

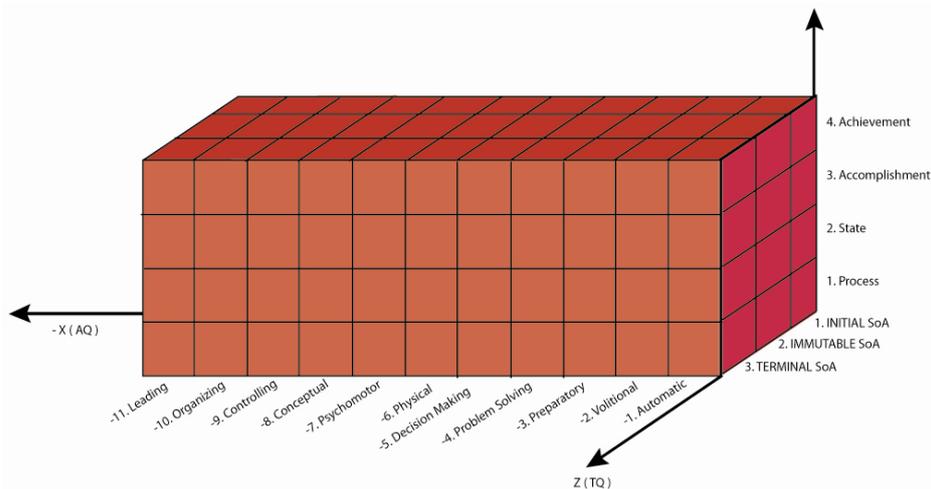
| Taxón primario | Taxón secundario | Taxón terciario  |
|----------------|------------------|--|
|                |                  | Divert<br>Instruct<br>Interact<br>Intervene<br>Mentor<br>Motivate<br>Negotiate<br>Relate<br>Serve<br>Suggest |

La gran versatilidad del trabajo de Fineberg y su aplicabilidad en diferentes aspectos se demuestra en la cantidad de trabajos sobre el comportamiento humano que derivan de su estudio (Fineberg *et al.*, 1996; Lacy, 2006; Smits & Harris, 1999; Taylor & Wray, 2004; Tyler *et al.*, 1999).

### 4.3 Desarrollo de la parte abstracta del modelo

Para poder llevar a cabo esta aproximación se aprovecha el concepto de “rol” introducido por Masolo para estos casos dentro de la DOLCE (Masolo *et al.*, 2005; Masolo *et al.*, 2004), y defendido del mismo modo por diversos autores dentro del campo de las ontologías (Fox *et al.*, 1998; Gero & Kannengiesser, 2007), y el trabajo taxonómico de Fineberg, visto en el punto anterior. Para ello se ha considerado el uso de los taxones secundarios de la taxonomía del comportamiento humano de Fineberg (1995) como valores del eje X negativo del modelo B-Cube. Es decir, el nivel de las cualidades abstractas (AQs) propuesto por la DOLCE queda completado por los once términos correspondientes al segundo nivel de la taxonomía de Fineberg: *automatic* (-1), *volitional* (-2), *preparatory* (-3), *problem solving* (-4), *decision making* (-5), *physical* (-6), *psychomotor* (-7), *conceptual* (-8), *controlling* (-9), *organizing* (-10) y *leading* (-11), tal y como muestra la . La elección de este nivel y no otro dentro de la taxonomía de Fineber se justifica, por un lado, porque representa una propiedad o cualidad común a varios términos, que es lo que pretende representar en cada dimensión del modelo B-Cube, pero sin tener un nivel de abstracción demasiado elevado, como sucedería si nos quedáramos solamente con el primer nivel de la taxonomía para representar las AQs, pues la

representación de comportamientos requiere el poseer cierto nivel de concreción. Por otro lado, el utilizar un nivel superior común entre sendas terminologías (B-Cube y Fineberg) va a facilitar considerablemente la labor de compararlas y establecer las correlaciones pertinentes, que nos van a permitir plasmar las representaciones funcionales en un marco B-FES utilizando la taxonomía de Fineberg para representar el nivel de funciones y el modelo B-Cube para representar el nivel de comportamientos.



**Figura 46 – Parte abstracta del modelo B-Cube**

Otro punto a favor de la defensa de la taxonomía de Fineberg para ser empleada para representar al nivel de funciones vinculable al nivel de comportamientos definido por el modelo B-Cube es que la comparativa de términos entre la taxonomía de Fineberg y la parte abstracta del modelo B-Cube tal y cómo se está definiendo en el presente punto presenta las mismas características y conclusiones que la comparativa ya validada en el capítulo anterior entre las RFB y la parte física del modelo B-Cube: Un mismo término de las RFB o de la taxonomía de Fineberg puede ser llevada a cabo de diversas formas concretas, esto es, puede ser representado por diversos comportamientos definidos por el modelo B-Cube; y un mismo comportamiento del modelo B-Cube puede ser la expresión de términos de las RFB o de la taxonomía de Fineberg diferentes.

Las correspondencias entre los taxones de tercer nivel de la taxonomía de Fineberg y los términos del modelo B-Cube se muestran en la Tabla 13. En ella se aprecian vacíos en las funciones debido a

las carencias de la taxonomía de Fineberg, que sí cubre el modelo B-Cube.

**Tabla 13 – Correspondencias entre el tercer nivel de la taxonomía de Fineberg y el modelo B-Cube**

| X  | Y | Z | Taxonomía de Fineberg (taxón terciario)           |
|----|---|---|---|
| -1 | 1 | 1 |   |
| -1 | 1 | 2 | Orient  |
| -1 | 1 | 3 | Detect  |
| -1 | 2 | 1 |   |
| -1 | 2 | 2 |   |
| -1 | 2 | 3 | Alert   |
| -1 | 3 | 1 | Provide   |
| -1 | 3 | 2 | Localize  |
| -1 | 3 | 3 | Acquire   |
| -1 | 4 | 1 |   |
| -1 | 4 | 2 |   |
| -1 | 4 | 3 | Receive   |
| -2 | 1 | 1 |   |
| -2 | 1 | 2 | Inspect; Search                                   |
| -2 | 1 | 3 | Read  |
| -2 | 2 | 1 | Emit  |
| -2 | 2 | 2 | Monitor; Queue                                    |
| -2 | 2 | 3 | Perceive  |
| -2 | 3 | 1 | Discriminate                                      |
| -2 | 3 | 2 | Filter  |
| -2 | 3 | 3 | Extract   |
| -2 | 4 | 1 |   |
| -2 | 4 | 2 | Identify; Recognize                               |
| -2 | 4 | 3 |   |
| -3 | 1 | 1 | <i>Translate</i>                                  |
| -3 | 1 | 2 | Adapt; Categorize; Compute; Hypothesize; Organize |
| -3 | 1 | 3 | Compile; <i>Translate</i>                         |
| -3 | 2 | 1 | Purgue  |
| -3 | 2 | 2 | Code; Count; Itemize; Process; Remember           |
| -3 | 2 | 3 | Aggregate   |

| X  | Y | Z | Taxonomía de Fineberg (taxón terciario) |
|----|---|---|---|
| -3 | 3 | 1 |   |
| -3 | 3 | 2 | Copy; Correct; Edit; Tabulate           |
| -3 | 3 | 3 | Match                                   |
| -3 | 4 | 1 |   |
| -3 | 4 | 2 | Name; Quantify                          |
| -3 | 4 | 3 | Link                                    |
| -4 | 1 | 1 |   |
| -4 | 1 | 2 | Innovate; Investigate                   |
| -4 | 1 | 3 | Determine                               |
| -4 | 2 | 1 |   |
| -4 | 2 | 2 | Compensate; Think                       |
| -4 | 2 | 3 | Induce                                  |
| -4 | 3 | 1 | Derive; Extrapolate                     |
| -4 | 3 | 2 | Plan                                    |
| -4 | 3 | 3 | Diagnose                                |
| -4 | 4 | 1 | Synthesize                              |
| -4 | 4 | 2 | Interpret; Prioritize                   |
| -4 | 4 | 3 | Solve                                   |
| -5 | 1 | 1 |   |
| -5 | 1 | 2 | Compare                                 |
| -5 | 1 | 3 | Appraise; Assess                        |
| -5 | 2 | 1 |   |
| -5 | 2 | 2 | Know                                    |
| -5 | 2 | 3 | Evaluate                                |
| -5 | 3 | 1 | Adjudicate                              |
| -5 | 3 | 2 | Revise; Test                            |
| -5 | 3 | 3 | Adjudicate                              |
| -5 | 4 | 1 |   |
| -5 | 4 | 2 | Estimate                                |
| -5 | 4 | 3 | Decide                                  |
| -6 | 1 | 1 | Feed; Retract                           |
| -6 | 1 | 2 | Move; Run; Walk                         |
| -6 | 1 | 3 | Climb                                   |
| -6 | 2 | 1 | Push; Release                           |
| -6 | 2 | 2 | Carry; Resist                           |

| X  | Y | Z | Taxonomía de Fineberg (taxón terciario) |
|----|---|---|---|
| -6 | 2 | 3 | Fill; Load; Pull                        |
| -6 | 3 | 1 | Deposit; Loosen                         |
| -6 | 3 | 2 | Extend; Pack                            |
| -6 | 3 | 3 | Return                                  |
| -6 | 4 | 1 | Close; Throw                            |
| -6 | 4 | 2 | Place; Reverse                          |
| -6 | 4 | 3 | Lift; Open; Press                       |
| -7 | 1 | 1 | Seal                                    |
| -7 | 1 | 2 | Drive; Manipulate; Operate              |
| -7 | 1 | 3 | Insert; Set up; Type; Write             |
| -7 | 2 | 1 |   |
| -7 | 2 | 2 | Steer                                   |
| -7 | 2 | 3 | Set; Tighten                            |
| -7 | 3 | 1 | Assemble                                |
| -7 | 3 | 2 | Align; Position                         |
| -7 | 3 | 3 | Assemble                                |
| -7 | 4 | 1 | Reset                                   |
| -7 | 4 | 2 | Switch; Turn                            |
| -7 | 4 | 3 | Activate; Connect                       |
| -8 | 1 | 1 | Shift; <i>Display</i>                   |
| -8 | 1 | 2 | Combat; Regulate; Simulate; Transform   |
| -8 | 1 | 3 | Produce; Track; <i>Attack</i>           |
| -8 | 2 | 1 | Reduce; <i>Display</i>                  |
| -8 | 2 | 2 | Do; Mantain; Utilize                    |
| -8 | 2 | 3 | Record                                  |
| -8 | 3 | 1 | Destroy; <i>Display</i>                 |
| -8 | 3 | 2 | Overhaul; Repair; Replace; Tend         |
| -8 | 3 | 3 | <i>Attack</i> ; Complete; Glean         |
| -8 | 4 | 1 | Eliminate                               |
| -8 | 4 | 2 | Substitute                              |
| -8 | 4 | 3 | Penetrate                               |
| -9 | 1 | 1 |   |
| -9 | 1 | 2 | Comunicate; Persuade                    |
| -9 | 1 | 3 | Demonstrate; Describe; Transmit         |
| -9 | 2 | 1 | Contact                                 |

| X   | Y | Z | Taxonomía de Fineberg (taxón terciario) |
|-----|---|---|---|
| -9  | 2 | 2 | Talk                                    |
| -9  | 2 | 3 | Explain; Listen; Report                 |
| -9  | 3 | 1 | Consult; Request                        |
| -9  | 3 | 2 |   |
| -9  | 3 | 3 | Answer                                  |
| -9  | 4 | 1 | Call                                    |
| -9  | 4 | 2 | Cue                                     |
| -9  | 4 | 3 | Feedback; Indicate; Respond             |
| -10 | 1 | 1 |   |
| -10 | 1 | 2 | Form                                    |
| -10 | 1 | 3 | Reinforce                               |
| -10 | 2 | 1 |   |
| -10 | 2 | 2 | Coordinate; Lead                        |
| -10 | 2 | 3 | Develop                                 |
| -10 | 3 | 1 |   |
| -10 | 3 | 2 | Exchange                                |
| -10 | 3 | 3 | <i>Introduce</i>                        |
| -10 | 4 | 1 | Share                                   |
| -10 | 4 | 2 | Synchronize                             |
| -10 | 4 | 3 | Allocate; <i>Introduce</i>              |
| -11 | 1 | 1 | Coach                                   |
| -11 | 1 | 2 | Interact                                |
| -11 | 1 | 3 | Motivate                                |
| -11 | 2 | 1 | Mentor                                  |
| -11 | 2 | 2 | Serve                                   |
| -11 | 2 | 3 | Bond                                    |
| -11 | 3 | 1 | Instruct                                |
| -11 | 3 | 2 | Negotiate                               |
| -11 | 3 | 3 | Suggest                                 |
| -11 | 4 | 1 | Divert                                  |
| -11 | 4 | 2 | Consider; Intervene                     |
| -11 | 4 | 3 | Assure; Relate                          |

La adición de las dimensiones Y y Z al vector resultante permite añadir el grado de concreción necesario para representar los

comportamientos del que carecen inicialmente los taxones terciarios de la taxonomía de Fineberg. Por su parte, la vinculación de la taxonomía y el modelo también permite completar los vacíos de la primera, como se ha anunciado previamente. Por ejemplo, el caso de comportamientos opuestos de los que la taxonomía sólo presenta uno de ellos. Así, por ejemplo (Tabla 14), la taxonomía de Fineberg presenta el término decidir (incluido en la familia *meditation, decision making*), que queda determinada por el comportamiento (-5,4,3), es decir,  $x = -5$  definido como *decisión making* coincidiendo con el nivel secundario de Fineberg,  $y = 4$  correspondiente a un comportamiento instantáneo y no acumulativo, tal y como ya se había definido en el capítulo anterior, y  $z = 3$  indicando que el resultado del comportamiento, esto es, la toma de decisión, se ha logrado como resultado de la acción. En la misma línea limitada por los ejes X e Y se percibe en la taxonomía de Fineberg la carencia del comportamiento definido por el valor  $Z = 1$ , que sería la función opuesta a tomar una respuesta como solución a un problema, que es, como se ve en la tabla, plantear el problema (*raise*). Del mismo modo, en la taxonomía de Fineberg se presenta el término percibir, incluido en la categoría *sensation, volitional*, a la que se le ha asignado la correspondencia el término de B-Cube (-2,2,3), esto es, un comportamiento deliberado ( $x = -2 = volitional$ ) que consigue al final de la acción ( $z = 3$ ) dicha sensación deliberada de un modo acumulativo y homeomérico ( $y = 2$ ); pero no existe ninguna función para completar el valor (-2,2,1), que como opuesto de percibir debería ser emitir.

**Tabla 14 – Ejemplos de comportamientos opuestos que muestran carencias en la taxonomía de Fineberg**

| Presentes en la taxonomía de Fineberg | Carentes en la taxonomía de Fineberg |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Decidir (-5,4,3)                      | Plantear (-5,4,1)                    |
| Percibir (-2,2,3)                     | Emitir (voluntariamente) (-2,2,1)    |

#### 4.4 Representación de un diseño de un concesionario de automóviles

En este ejemplo se verá cómo funciona el modelo B-Cube en la representación del proceso de funcionamiento de un pequeño

concesionario de automóviles. Como representación del nivel de funciones se han escogido, como ya se ha adelantado anteriormente, los términos de las RFB si se trata de una acción física y los términos de la taxonomía de Fineberg si se corresponde con acciones abstractas. El concesionario debe cumplir con dos funciones principales, que son persuadir a los clientes para que compren nuestro producto, en este caso vehículos, e intercambiar con un proveedor los vehículos a cambio de dinero. En la Figura 47 (que puede verse a mejor resolución en el anexo 1) se pueden observar sendas funciones, expresadas en términos de la taxonomía de Fineberg, en un nivel superior, esto es, “*interaction, controlling, persuade*” y “*interaction, organizing, Exchange*”. La primera de dichas funciones, persuadir, implica dentro de este proceso que se lleven a cabo sendas subfunciones derivadas de ella, que corresponden a exportar vehículos de la empresa e importar dinero a la misma, expresado esta vez en términos de las RFB del NIST al referirse a funciones del plano físico. Es decir, los términos “*channel, export*” y “*channel, import*”.

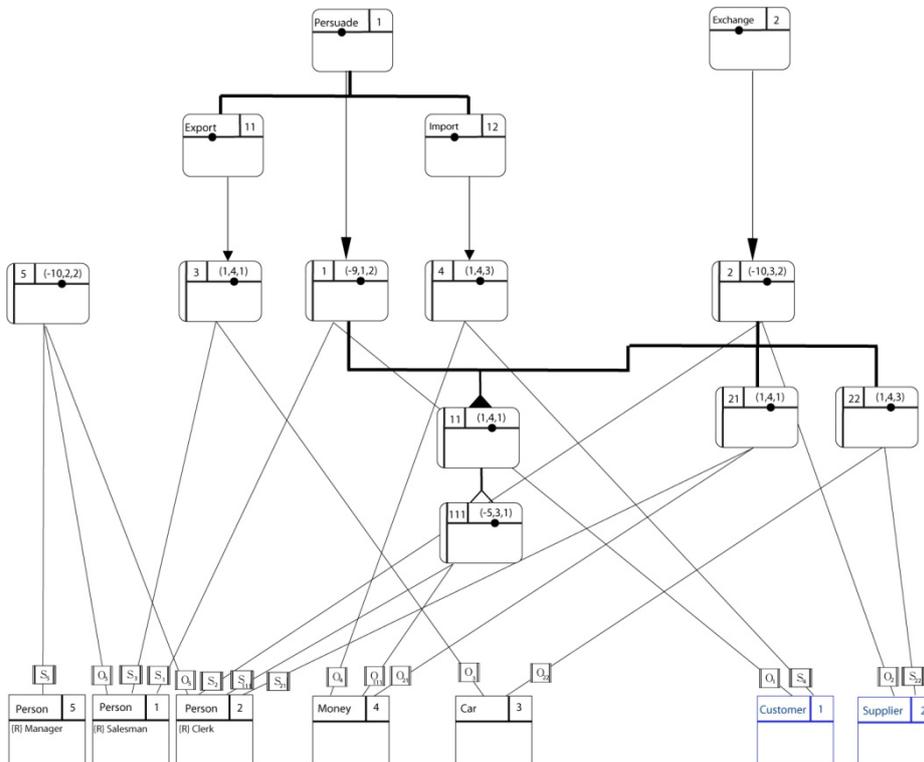


Figura 47 – Representación del proceso de compra-venta de vehículos

Cada una de estas funciones deriva en su comportamiento correspondiente según las correspondencias establecidas tanto en el presente capítulo (Tabla 13) como en el anterior (Tabla 6) con el modelo B-Cube. Con estas correspondencias se muestran las funciones procedentes de la taxonomía de Fineberg vinculadas a comportamientos con el componente X negativo, mientras que a aquellas funciones presentes en las RFB del NIST aparecen vinculadas con comportamientos con el componente X positivo. Esto es, el término *persuade* se corresponde con (-9, 1, 2); *exchange* con (-10, 3, 2); *import* con (1, 4, 3); y *export* con (1, 4, 1).

A parte de estos comportamientos considerados como generados por las funciones, también aparecen en el esquema comportamientos derivados directamente de otro comportamiento, bien como causa o como requerimientos de otro comportamiento previo, y comportamientos que simplemente deben estar presentes por definición directa del concepto de empresa. En el caso de los comportamientos derivados de otros comportamientos tenemos el comportamiento etiquetado como 11 y representado como (1, 4, 1), que representa el acto de que el dinero va a cambiar de manos (de localización espacial) como requerimiento de los comportamientos precedentes, o el comportamiento (-5, 3, 1) causado por el anterior, referido a la gestión de los pagos: toma de decisiones mediacional ( $x = -5$ ), puesto que se debe decidir si pagar; acción no acumulativa ni instantánea ( $Y = 3$ ) ya que cada pago implica una acción y lleva su tiempo para gestionarlo; y estado inicial ( $z = 1$ ), puesto que por el convenio establecido el dinero se encontrará inicialmente en la empresa y se perderá con el pago. En el caso de los comportamientos presentes por definición directa del concepto de empresa tenemos como ejemplo el comportamiento (-10, 2, 2) referido a la dirección y coordinación del resto de estructuras de rol del sistema definido, puesto que se representa como un estado continuo ( $y = 2$ ) de organización ( $x = -10$ ), dónde está ni se gana ni se pierde, simplemente está presente y se intenta conservar con la acción ( $z = 2$ ).

En lo referente al nivel de estructuras nos encontramos con que ciertas de ellas tienen como atributo activo el ser consideradas como estructuras de rol. Con ello se refiere a que la estructura posee, igual que todas las demás, una parte física y tangible capaz de ser afectada por comportamientos de la parte física del modelo B-Cube, ya que estos hacen referencia a sus propiedades físicas como son su

posición en el espacio o sus magnitudes materiales, pero que a su vez también son capaces de llevar a cabo los comportamientos considerados como abstractos dentro del mismo modelo. Así, en el ejemplo vemos tres estructuras inicialmente iguales, definidas como personas (*person*) que tienen activo en su representación gráfica el atributo de rol, definido en el esquema como *role*, donde vemos que la diferencia entre las tres estructuras inicialmente iguales viene determinada por el rol que tienen asignado en el proceso: director (*manager*), comercial (*salesman*) o administrativo (*clerk*), que será el que determinará cuál de ellas lleva a cabo cada uno de los comportamientos abstractos o de rol definidos en el nivel superior. El resto de las estructuras, dinero y coches, se refieren a partes únicamente físicas, por lo que reciben el tratamiento ya definido en el capítulo anterior y no necesitan de una explicación adicional en este punto.

#### 4.5 Evolución del proceso de ensamblado de un cajón metálico

Siguiendo la misma línea marcada en el capítulo 3.7 para el diseño de productos, en el diseño de un proceso también se debe comenzar introduciendo la información de las funciones objetivo a alcanzar y las restricciones del medio que van a limitar la solución. En el caso a analizar se pretende diseñar un proceso para ensamblar y conformar los diferentes elementos que forman un cajón, que son el chasis o estructura, las guías interiores, un tirador, dos tornillos y dos arandelas. La Figura 48 nos muestra todos estos elementos que conforman las restricciones del medio del esquema.

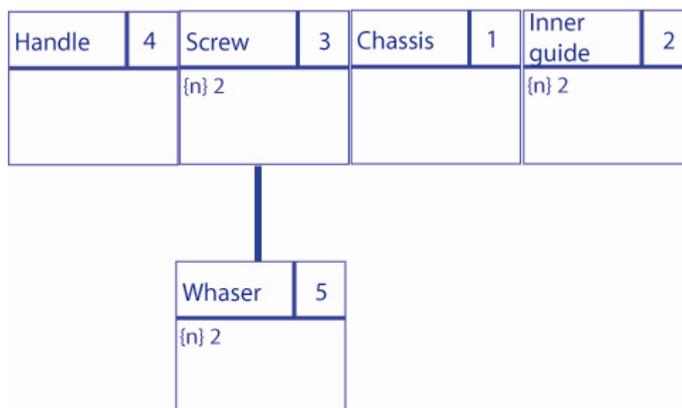
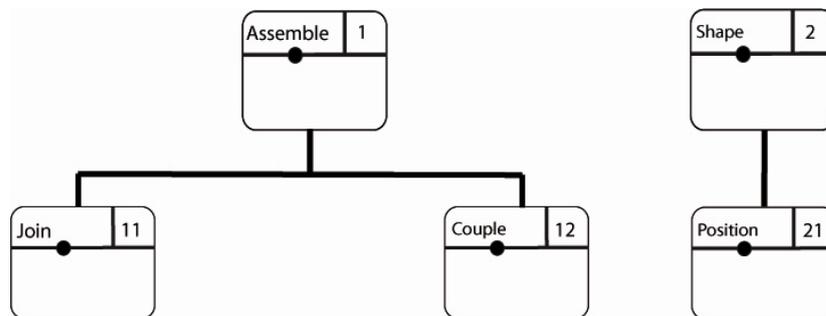


Figura 48 – Nivel de medio (restricciones)

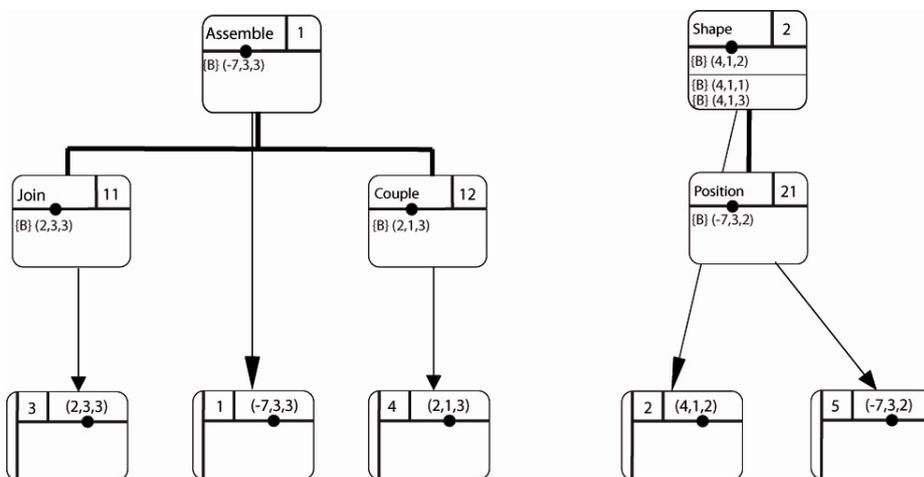
En cuanto al nivel de funciones, elaborado por el propio diseñador o a partir de una herramienta semántica, se pueden distinguir dos funciones principales: ensamblar, a la que le corresponde el término de la taxonomía de Fineberg “*reaction, psychomotor, assemble*”, y conformar, representada por el término “*control magnitud, change, shape*” del NIST, como se puede ver representado en la Figura 49. En la misma figura se puede ver cómo surge un segundo nivel de funciones derivadas del primero, que representa la necesidad de una actuación física para la función de rol de ensamblar, representada por las funciones “*connect, couple, join*” y “*connect, couple*” del NIST, y como del mismo modo el proceso necesita de una función de rol para ejecutar la función física de conformar, representada por la función de Fineberg “*reaction, psychomotor, position*”.



**Figura 49 – Nivel de Funciones**

Para crear el nivel de comportamientos nos apoyamos en la correlación de los términos de las RFB con los términos del modelo B-Cube que se muestra en la Tabla 6, en el capítulo 3.4 y en la correlación de los términos de la taxonomía de Fineberg con el mismo que aparece en la Tabla 13, en el capítulo 4.3. De dichas correlaciones se extrae que la función “*reaction, psychomotor, assemble*” se corresponde con el comportamiento de rol (-7, 3, 3), pues el resultado final ( $z = 3$ ) de la acción psicomotora ( $x = -7$ ) se alcanza de un modo no acumulativo ni instantáneo ( $y = 3$ ), y las funciones “*connect, couple, join*” y “*connect, couple*” con los comportamientos (2, 3, 3) y (2, 1, 3) respectivamente, ya que son dos formas diferentes ( $y = 1$  y  $y = 3$ ) de conseguir la conexión topológica ( $x = 1$ ) al final de la acción ( $z = 3$ ). Por otro lado, la función “*control magnitud, change, shape*” se corresponde con tres comportamientos diferentes del modelo B-Cube, que son (4, 1, 2), (4, 1, 1) y (4, 1, 3),

que como puede verse representan un cambio en el material ( $x = 4$ ) de un mismo modo ( $y = 1$ ), y lo que falta por diferenciar es el sentido en que actúa, es decir, si la magnitud material afectada se obtiene, se pierde, o no le afecta el sentido. En este caso, puesto que la restricción moldeada va a ser el chasis del cajón, la cantidad de sustancia no varía en ningún momento, por lo que se escogerá el comportamiento (4, 1, 2). Por su parte, la función “*reaction, psychomotor, position*” se corresponde con el comportamiento (-7, 3, 2), pues se refiere a una acción psicomotora ( $x = -7$ ) llevada a cabo de un modo no acumulativo ni instantáneo ( $y = 3$ ), pero la acción no genera que se gane ni se pierda su condición inicial. La representación de la evolución del nivel de comportamientos a partir del nivel de funciones se representa en la Figura 50.



**Figura 50 – Evolución del nivel de comportamientos a partir del nivel de funciones**

Al igual que se vio en el caso del diseño de útiles, de estos comportamientos y de sus relaciones con el nivel del medio es de donde se deducirán las estructuras necesarias para poder llevar a cabo el proceso demandado. Por tanto, la búsqueda en bases de datos para las estructuras derivadas de comportamientos físicos se va a realizar del mismo modo que en el ejemplo del capítulo 3.7. Para el caso de los comportamientos de rol, la búsqueda varía un poco, pues inicialmente vamos a teorizar que dichos comportamientos sólo pueden ser llevados a cabo por un ser humano (aunque en el capítulo 7, Conclusiones y desarrollos futuros, abriremos las puertas a la

posibilidad de que dichos comportamientos de rol puedan ser llevados a cabo también por robots u ordenadores), es decir, la estructura física representada en el esquema será siempre dicho ser humano. En este caso, la búsqueda en la base de datos se centrará en los diferentes atributos de rol (R) que pueda poseer dicha estructura, y ver cuál de ellos debe permanecer activo para poder llevar a cabo el comportamiento o comportamientos requeridos. En el caso del ejemplo se selecciona el rol de operario (fitter) como el más adecuado para llevar a cabo los comportamientos (-7, 3, 3) y (-7, 3, 2).

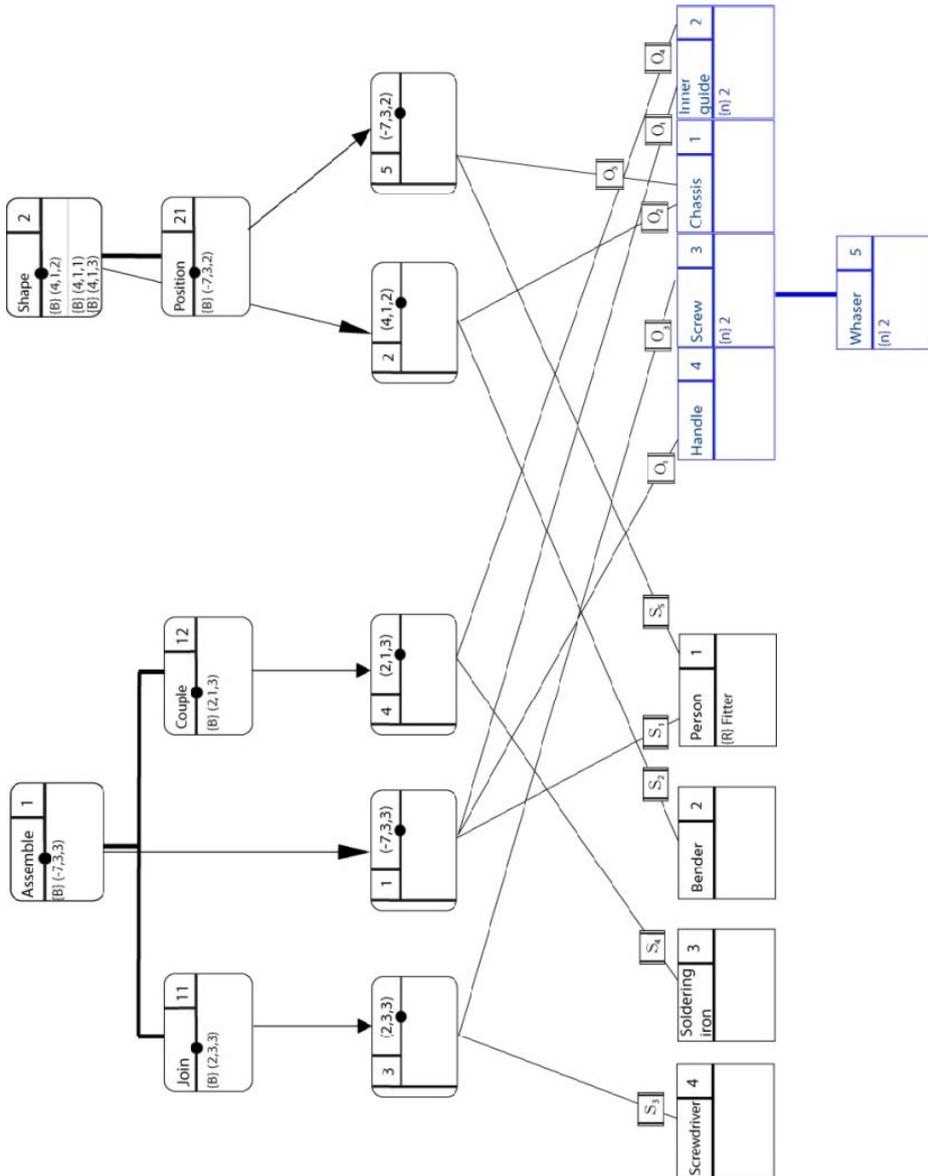
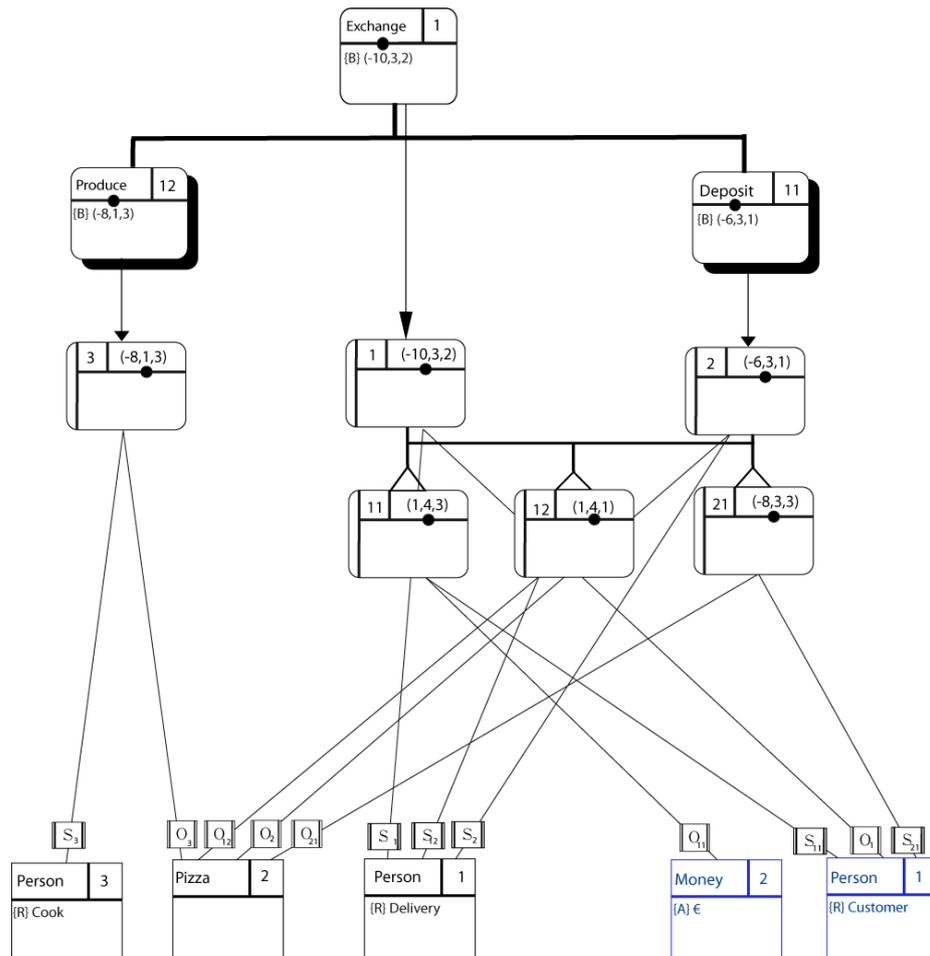


Figura 51 – Representación final del proceso de conformado y ensamble de un cajón

## 4.6 Representación del proceso de funcionamiento de una pizzería a domicilio

Como ejemplo más completo dentro del apartado dedicado a los diseños que incluyan comportamientos de rol se muestra en este punto el proceso de funcionamiento de una pizzería a domicilio. La Figura 52 muestra el nivel principal del esquema en sus tres niveles, función, comportamiento y estructura. En este esquema se puede observar que existen subesquemas derivados de algunas funciones, que se desarrollarán en este mismo apartado.

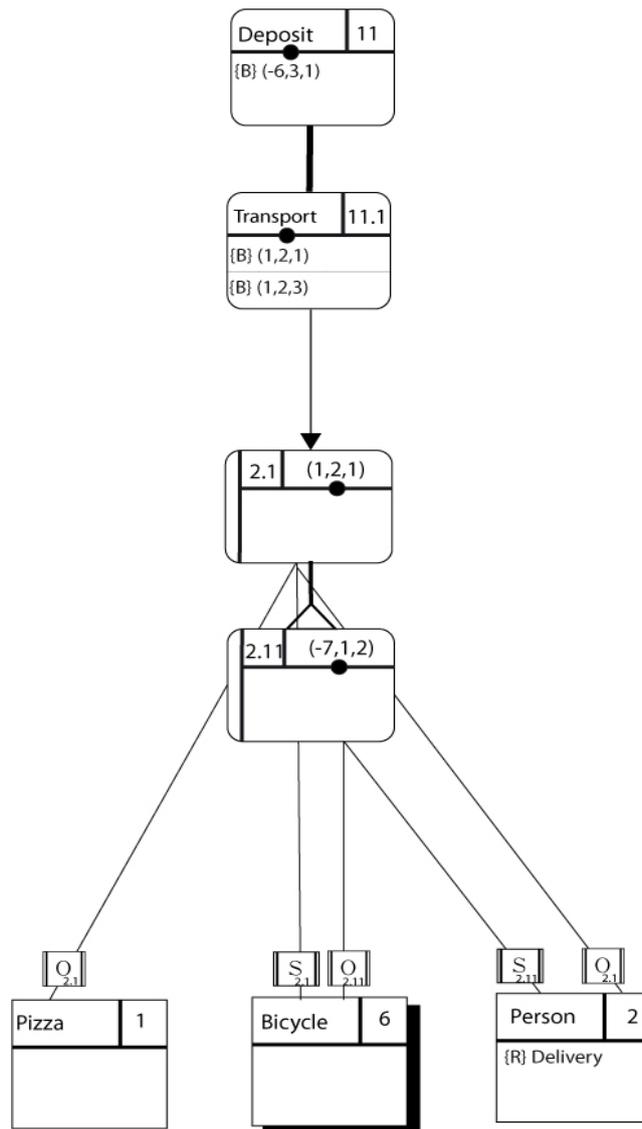


**Figura 52 – Nivel principal del esquema de funcionamiento de un pizzería a domicilio**

En dicho esquema podemos observar cómo se desarrolla el modelo a partir de una función principal, que corresponde a la acción de intercambiar el producto o servicio que se oferta (la pizza) por el dinero del cliente. Esta función principal viene representada por el término de la taxonomía de Fineberg “*interaction, organizing, exchange*” (intercambiar). Tanto el dinero como el cliente son partes ajenas de la organización, por lo que se representan en el nivel de medio. De la función principal derivan sendas funciones necesarias para realizar la primera, por un lado se ha de producir (*reaction, conceptual, produce*) la pizza, y por otro se ha de dejar en el destino (*reaction, physical, deposit*). Si llevamos las tres funciones representadas por la terminología de Fineberg a la tabla de correlaciones entre dichos términos y los comportamientos del modelo B-Cube (Tabla 13) se puede observar que para cada una de ellas sólo tenemos una única posibilidad de representación: el término *exchange* se corresponde con el comportamiento (-10, 3, 2); el término *produce* con (-8, 1, 3); y *deposit* con el comportamiento (-6, 3, 1).

A partir de estos comportamientos definidos por las funciones se observa que aparecen otros como requerimientos de los primeros. Así, el comportamiento de rol (-10, 3, 2) referente a intercambiar requiere de un movimiento de las estructuras físicas que se intercambian, es decir, la pizza desde nuestro sistema hacia el cliente (1, 4, 1) y el dinero desde el cliente hacia nuestro sistema (1, 4, 3). Del mismo modo, el rol (-6, 3, 1) correspondiente a la acción de entregar requiere tanto de otro comportamiento de rol referente a recoger (-8, 3, 3), como de la acción física de entregar el objeto, es decir, desplazar la pizza desde nuestro sistema hacia el cliente, que como puede verse coincide con el comportamiento definido anteriormente de (1, 4, 1).

En cuanto al nivel de estructuras aparecen, en primer lugar la pizza, que como hemos visto es el elemento objeto de la mayoría de los comportamientos presentados hasta el momento. Además se requieren de dos estructuras capaces de soportar comportamientos de rol que, como se ha anunciado anteriormente, consideraremos que sólo pueden ser realizadas por una persona. En estas dos estructuras cambia solamente el atributo de rol que ejercen, que en un caso es el de repartidor (*delivery*) y en el otro de cocinero (*cook*).



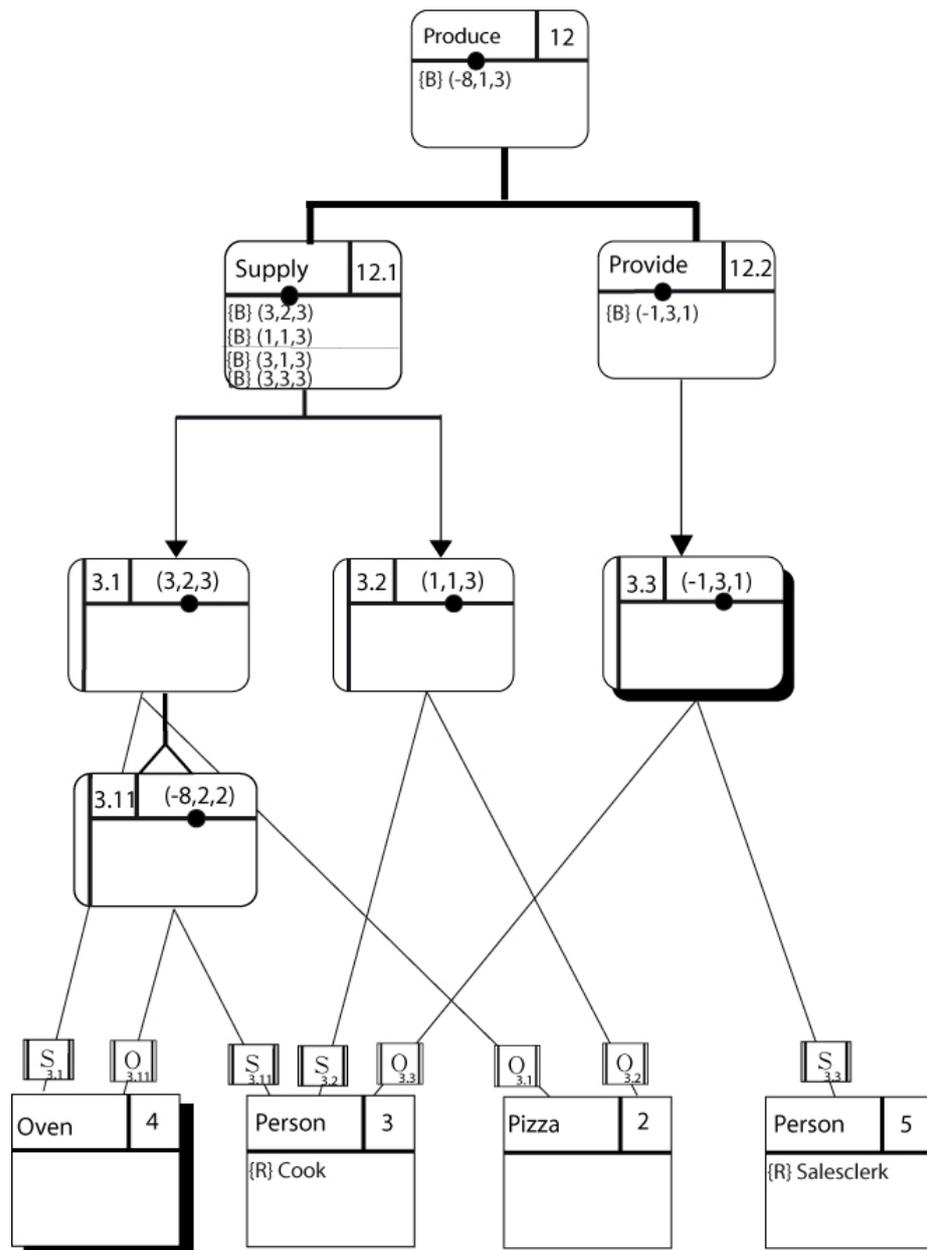
**Figura 53 – Subesquema referente a la entrega de la pizza**

La Figura 53 nos muestra el subesquema desarrollado a partir de la función “*reaction, physical, deposit*”. Este subnivel considera que para realizar la entrega va a ser necesario desplazar las estructuras implicadas hasta su destino. Por ello se representa la función “*cannel, transfer, transport*”. Esta función se ve que puede ser llevada a cabo mediante dos comportamientos diferentes: (1, 2, 1) y (1, 2, 3); aunque por la definición de la función de nivel superior ya se ha visto que el sentido de la acción ocurre desde el sistema, es decir, estado inicial  $z = 1$ . Para llevar a cabo dicho comportamiento se requiere de una

nueva estructura, que se define como bicicleta, mientras que pizza y persona (repartidor) actúan ambos como objeto del comportamiento. Asimismo, la bicicleta requiere de un comportamiento de rol correspondiente a la acción de conducirla o guiarla, definido en este caso por el comportamiento de rol  $(-7, 1, 2)$  que, como se ve en el esquema de la imagen, puede ser llevado a cabo por la misma persona que ya aparece en el sistema, por lo que no se hace necesario de añadir una estructura adicional. Por su parte, la estructura bicicleta puede a su vez ser desglosada en subesquemas, pero no se mostrará en este punto, ya que el objetivo del presente capítulo es mostrar el funcionamiento de los comportamientos de rol, y los subesquemas de la bicicleta son completamente físicos. Para más detalles de la descripción del diseño de una bicicleta se puede consultar el capítulo 3.8 “Representación del diseño de una bicicleta”.

De un modo análogo, la Figura 54 muestra el subesquema desarrollado a partir de la función “*reaction, conceptual, produce*”, referente a la producción de la pizza. Aquí se ve como se necesita un aporte tanto de materiales (ingredientes) como de energía (calor) para poder producir la pizza. Esto se ve reflejado a través de la función “*provision, supply*” y de sus posibles comportamientos obtenidos de la correspondencia entre términos NIST–B-Cube. Éstos se refieren por una parte al desplazamiento en el espacio ( $X = 1 =$  localización espacial) de los ingredientes, para el cual tenemos sólo un comportamiento,  $(1, 1, 3)$ , y por otra parte al aporte de calor ( $x = 3 =$  energía) por parte de un horno para concluir su producción, para el cual disponemos de tres modos diferentes de llevar a cabo dicha función,  $(3, 1, 3)$ ,  $(3, 2, 3)$ ,  $(3, 3, 3)$ . De entre estos se escoge el valor  $y = 2 =$  estado, al considerar que el aporte de calor por parte del horno se produce de un modo continuo e igual durante el transcurso de toda la acción. Además, este último comportamiento físico  $(3, 2, 3)$  requiere de un comportamiento de rol que implique el manejo y control de dicho horno, que en este caso se ha considerado expresarlo como  $(-8, 2, 2)$ .

Por otro lado, de la misma función superior se percibe la necesidad de aporte de información sobre cómo debe de ser preparada la pizza, es decir, alguien debe proporcionarle al cocinero la información que éste necesita para saber cómo quiere el cliente su pizza. Esto se representa a través de la función “*sensation, automatic, provide*”, cuyo comportamiento se representa según la correspondencia Fineberg–B-Cube como  $(-1, 3, 1)$ .



**Figura 54 – Subesquema referente a la fabricación de la pizza**

En cuanto a nivel de estructuras, además de las ya existentes pizza y persona con el rol de cocinero, vemos que han aparecido a consecuencia de los comportamientos la estructura horno, para llevar el comportamiento (3, 2, 3), y la estructura persona con rol de

vendedor, para proporcionarle la información al cocinero. El comportamiento de manejo del horno (-8, 2, 2) no requiere de otra estructura adicional porque se considera que puede ser llevada a cabo por el mismo cocinero.

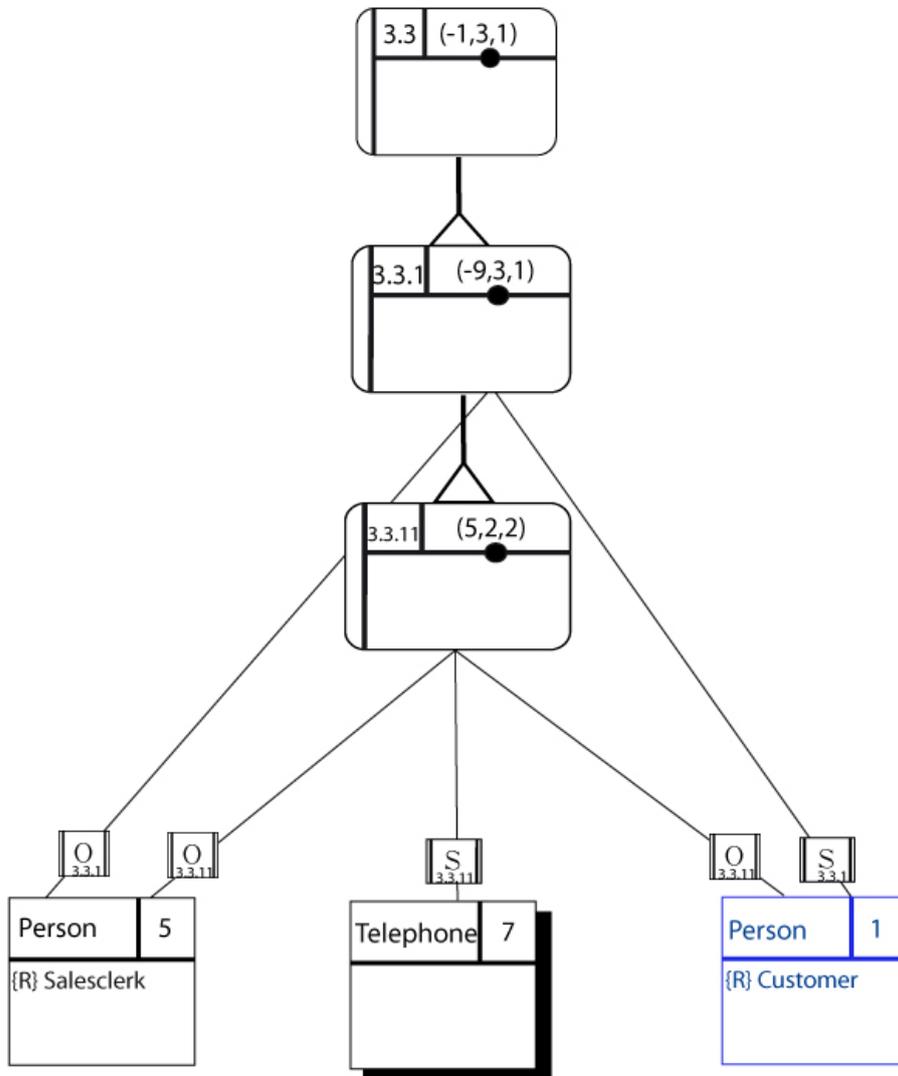


Figura 55 – Subesquema referente a la toma del pedido

Por último, en la figura Figura 55 podemos ver representado el subesquema derivado del comportamiento (-1, 3, 1), correspondiente al modo de proporcionar información por parte de una persona con rol de vendedor. Esta información que ha de llegar al cocinero se ha descrito anteriormente como procedente del cliente, por tanto se requiere de un modo de que el cliente transmita la información al

vendedor. Esta acción se representa por el comportamiento (-9, 3, 1) asociado al cliente como sujeto, que nos indica la petición que realiza éste. Además, esta transmisión de información queda representada con el comportamiento físico (5, 2, 2), que necesita de una estructura nueva, teléfono, que actúa como nexo entre ambas estructuras anteriores.

## **5 B-Cube y TRIZ**



## 5.1 Introducción

Uno de los objetivos del modelo B-Cube es que sea capaz de permitir la vinculación del diseño funcional, tal y como se ha definido en el presente trabajo, con otras aplicaciones capaces de mejorar su resultado, como pueden ser herramientas medioambientales, herramientas de evaluación de las soluciones, herramientas CAI, o herramientas CAD/CAM. En este capítulo se hace hincapié en las posibilidades de vincular el diseño funcional con las herramientas CAI, a través del modelo B-Cube. Para tal efecto se han escogido las herramientas CAI basadas en la metodología TRIZ, pues por un lado sus características de funcionalidad y convergencia la hacen idónea para innovar en el diseño funcional, y por otro presenta la ventaja de disponer de un amplio rango de herramientas sentadas sobre la misma base, lo que nos permitirá escoger la más idónea para ser adaptada a nuestro sistema centrado en el modelo B-Cube. Las principales herramientas de TRIZ se introducen brevemente en el punto siguiente. Pero este mismo amplio número de herramientas, que trabajan a diversos niveles, conduce a la necesidad de estudiar con más detalle cuales de dichas herramientas deben ser seleccionadas y a qué nivel para poder tratar las correspondientes taxonomías y ver su relación con el modelo B-Cube. De este modo, el punto que le sigue muestra un estudio apoyado con un ejemplo sobre la idoneidad de las diferentes herramientas de TRIZ para ser vinculadas con el modelo B-cube, y se definen por tanto aquellas mejores y aquellas peores para tal efecto.

Con el objeto de justificar la vinculación de la metodología TRIZ con el diseño funcional a través del modelo B-Cube y no de otra taxonomía estandarizada, el punto 4 está dedicado a mostrar los intentos de utilizar las RFB para efectuar la vinculación con TRIZ y buscar los puntos débiles de dicha vinculación para comprobar que son solventables al emplear el modelo B-Cube. Siguiendo un orden lógico dentro del capítulo, el punto siguiente está destinado a analizar la vinculación de TRIZ con el modelo B-Cube y a determinar la taxonomía de comportamientos que utilizará TRIZ para efectuar tal vinculación.

El capítulo concluye con varios ejemplos de uso de la herramienta de TRIZ y B-Cube conjuntamente para el modelado de diseños funcionales.

## 5.2 Herramientas de TRIZ

TRIZ es el acrónimo ruso de “Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch”, la teoría de resolución de problemas inventivos. TRIZ nació en Rusia en la década de 1940 de la mano de Genrich Altshuller, oficial de patentes de la marina soviética, después del análisis de miles de documentos de patentes, de donde Alsthuller extraía el problema y la solución aportada, y los clasificaba según el principio común de su solución.

TRIZ consiste, más que en una metodología única, es un conjunto de herramientas, bases de datos de conocimiento, y tecnologías basadas en el conocimiento, cuya finalidad es ser utilizadas en la formulación de problemas, análisis de sistemas, análisis de fallos y líneas de evolución de sistemas. A diferencia de otras metodologías divergentes para la generación de ideas, como por ejemplo el brainstorming, las herramientas de TRIZ plantean un modelo convergente, basado en una abstracción del problema y en una concreción de la solución (Figura 56). Así, frente al ensayo y error, que puede tardar años o sólo minutos en encontrar una solución válida, que no tiene porqué ser la óptima, TRIZ conduce de un modo indirecto hacia una solución óptima, basándose en una solución genérica que ya ha sido aplicada con éxito para resolver otros problemas concretos diferentes. Por ejemplo, un problema específico como el caso de hallar la solución a:

$$2x^2 - 4x + 1 = 0 \quad [1]$$

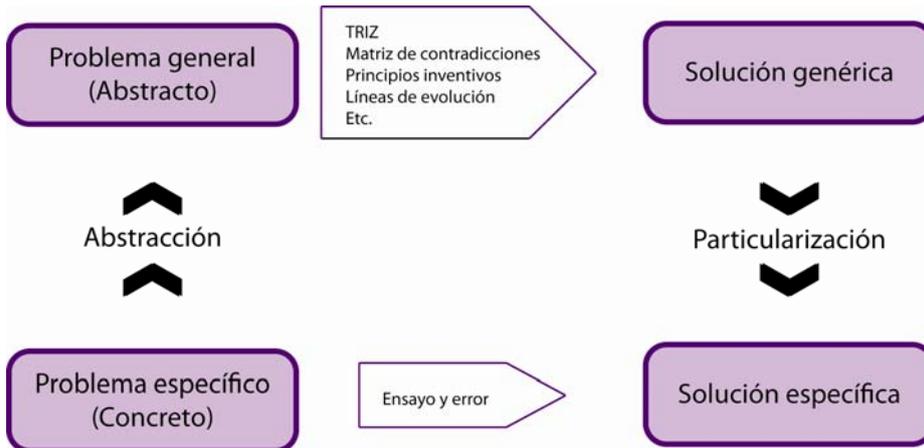
se puede intentar resolver por el método de ensayo y error, probando uno por uno todos los posibles valores de x hasta encontrar la solución. Este proceso puede hacerse muy largo, y la solución encontrada puede no ser la única. Por otro lado, el problema también puede ser convertido en uno abstracto:

$$ax^2 + bx + c = 0 \quad [2]$$

el cual ya ha sido resuelto con anterioridad, y tenemos por tanto una solución genérica:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad [3]$$

La cual puede ser particularizada sustituyendo las letras por sus valores correspondientes, es decir: a = 2; b = -4; c = 1. Con lo cual se obtienen las soluciones x = 1'707 y x = 0'293.



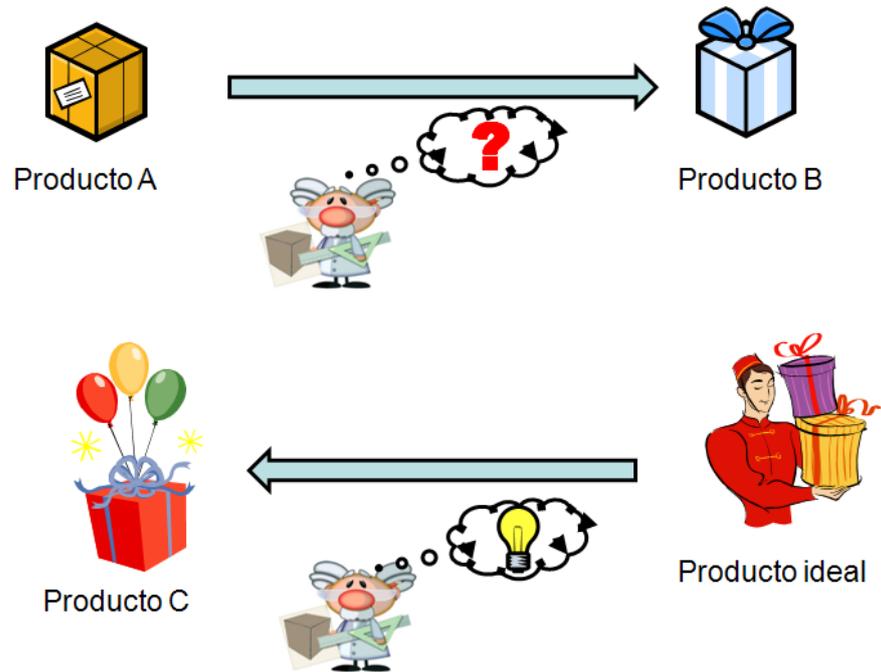
**Figura 56 – Búsqueda de soluciones de TRIZ frente al ensayo y error**

Para cada uno de estos pasos, TRIZ dispone de una gran variedad de herramientas que pueden ser empleadas en las diferentes fases del proceso de planteamiento del problema y búsqueda de soluciones novedosas. De entre todas ellas se procede a explicar más detenidamente las principales a continuación.

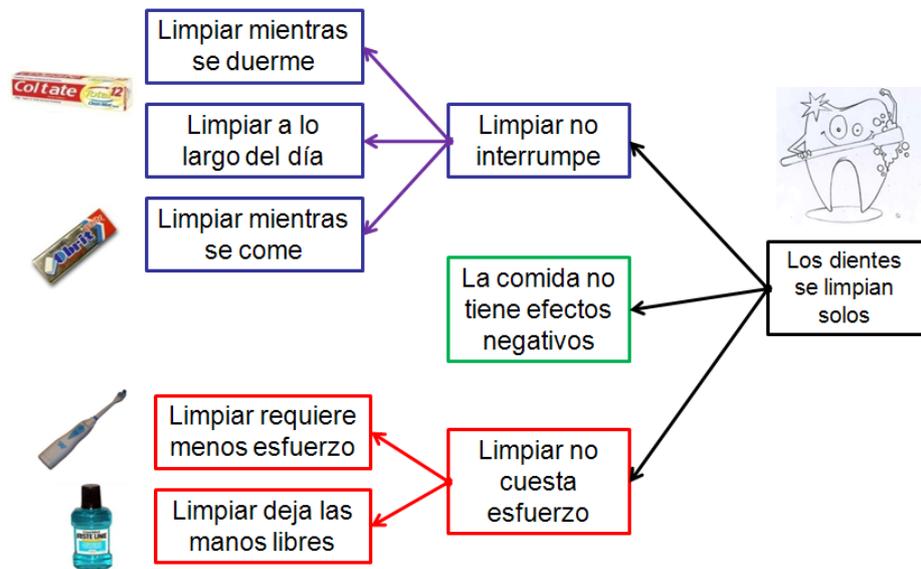
### 5.2.1 Principio de idealidad (IFR)

El principio de idealidad consiste en plantear la solución final óptima, aunque ésta sea imposible de realizar. Según este planteamiento, la máquina ideal es aquella que permite llevar a cabo la función requerida sin consumir recursos, generar residuos, ni utilizar espacio. Puesto que este nivel de idealidad no se puede alcanzar, la aplicación del IFR nos dice que el sistema se debe ir desevolucionando desde este máximo óptimo, hasta llegar al punto en que ya sea viable el nuevo diseño. Así, en lugar de partir de un producto A, presente en la actualidad, para desarrollar una evolución B, que es mejor que el A pero no se puede asegurar que sea lo mejor que se puede hacer, ni si será superior a la competencia, el punto de partida según el IFR es el producto ideal, que se va desevolucionando hasta llegar a un producto C, claramente mejor que el producto A y seguramente mejor que el producto B (Figura 57). De este modo nos hemos asegurado que nuestro diseño es el más cercano a la idealidad, y por tanto el más evolucionado. La Figura 58 nos presenta la aplicación del principio de idealidad sobre un cepillo de dientes. El gráfico, que se lee de derecha a izquierda, nos muestra como se parte de un punto ideal utópico, como es el hecho de que los dientes se limpien solos, y de ahí se va

retrocediendo en idealidad hasta que se llega a un nivel que la tecnología actual nos permite alcanzar.



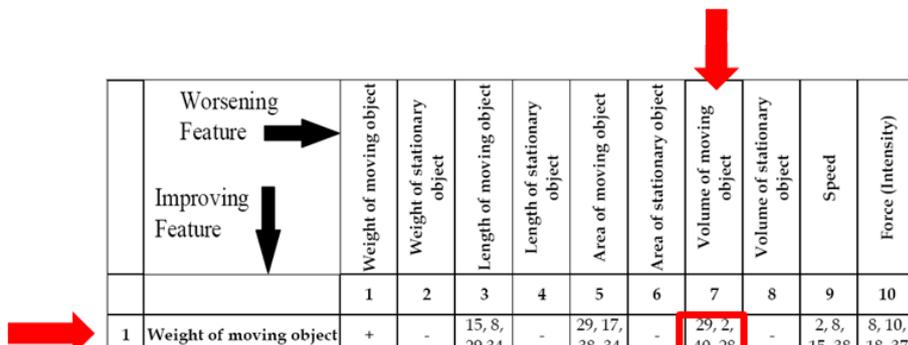
**Figura 57 – Principio de idealidad**



**Figura 58 – Aplicación del principio de idealidad a un cepillo de dientes (basado en el ejemplo del software Creax Innovation Suite 3.1)**

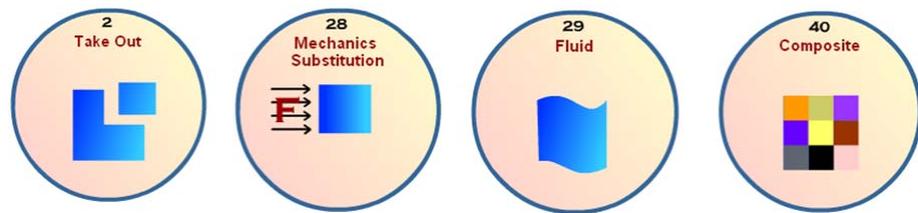
**5.2.2 Matriz de contradicciones y principios inventivos**

El concepto de contradicción es la parte fundamental, y probablemente más popular, del conjunto de herramientas de TRIZ. Una contradicción queda definida como un impedimento físico o técnico para encontrar una solución. La matriz de contradicciones, de la que se muestra un extracto en la Figura 59, está compuesta por 39 factores o parámetros ingenieriles, y ayuda a identificar una contradicción de tipo técnica, donde mejorar un factor empeora otro. También orienta hacia cual de los 40 principios inventivos se ha de mirar para resolver las contradicciones encontradas. En el caso del ejemplo de la Figura 59 se ve como para resolver la contradicción de cómo reducir el peso de un objeto móvil sin reducir su volumen se debe acudir a los principios numerados como 2, 28, 29 y 40. Los principios inventivos consisten en los enfoques clásicos para resolver problemas resolutivos. Estos provienen del estudio de millones de patentes y todas las invenciones se pueden catalogar dentro de ellos.



|    | Worsening Feature →         | Weight of moving object | Weight of stationary object | Length of moving object | Length of stationary object | Area of moving object | Area of stationary object | Volume of moving object | Volume of stationary object | Speed          | Force (Intensity) |
|----|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------|
|    | Improving Feature ↓         | 1                       | 2                           | 3                       | 4                           | 5                     | 6                         | 7                       | 8                           | 9              | 10                |
| 1  | Weight of moving object     | +                       | -                           | 15, 8, 29, 34           | -                           | 29, 17, 38, 34        | -                         | 29, 2, 40, 28           | -                           | 2, 8, 15, 38   | 8, 10, 18, 37     |
| 2  | Weight of stationary object | -                       | +                           | -                       | 10, 1, 29, 35               | -                     | 35, 30, 13, 2             | -                       | 5, 35, 14, 2                | -              | 8, 10, 19, 35     |
| 3  | Length of moving object     | 8, 15, 29, 34           | -                           | +                       | -                           | 15, 17, 4             | -                         | 7, 17, 4, 35            | -                           | 13, 4, 8       | 17, 10, 4         |
| 4  | Length of stationary object | -                       | 35, 28, 40, 29              | -                       | +                           | -                     | 17, 7, 10, 40             | -                       | 35, 8, 2, 14                | -              | 28, 10            |
| 5  | Area of moving object       | 2, 17, 29, 4            | -                           | 14, 15, 18, 4           | -                           | +                     | -                         | 7, 14, 17, 4            | -                           | 29, 30, 4, 34  | 19, 30, 35, 2     |
| 6  | Area of stationary object   | -                       | 30, 2, 14, 18               | -                       | 26, 7, 9, 39                | -                     | +                         | -                       | -                           | -              | 1, 18, 35, 36     |
| 7  | Volume of moving object     | 2, 26, 29, 40           | -                           | 1, 7, 4, 35             | -                           | 1, 7, 4, 17           | -                         | +                       | -                           | 29, 4, 38, 34  | 15, 35, 36, 37    |
| 8  | Volume of stationary object | -                       | 35, 10, 19, 14              | 19, 14                  | 35, 8, 2, 14                | -                     | -                         | -                       | +                           | -              | 2, 18, 37         |
| 9  | Speed                       | 2, 28, 13, 38           | -                           | 13, 14, 8               | -                           | 29, 30, 34            | -                         | 7, 29, 34               | -                           | +              | 13, 28, 15, 19    |
| 10 | Force (Intensity)           | 8, 1, 37, 18            | 18, 13, 1, 28               | 17, 19, 9, 36           | 28, 10                      | 19, 10, 15            | 1, 18, 36, 37             | 15, 9, 12, 37           | 2, 36, 18, 37               | 13, 28, 15, 12 | +                 |

**Figura 59 – Extracto de la matriz de contradicciones (fuente: Creax Innovation Suite)**



**Figura 60 – Cuatro principios inventivos (fuente: Creax Innovation Suite)**

En este ejemplo los principios que determinan la solución a reducir el peso de un objeto móvil sin reducir su volumen son: quitar partes, por ejemplo quitar los asientos traseros en los vehículos destinados a competición; sustituir la mecánica y utilizar fluidos, ambos empleados en la sustitución de la mecánica por la hidráulica en los vehículos actuales; y el uso de los materiales compuestos, como el caso de las fibras en muchas partes de los vehículos.

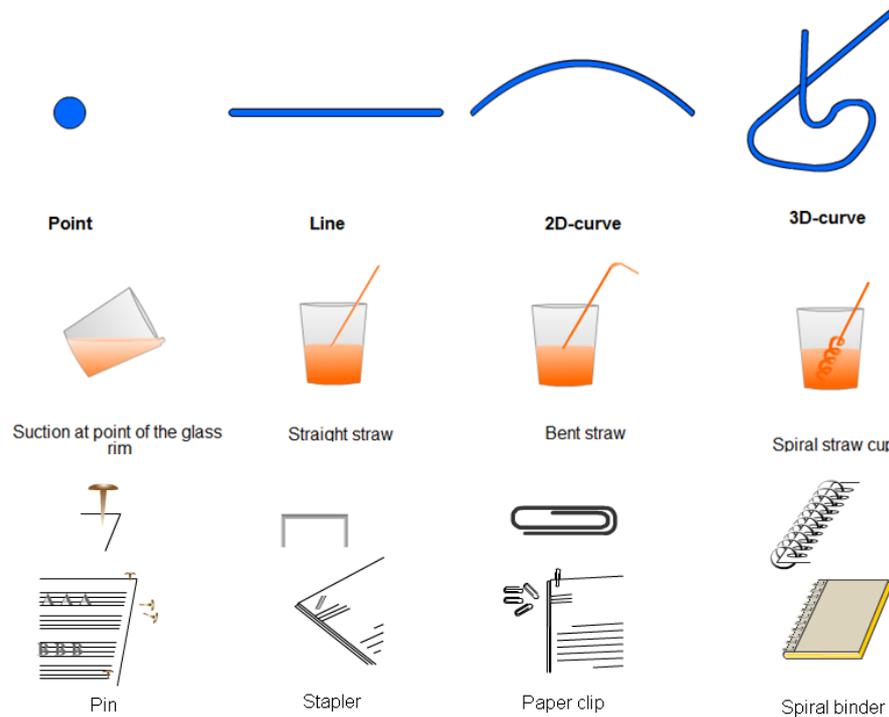
### **5.2.3 Líneas de evolución**

Las líneas de evolución, también conocidas como leyes de la evolución de los sistemas técnicos, proceden de la idea de que todos los sistemas técnicos siguen los mismos patrones de evolución a pesar de que pertenezcan a campos muy dispares. Así, existen 31 líneas evolutivas que permiten predecir los saltos tecnológicos capaces de resolver el problema inventivo (Mann & Dewulf, 2001). El estado de evolución del elemento objeto del estudio debería ser analizado en cada una de dichas 31 líneas evolutivas con la finalidad de priorizar las líneas sobre las que se debe actuar:

- Segmentación del objeto.
- Macro a nano escala.
- Segmentación espacial.
- Segmentación superficial.
- Coordinación del ritmo.
- Coordinación de la acción.
- Reducción de la amortiguación.
- Punto de diseño.
- Reducción de la densidad.
- Redes y fibras.
- Incremento de la transparencia.
- Reducción de conversiones de energía de n a 0.
- Controlabilidad.

- Reducción de la participación humana.
- Reducción de fronteras.
- Mono-bi-poly-varios objetos.
- Mono-bi-poly incremento de diferencias.
- Reducción de la complejidad del sistema.
- Incremento del uso de los sentidos.
- Metodología de diseño.
- Objetivo de compra del consumidor.
- Evolución del mercado.
- Evolución geométrica de construcciones lineales.
- Evolución geométrica de construcciones volumétricas.
- Dinamización.
- Mono-bi-poly objetos similares.
- Incremento de asimetría.
- Incremento del uso de color.
- Materiales inteligentes.
- Grados de libertad.
- No linealidad.

En la Figura 61 vemos una de dichas líneas con dos ejemplos de su aplicación. Esta línea nos dice que la tendencia en la evolución geométrica de las construcciones lineales va siempre desde el simple punto hasta la línea en tres dimensiones, pasando antes por los estadios de línea recta y curva en dos dimensiones. Como ejemplos se muestran los casos de las pajitas para beber agua, donde vemos que inicialmente se bebía siempre del vaso (se considera un punto), luego salieron las primeras pajitas consistentes en una caña recta, más adelante se introdujo una curva en la misma para facilitar la toma sentado, y finalmente han aparecido las pajitas multicurva sin otra función que la estética y lúdica, pero aún así el sistema ha evolucionado del modo previsto; y el caso de la fijación de varias hojas conjuntas, empezando por la unión puntual mediante clavos, actualizándose a las líneas rectas por medio de las grapas y a las curvas en dos dimensiones con los clips, para finalizar con las espirales utilizadas para encuadernar actualmente.



**Figura 61 – Línea de evolución tecnológica: Evolución geométrica de las construcciones lineales (fuente: Creax Innovation Suite)**

#### 5.2.4 Bases de datos de funciones

Esta es una herramienta basada en el conocimiento presente en la mayoría de los programas informáticos basados en TRIZ existentes en el mercado. Consiste en una base de datos que enumera las diferentes maneras conocidas de llevar a cabo ciertas funciones clave. La realización de las búsquedas en dicha base generalmente requiere de “qué” quiere hacerse y “sobre qué” sustancia quiere hacerse, es decir, función objetivo y elemento objeto. Nótese la similitud de estos dos elementos con los campos F y las sustancias  $S_2$  en el siguiente punto.

Ésta no es una herramienta estandarizada, sino que frecuentemente cada proveedor de aplicaciones de TRIZ que contengan una base de datos ha desarrollado la suya propia. La Figura 62 muestra la base de datos presentada por Creax (<http://function.creax.com/>). En ella se pueden apreciar los campos destinados a seleccionar la función objetivo y el estado de la materia sobre el que debe actuar, y las

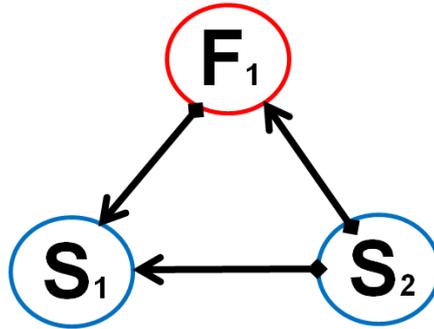
formas de cumplir dicha función en dicho estado o soluciones, junto con una explicación de las mismas.



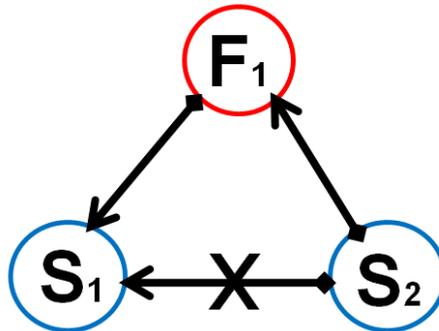
**Figura 62 – Vista de la base de datos de funciones de Creax (fuente: Creax Innovation Suite)**

### 5.2.5 Su-Fields

La herramienta de Su-Fields requiere de una conversión del sistema a campos y sustancias interrelacionados entre sí formando triadas, es decir, conjuntos de tres elementos interconexos, frecuentemente dos sustancias y un campo (Figura 63). El análisis de este sistema representado por campos y sustancias nos permitirá identificar aquellas triadas con conflictos para actuar sobre ellas por medio de cinco reglas, numeradas de la 1 a la 5:

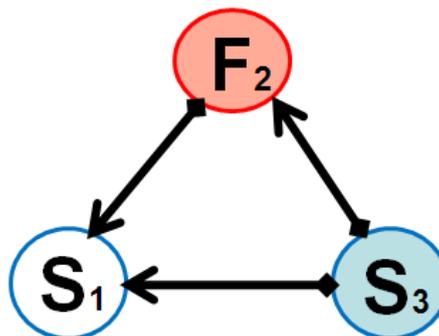


**Figura 63 – Triada: conjunto básico del análisis Su-Field**



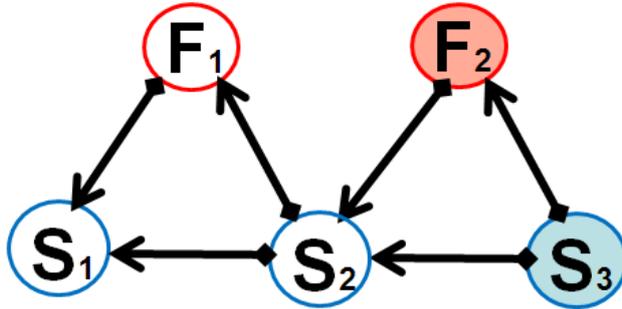
**Figura 64 – Representación de una triada con una interacción conflictiva**

Partiendo todas del mismo enunciado (Figura 64), esto es, tenemos una interacción conflictiva entre  $S_2$  y  $S_1$ , bien sea ésta insuficiente, excesiva, dañina, no existente (y necesaria) o simplemente no deseada, la regla 1 nos dice que hay que sustituir la sustancia  $S_2$  por otra sustancia  $S_3$ , de modo que genere un nuevo campo  $F_2$  cuya acción no sea perjudicial o no deseada sobre  $S_1$  (Figura 65).



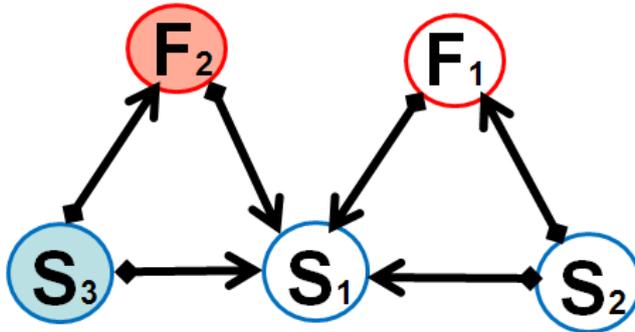
**Figura 65 – Regla 1 del análisis Su-Field**

La regla 2 indica que hay que añadir una nueva sustancia  $S_3$  que genere un nuevo campo  $F_2$  que actúe sobre  $S_2$  y lo modifique, de modo que este no ejerza negativamente sobre  $S_1$  (Figura 66).



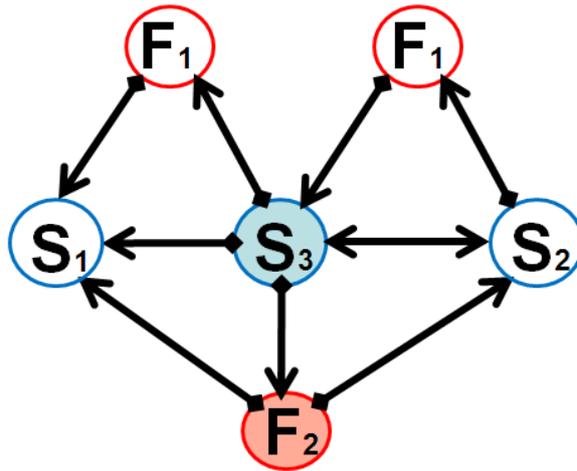
*Figura 66 – Regla 2 del análisis Su-Field*

La regla 3 pide añadir una nueva sustancia  $S_3$  que genere un nuevo campo  $F_2$  que actúe sobre  $S_1$  y lo modifique, de modo que la acción de  $S_2$  sobre este no sea negativa (Figura 67).



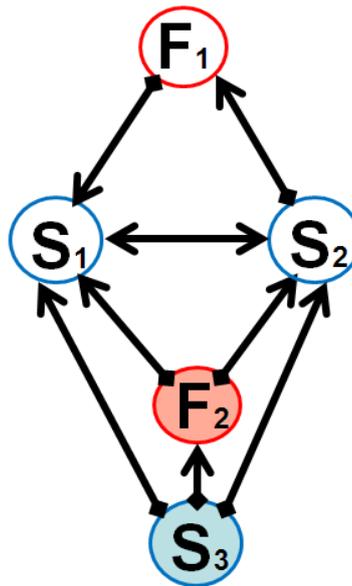
*Figura 67 – Regla 3 del análisis Su-Field*

Por su parte, la regla 4 dice de añadir una nueva sustancia  $S_3$  intermedia entre  $S_1$  y  $S_2$ , a través de la cual actúe  $F_1$ , que genere un nuevo campo  $F_2$  que actúe sobre  $S_1$  o  $S_2$  y lo modifique para evitar su interacción negativa (Figura 68).



*Figura 68 – Regla 4 del análisis Su-Field*

Por último, la regla 5 nos dice que hay que añadir una nueva sustancia  $S_3$  que genere un nuevo campo  $F_2$  que actúe sobre  $S_1$  y  $S_2$  y los modifique para evitar su interacción negativa (Figura 69).

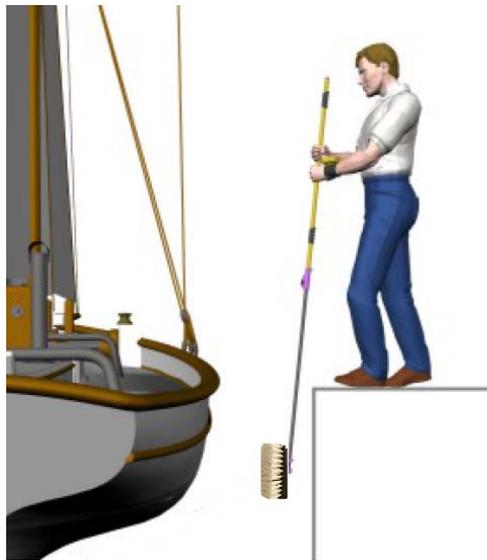


*Figura 69– Regla 5 del análisis Su-Field*

## 5.3 Estudio sobre las herramientas de TRIZ

### 5.3.1 Desarrollo del ejemplo

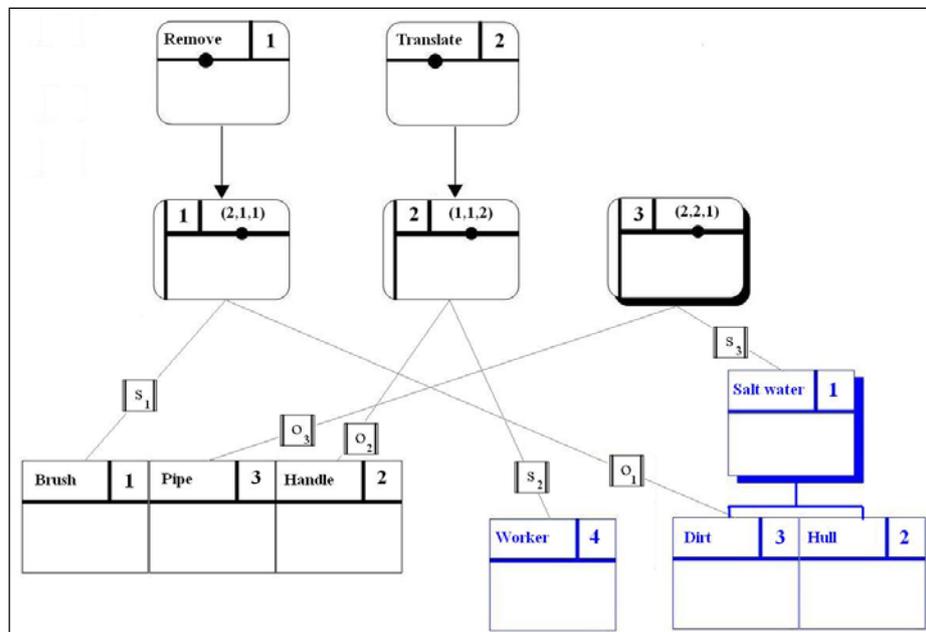
Para estudiar cómo integrar el modelo B-cube con las diferentes herramientas de TRIZ se ha partido de un ejemplo, que consiste en un útil sencillo para limpiar los cascos de los barcos cuando están en el agua (Figura 70). El modelo se desarrolla a partir de unos datos de partida por parte del diseñador, que son los requerimientos del útil a diseñar, es decir, las funciones que se piden al mismo, y las restricciones que nos encontraremos en el medio en el cual va a funcionar el útil y que van a afectar al mismo. A partir de estos datos se elabora el nivel de comportamientos, y de éste el de estructuras, que pueden, a su vez, requerir de nuevos comportamientos.



**Figura 70 – Útil para el ejemplo**

La Figura 71 muestra la representación del modelo en el marco B-FES según el esquema de representación de diseños descrito en el punto 3.5. El nivel de funciones viene expresado por la taxonomía del NIST, por lo que el requisito de limpiar queda definido como “*branch / separate / remove*”, mientras que el requisito de ser movido por un operario se expresa como “*channel / guide / translate*”. De estas dos funciones derivan los comportamientos, que expresados en términos del modelo B-Cube son (2, 1, 1) y (1, 1, 2) respectivamente. (2, 1, 1) se refiere a que el comportamiento afecta a la conexión topológica de las estructuras ( $x = 2$ ), a través de un proceso continuo (acumulativo)

no repetitivo (no homeomérico) ( $y = 1$ ), dónde dicha conexión topológica se encuentra al principio, estado inicial, y se pierde a través del comportamiento ( $z = 1$ ). Por su parte, (1, 1, 2) implica un comportamiento que afecta a la localización espacial ( $x = 1$ ), de un modo igual al anterior, es decir, a través de un proceso acumulativo y no homeomérico ( $y = 1$ ), con indiferencia del sentido en que se ve afectada dicha localización espacial, es decir, estado inmutable ( $Z = 2$ ). El nivel de comportamientos se ve completado con el estado continuo ( $y = 2$ ) de pérdida ( $z = 1$ ) de conexión topológica ( $x = 2$ ) producida por la corrosión del medio, expresado como (2, 2, 1), y también con el estado (acumulativo y homeomérico) de mantener separada la localización espacial de los componentes que requieren actuar en los dos medios diferentes (tierra y agua), definido como (1, 2, 1). El esquema se ve completado por el nivel de las estructuras, donde se ve que el útil está formado por una tubería (*pipe*) que lleva unidos un cepillo (*brush*) y un mango (*handle*).



**Figura 71 - Desarrollo del modelo en el marco B-FES**

### 5.3.2 Principio de idealidad

Esta herramienta, conocida también como IFR por su acrónimo en inglés (Ideal Final Result), se debe tener en cuenta antes de comenzar el desarrollo del modelo, pues más bien consiste en un

replanteamiento del problema. En nuestro ejemplo, el diseñador pide un útil para limpiar los cascos de los barcos manejado por un operario. Según el principio de idealidad, se debe partir de aquello que es lo más óptimo: que el barco se limpie solo (Figura 72). A partir de este punto, y puesto que de momento se ve imposible de alcanzar, se puede ir hacia atrás por diferentes ramas que nos permiten acercarnos a la idealidad. Por un lado, se puede ver que si no se incrusta suciedad al casco del barco no hace falta limpiarlo, lo que puede requerir de impregnar el casco con algún aditivo para evitar que se incruste la suciedad o que se incruste con menor fuerza. Mientras que otro camino puede ser el de reducir el esfuerzo del operario, es decir, sustituyendo o auxiliando al operario por otro medio de mover el útil.

Con esto se comprueba que lo que se ha cambiado con el principio de idealidad son los parámetros de entrada o requisitos de diseño. En el primero de los casos vemos como hemos eliminado la función “*remove*” referida a quitar la suciedad por otra referida a añadir un aditivo, “*couple*”. Por su parte, en el segundo de los casos hemos modificado (o eliminado) la restricción “*worker*”, definida por el enunciado como el sujeto que mueve el útil. Por tanto, con esta herramienta lo que hemos conseguido es un enunciado nuevo, que posiblemente nos conducirá a una solución mejor, pero que lo que ha modificado es la entrada en el sistema. Así pues, esta herramienta se considera de mucha utilidad para ayudar al diseñador sobre que parámetros de entrada debe introducir en el sistema, pero no sirve una vez definidos los objetivos y puesto en marcha el proceso de diseño.

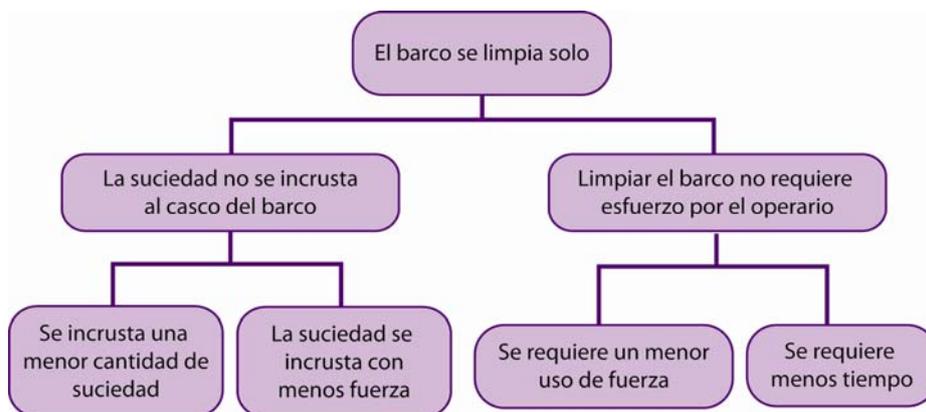


Figura 72 - Aplicación del principio de idealidad

El principio de idealidad se presenta como una herramienta a utilizar antes de la fase de diseño. Por tanto, es lógico prever que no puede valer para su automatización conjunta con el diseño funcional, pues actúa sobre el planteamiento del problema, y no sobre la resolución de mismo. En este caso solo sirve para proporcionar la información al diseñador sobre cómo plantear correctamente el enunciado del problema de diseño al sistema.

### **5.3.3 Líneas de evolución**

Esta herramienta no se puede aplicar durante el proceso de diseño, puesto que consiste en analizar el diseño acabado con la finalidad de optimizarlo en conjunto o alguna de sus partes. Como consecuencia debe ser aplicada sobre un diseño anterior antes del proceso de diseño, o sobre el diseño final después del proceso de diseño con la intención de mejorar los resultados obtenidos. Esta herramienta se prevé como la de mayor dificultad a la hora de ser vinculada con el diseño funcional, no solo por la cantidad de conocimiento que requiere la metodología, sino también por el elevado número de análisis que se deberían de realizar, pues tanto el útil como todas sus estructuras deberían de ser comparadas con la totalidad de las líneas de evolución (31 en total). Una primera posibilidad que se puede contemplar de cara a optimizar este proceso es el de diferenciar qué líneas de evolución son aplicables sólo a estructuras o partes, es decir, a un solo elemento (por ejemplo: segmentación espacial), cuáles son sólo aplicables a conjuntos de partes, útiles o diseños completos (por ejemplo: moni-bi-poli-varios objetos), y cuáles de ellas pueden ser aplicadas a ambos grupos (por ejemplo: materiales inteligentes). Es decir, la segmentación espacial se refiere a si una parte específica es sólida, porosa o hueca y tiene sentido si se ve esta parte como un todo, no como un conjunto de partes. Por el contrario, la línea moni-bi-poli –varios objetos sólo tiene sentido si nos referimos a la unión de varias partes al conjunto. El resultado de esta primera distinción se muestra en la Tabla 15, donde se puede ver que se puede llegar a reducir el número de análisis en un tercio. Una mayor reducción en el número de análisis puede lograrse estableciendo una relación entre las líneas de evolución y los comportamientos para ver cuáles de ellos son relevantes y cuáles no. Así, si una línea de evolución no presenta relevancia con al menos uno de los comportamientos implicados, dicha línea de tendencia puede ser ignorada.

Para probar esta herramienta se toma la estructura *pipe* del ejemplo. Al tratarse de una estructura podemos reducir el número de líneas a analizar a 20 de las 31 originales, según la diferenciación sugerida en la Tabla 15. En esta tabla la primera columna muestra aquellas líneas de evolución capaces de ser aplicadas a una sola estructura aislada o parte, la segunda se refiere a aquellas líneas que deben ser aplicadas a conjuntos complejos (formados por varias estructuras y con una función objetivo común), mientras que la tercera columna se refiere a aquellas líneas evolutivas que pueden ser aplicadas tanto a las estructuras simples como a los conjuntos. Como consecuencia, el número de líneas a ser analizadas se ha visto reducido a aproximadamente un tercio del inicial gracias a estos dos procesos de filtrado.

**Tabla 15** – Diferenciación de las líneas de evolución en función del elemento al que afectan.

| Estructuras (partes)            | Conjuntos o diseños completos                  | Estructuras y conjuntos                              |
|---------------------------------|--|--|
| Segmentación del objeto.        | Reducción de conversiones de energía de n a 0. | Evolución geométrica de construcciones lineales.     |
| Macro a nano escala.            | Controlabilidad.                               | Evolución geométrica de construcciones volumétricas. |
| Segmentación espacial.          | Reducción de la participación humana.          | Dinamización.  |
| Segmentación superficial.       | Reducción de fronteras.                        | Mono-bi-poly objetos similares.                      |
| Coordinación del ritmo.         | Mono-bi-poly-variados objetos.                 | Incremento de asimetría.                             |
| Coordinación de la acción.      | Mono-bi-poly incremento de diferencias.        | Incremento del uso de color.                         |
| Reducción de la amortiguación.  | Reducción de la complejidad del sistema.       | Materiales inteligentes.                             |
| Punto de diseño.                | Incremento del uso de los sentidos.            | Grados de libertad.                                  |
| Reducción de la densidad.       | Metodología de diseño.                         | No linealidad.                                       |
| Redes y fibras.                 | Objetivo de compra del consumidor.             |  |
| Incremento de la transparencia. | Evolución del mercado.                         |  |

Del esquema de la Figura 71 puede verse que la estructura objeto de análisis está relacionada con el comportamiento (2, 2, 1). Además, como dicha estructura está unida a las estructuras brush y handle, existe un comportamiento inherente oculto para dicha acción que, como ya se explicó en el punto 3.5, queda definido como (2, 2, 3). La Tabla 16 muestra un extracto de la comparativa de las líneas de evolución con los comportamientos para diferenciar aquellos que son relevantes de los que no. La salida del sistema puede consistir en un conjunto de sugerencias específicas para el diseñador.

**Tabla 16 - Selección de las líneas de evolución**

| Línea de evolución        | (2, 2, 3) | (2, 2, 1) | Relevante |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Segmentación del objeto   | ✓         | ✓         | Si        |
| Macro a nano escala.      | ✓         | ✓         | Si        |
| Segmentación espacial.    | X         | ✓         | Si        |
| Segmentación superficial. | X         | ✓         | Si        |
| Coordinación del ritmo.   | X         | X         | No        |
| ...                       |           |           |           |

Las líneas de evolución en este caso actúan una vez finalizada la fase de diseño. Con este uso, la herramienta no se muestra como muy apropiada para su vinculación con el modelo B-Cube para ayudar en el proceso de diseño, puesto que requiere de mucha información inicial, y se deberían de llevar a cabo un elevado número de análisis y cálculos, pues hemos visto que para cada estructura de la solución se deben de analizar aproximadamente 10-12 estados evolutivos, y la información resultante del análisis, al igual que en el caso del principio de idealidad, proporciona información al diseñador de cómo replantear el problema.

Una alternativa para esta herramienta que se está estudiando en la actualidad es la de la creación de árboles de evolución (Chuksin & Shpakovsky, 2006; Shpakovsky, 2003; Shpakovsky *et al.*, 2002a; Shpakovsky & Novitskaya, 2003) específicos para cada empresa, que en este caso actuarían antes de la fase de diseño. Los árboles de evolución son una aplicación concreta de las líneas de evolución que ofrecen la posibilidad de priorizar la inversión en la innovación. La

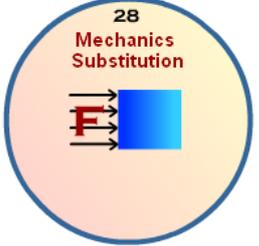
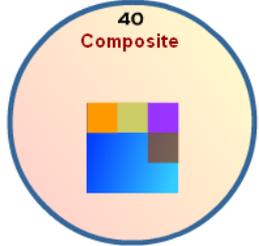
opción de poder crear árboles de evolución aprovechando el marco B-FES y el modelo B-Cube parece interesante para tenerla en cuenta en futuros trabajos, por lo que el tema se tratará con mayor extensión en el capítulo 7- Conclusiones y desarrollos futuros.

#### **5.3.4 Matriz de contradicciones y principios inventivos**

La matriz de contradicciones se puede percibir en un principio como de posible aplicación tanto durante el proceso de diseño, como después del proceso de diseño. Sin embargo, su uso durante el proceso de diseño no es tan sencillo sobre todo si se pretende que trabaje vinculado a un modelo para el modelado del conocimiento como es el B-Cube. El hecho de que un diseñador pueda prever las contradicciones mientras elabora el diseño, parece razonable, pero es muy subjetivo y depende de la experiencia y punto de vista de cada diseñador. Normalmente, la contradicción no es detectada hasta que aparece. Por ejemplo, un diseñador puede deducir que cuanto más largo sea el elemento que una el mango (*handle*) del útil con el elemento que limpia (*brush*), mayor peso tendrá y más difícil será de manipular, pero sin embargo dicho elemento ha de ser largo para poder limpiar todo el casco del barco. Sin embargo es común también que no se perciba la contradicción hasta el momento en que se ubique el tubo (*pipe*), y se vea que para la longitud necesaria marcada por la restricción casco del barco (*hull*) el peso resulta excesivo, y por tanto la manipulación es difícil. Es decir, resulta más fácil detectar las contradicciones (y actuar sobre ellas) cuando el proceso de diseño ya ha concluido.

El modo de identificar estas contradicciones se realiza mediante la comparación de los requisitos impuestos por las restricciones sobre algunos de los atributos de las estructuras. En este caso, los atributos enfrentados son la longitud frente al peso de la estructura *pipe*. Como se puede apreciar, estos dos atributos se corresponden con sendos parámetros de la matriz de contradicciones. La matriz nos guía hasta cuatro principios inventivos, que se muestran en la Tabla 17.

**Tabla 17** – Principios que solventan la contradicción longitud-peso de un objeto

| Principio   | Explicación  |
|---|--|
|    | <p>Sustitución de la mecánica: Sustituir las partes mecánicas de la estructura por otras que lleven a cabo la misma función. En este caso, al ser el tubo completamente mecánico, la opción pasa por la sustitución de la estructura por otra no mecánica. Las búsquedas por campos mostradas en el punto anterior pueden guiarnos hacia la estructura objetivo. Ejemplo: un campo electromagnético puede mantener ambos elementos a la distancia deseada.</p> |
|   | <p>Fluido: Utilizar gases o líquidos para sustituir partes mecánicas. Al igual que el anterior, la estructura es completamente mecánica. Una solución intuitiva es hacer el tubo hueco (relleno de aire), pero para que el sistema pudiera considerar la opción debería de existir en la base de datos una estructura “tubo hueco” diferenciada de la estructura “tubo”.</p>   |
|  | <p>Cambio de parámetro: El sistema buscará estructuras iguales pero de diferente material, cuyos atributos “longitud” y/o “peso” mejoren según nuestro propósito, a cambio de perder en propiedades de otros atributos (parámetros) del mismo, como pueden ser la rigidez o la elasticidad.</p>  |
|  | <p>Compuestos: El sistema buscará estructuras iguales pero de materiales compuestos (aleaciones, fibras, etc.), de modo que los atributos “longitud” y/o “peso” mejoren.</p>   |

La matriz de contradicciones y los principios inventivos funcionan en un sistema automatizado como una herramienta de aplicación posterior a la fase de diseño. Igualmente, se ha visto en este punto que actúa sobre los atributos de las estructuras. En este caso se ve factible su vinculación con el KBS a través de dichos atributos, mientras que deberá de ser una herramienta de evaluación la que indique sobre qué estructuras hay que realizar dicho análisis de atributos en busca de contradicciones. Esta conclusión permite abrir una nueva línea de investigación, consistente en la elaboración de un módulo de análisis y optimización de soluciones a través de la presente herramienta de TRIZ, que puede estar vinculado igualmente con el modelo B-Cube, diferente del planteamiento actual que se refiere únicamente al auxilio en el proceso de diseño. Las posibilidades de esta nueva línea de investigación se muestran en el capítulo 7 - Conclusiones y desarrollos futuros.

### **5.3.5 Bases de datos de funciones**

Puesto que las búsquedas de información trabajan con bases de datos, la herramienta de bases de datos de funciones parece adecuada para proporcionar la información necesaria para mejorar el proceso de diseño si se logra vincular éste con el sistema de búsqueda de información de la herramienta. Para analizar este caso se utiliza la base de datos de funciones que aparece en el programa informático *Creax Innovation Suite*. Lo primero en que nos fijamos es en que dicha herramienta pide como entradas la función a realizar y el elemento sobre el que actúa, esto es, la estructura o restricción con la que interactúa. Como se ha visto en el esquema B-FES, estos elementos no están directamente relacionados con las funciones, más abstractas, sino que van relacionadas a los comportamientos. Esto induce a pensar que la denominada base de datos de funciones por *Creax* tiene una mayor semejanza con una base de datos de comportamientos, según el modelo B-FES.

Siguiendo con el ejemplo, se toma para analizar el comportamiento (2, 1, 1), que aparece vinculado a la restricción *dirt* contenida en la restricción *hull* en el medio *salt water*. Se puede deducir que el resultado de la aplicación de la base de datos de funciones será la estructura capaz de llevar a cabo dicho comportamiento, por lo que esta es una herramienta a emplear durante el desarrollo del modelo. Este comportamiento, junto con las restricciones vinculadas a él, se puede expresar como “un proceso mediante el cual la suciedad pierda

su conexión topológica con el casco del barco, que se encuentra sumergido en el mar”. Al acceder manualmente a la base de datos de funciones de la aplicación *Creax Innovation Suite*, esta definición es asimilable tanto al término *clean* (limpiar, separar o quitar impurezas) como a *polish* (pulir, separar o quitar la capa superficial irregular). Además, la suciedad (*dirt*), que es aquello que queremos quitar, añade la condición de sólido. De esto podemos deducir que, para combinar esta aplicación con el diseño funcional se hace necesario, por un lado establecer una correlación entre las taxonomías del modelo B-Cube y la empleada por la aplicación de TRIZ que vayamos a utilizar para identificar sus funciones, con la desventaja de que cada aplicación de TRIZ posee su propia taxonomía de funciones. Y, por otro lado, la base de datos de estructuras (y de restricciones) del sistema deberá incorporar información sobre el estado físico (sólido, líquido, gas o campo) de cada estructura para que la librería de TRIZ sea capaz de recuperarla y aplicarla en la base de datos de funciones.

Al cruzar estos parámetros, las funciones *clean* y *polish* y el estado sólido de la suciedad, en la herramienta de TRIZ, se obtiene una batería combinada de 40 posibles soluciones. Obviamente, el número de posibles soluciones es muy elevado, y se puede observar que no todas van a ser aplicables al caso. Por ejemplo, la explosión no es posible, pues dañaríamos el casco del barco, aplicar un disolvente no parece muy factible, pues el medio líquido del mar diluiría su concentración (aparte de ser dañino para el medio ambiente), o quemar tampoco es conveniente por ambas razones, barco y mar. Así pues, la aplicación de esta herramienta de TRIZ requerirá de un método de filtrado de soluciones para determinar cuáles son viables y cuáles no. Como hemos podido ver, el resto de restricciones afectadas y el mismo medio sirven como condiciones para efectuar este filtrado. En este caso, la función debe de poder realizarse dentro de un medio líquido y no debe dañar al barco. Con las funciones resultantes del filtrado es con las que se deberá acceder nuevamente a la base de datos de estructuras, para ver que estructuras son capaces de llevar a cabo dichas funciones y devolverlas al sistema.

Para el caso del ejemplo podemos ver la variedad de soluciones viables que surgen de la aplicación de la herramienta: Cepillo (ya existente en el modelo original), cavitación acústica, lijadora; aunque también existen otras teóricamente viables, pero más difíciles de aplicar: campos magnéticos, electrolisis, etc.

La aplicación de las bases de datos de funciones se puede realizar durante la misma fase de diseño, por lo que presenta un mayor grado de idoneidad para su automatización. Esta herramienta se puede asimilar a las bases de datos con las que funcionan los KBS. Aunque las bases de datos de funciones ya sean en sí una base de datos, las diversas fuentes consultadas no proporcionan una taxonomía común, por lo que falta un mejor análisis para determinar cuál de ellas es la óptima. También presenta el problema del filtrado de las soluciones, por lo que se requerirá de una herramienta de evaluación creada para tal efecto y con la misma taxonomía.

### 5.3.6 *Su-Fields*

Para actuar con la herramienta de los campos-sustancia lo primero es fijarse en la fácil asimilación de los comportamientos con los campos y de las estructuras y restricciones con las sustancias. Con todo ello, al igual que en el punto anterior, se requiere establecer una correlación entre la taxonomía del modelo B-Cube y la correspondiente a los campos. La ventaja de los Su-Field frente a las bases de datos de funciones en este aspecto es que todas las aplicaciones de TRIZ usan los mismos campos (Belski, 2007), mientras que cada una tiene su base de datos de funciones diferente, por lo que se puede establecer una correlación de términos única. Además, el hecho de que existan cinco reglas predefinidas para resolver los conflictos en un diagrama Su-Field induce a prever que será más fácil su implementación.

Siguiendo con el ejemplo anterior, partimos de la suciedad, que es lo que deseamos eliminar. Según la solución general de la regla 1, si tenemos una sustancia  $S_1$  es necesario añadir una sustancia  $S_2$  al sistema que genere un campo  $F_1$  para que influya sobre la sustancia  $S_1$  en el modo en que deseamos (Figura 73a). En este caso tenemos un paso más avanzado, pues ya sabemos que el comportamiento asimilable al campo es el (2, 1, 1). Las dos primeras columnas de la Tabla 18 muestran los campos y sub-campos capaces de llevar a cabo este comportamiento.

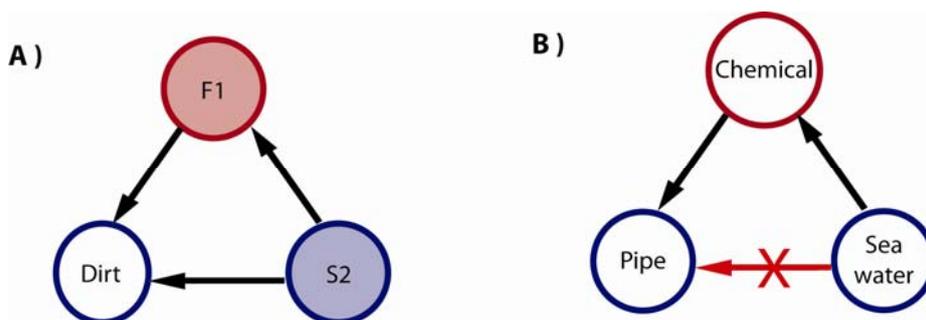
**Tabla 18** – Campos aplicables al ejemplo y soluciones que pueden proporcionar

| Campo                 | Sub-campo          | Ejemplo solución         | Viabilidad                |
|-----------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|
| <b>Mecánico</b>       | Fricción           | Cepillo<br>Lijadora      | Viable<br>Viable          |
|                       | Contacto directo   | Buzo                     | Viable,<br>más<br>costoso |
|                       | Vibración          | Vibrar el barco          | Inviabile                 |
|                       | Shocks             | Sacudir el barco         | Inviabile                 |
|                       | Procesado mecánico | Fresadora                | Difícil                   |
| <b>Acústico</b>       | Cavitación         | Cavitación               | Viabile                   |
| <b>Térmico</b>        | Fuego              | Fuego                    | Inviabile                 |
| <b>Químico</b>        | Disolventes        | Disolvente               | Inviabile                 |
| <b>Intermolecular</b> | Evaporación        | Resistencia<br>Convector | Inviabile<br>Inviabile    |
| <b>Biológico</b>      | Seres vivos        | Peces come-suciedad      | Muy difícil               |
|                       | Bacterias          | Bacterias come-suciedad  | Muy difícil               |

En este caso, el número de campos-solución es de 11, número bastante más reducido que en el caso de la base de datos de funciones, lo cual conlleva a un proceso de análisis más reducido. Así pues, aprovechando la idea de utilizar las restricciones y medios relacionados como condiciones para efectuar el filtrado, se puede comprobar que también se producen casos de soluciones inviables, viables y teóricamente viables pero difíciles de aplicar, como aparece detallado en la Tabla 18. Para poder llevar a cabo la vinculación de esta herramienta de TRIZ con el diseño funcional será necesario además añadir a la base de datos de estructuras del sistema información sobre qué estructuras son capaces de cumplir con cada sub-campo. También será necesario, al igual que en el caso anterior, el crear un sistema de filtrado fiable.

El resto de reglas para resolver conflictos que nos proporciona la herramienta Su-Fields permite, además de la búsqueda de estructuras-solución para nuestro diseño, el resolver los conflictos que vayan surgiendo durante la elaboración del mismo. Esto podemos comprobarlo tomando como ejemplo el modo en el que el agua salada afecta a los componentes del útil (Figura 73b). Como se puede observar, en este caso la herramienta se aplica después del proceso de diseño, y no al mismo tiempo como hemos visto en el ejemplo anterior. En este caso será necesario, además, establecer qué regla será más conveniente utilizar para solucionar el sistema, lo cual puede hacer más compleja la vinculación de la herramienta. También se hará necesario diferenciar entre qué campos (o comportamientos) son deseados y cuáles causan conflictos.

Así pues, vemos como la regla 1 no se puede aplicar, pues el agua salada es una restricción del medio y no puede ser sustituida. También vemos que la regla 2 no se puede aplicar, pues modificar el agua del mar resulta inviable, tanto por su cantidad como por sus implicaciones medioambientales. La regla 3 sí que puede ser aplicada, pues sí que parece viable añadir un elemento a nuestro diseño que modifique una parte del diseño. Del mismo modo, la regla 4 puede ser aplicada desde el punto de vista de que el elemento intermedio que añadamos modifique a la parte del diseño (*pipe*) y no a la restricción (*sea water*). La regla 5 no podrá ser aplicada por el mismo motivo de que modificar el agua del mar resulta inviable. A partir de este ejemplo se puede deducir que el criterio principal que determinará si una regla se puede o no se puede aplicar vendrá determinado por si el elemento a modificar es una estructura o una restricción. Este criterio debería ser fácilmente evaluable en un KBS.



**Figura 73 - A) Solución genérica aplicando la regla 1 de los Su-Fields. B) Efecto nocivo de la restricción "sea water" sobre la estructura "pipe"**

La herramienta de los Su-Fields también es de aplicación durante la misma fase de diseño y asimilable del mismo modo a una base de datos, pero presenta como ventaja respecto a la anterior herramienta una taxonomía de campos única, perfectamente vinculable y asimilable al nivel de los comportamientos. En este caso, la misma información de qué campos se asimilan a cada comportamiento puede estar implícita dentro de la misma base de datos de los comportamientos, como un atributo más de los mismos. En lo referente a sustancias, éstas se corresponden con las estructuras y restricciones.

#### **5.4 Puntos débiles del uso de las RFB para la vinculación con TRIZ**

La vinculación del modelado del diseño funcional con una herramienta basada en TRIZ requiere un marco común de trabajo, que se ha definido como el B-FES. Para lograr dicha integración se debe trabajar con una taxonomía común e inequívoca para todas las librerías. El NIST (Hirtz *et al.*, 2002) ofrece una reconciliación de las taxonomías funcionales más relevantes hasta el momento en el ámbito de la ingeniería de diseño, entre ellas las 30 relacionadas con el diseño mecánico proporcionadas por Altshuller (1984), presentando una taxonomía de flujos y otra de funciones organizadas a tres niveles, señalando sus correspondencias a modo de sinónimos. A pesar de que el modelo del NIST tiene en cuenta las funciones proporcionadas por Altshuller, existen un par de inconvenientes que nos impiden efectuar una relación directa NIST-TRIZ de un modo sencillo:

- 1) Las funciones tomadas de TRIZ solo tienen en cuenta el diseño mecánico, mientras que se desea un nivel más amplio de aplicación, puesto que TRIZ puede trabajar en todos los ámbitos de la ciencia.
- 2) Dichas funciones datan de 1984 y han sufrido una considerable evolución desde esas fechas, tanto en número como en terminología.

Esto nos lleva a la necesidad de realizar un mayor análisis a las funciones en que se basa TRIZ. Con esta finalidad se ha utilizado como fuente de funciones de TRIZ la base de datos de funciones proporcionada por Creax vista en la Figura 62 en el punto 5.2, que en principio presenta ciertas similitudes en cuanto a términos y modo de

funcionamiento con la propuesta del NIST. Esta base de datos consiste en una enciclopedia de soluciones ligadas a funciones y cuenta con 37 distintas funciones primarias. Cada una de estas funciones proporciona diversas formas de cumplir la función vinculada a un estado: sólido, líquido, gas o campo; que resulta similar al empleo de los flujos del NIST. Estas formas de cumplir una función, relacionándolas con el esquema B-FES, pueden representar tanto a sub-funciones como a comportamientos. La misma base de datos de *Creax* apunta hacia una base de datos de atributos (en construcción a fecha de hoy), que proporciona un conjunto de formas de cumplir con una de las cinco funciones: *incrementar*, *disminuir*, *estabilizar*, *cambiar* y *medir*; relacionada con uno de los 26 atributos (equivalentes a las cualidades físicas) definidos en la misma aplicación. El total inicial de funciones primarias suma en este caso 42, 37 procedentes de la base de datos de funciones más 5 de la base de datos de atributos. Este total es el que se tiene en cuenta para establecer la correlación de términos entre la RFB del NIST y TRIZ.

La Tabla 19 muestra la correspondencia entre la taxonomía propuesta por el NIST (a la izquierda) y las funciones de TRIZ provenientes de la base de datos de funciones de *Creax* (a la derecha). Los vocablos han sido conservados en su inglés original para evitar una pérdida de información en la traducción. El NIST, recordemos, propone una taxonomía de funciones organizadas en tres niveles. El primer nivel presenta ocho familias de funciones, las funciones primarias, de donde surgen las diferentes ramas correspondientes a las funciones secundarias y a las terciarias. Así, la acción de dividir se corresponde con el término *divide*, dentro del grupo *separate*, el cual pertenece a la familia de *branch*.

**Tabla 19** - Correspondencia de los términos de las RFB del NIST con las funciones de TRIZ tomadas de la base de datos de *Creax* (en cursiva los términos repetidos).

| Función<br>1 <sup>aria</sup> | Función<br>2 <sup>aria</sup> | Función<br>3 <sup>aria</sup> | Base de datos de CREAX                 |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| <b>Branch</b>                | <b>Separate</b>              |                              | <i>Decompose; Separate; Break down</i> |
|                              |                              | <b>Divide</b>                | <i>Decompose</i>                       |
|                              |                              | <b>Extract</b>               | Extract; Clean; Dry                    |
|                              |                              | <b>Remove</b>                | <i>Remove; Polish; Corrode;</i>        |

| <b>Función<br/>1<sup>aria</sup></b> | <b>Función<br/>2<sup>aria</sup></b> | <b>Función<br/>3<sup>aria</sup></b> | <b>Base de datos de CREAX</b>                            |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
|                                     |                                     |                                     | <i>Erode</i>   |                                     |
|                                     | <b>Distribute</b>                   |                                     |  |                                     |
| <b>Channel</b>                      | <b>Import</b>                       |                                     | <i>Deposit</i>   |                                     |
|                                     | <b>Export</b>                       |                                     | <i>Destroy; Remove; Eliminate; Corrode; Erode; Clean</i> |                                     |
|                                     | <b>Transfer</b>                     |                                     |  | <i>Sublimate; Wear</i>              |
|                                     |                                     | <b>Transport</b>                    |  | <i>Move; Lift</i>                   |
|                                     |                                     | <b>Transmit</b>                     |  |                                     |
|                                     | <b>Guide</b>                        |                                     |  | <i>Bend; Vibrate</i>                |
|                                     |                                     | <b>Translate</b>                    |  | <i>Move</i>                         |
|                                     |                                     | <b>Rotate</b>                       |  | <i>Rotate</i>                       |
| <b>Allow DOF</b>                    |                                     |                                     |  |                                     |
| <b>Connect</b>                      | <b>Couple</b>                       |                                     | <i>Assemble</i>  |                                     |
|                                     |                                     | <b>Join</b>                         | <i>Assemble; Embed; Join</i>                             |                                     |
|                                     |                                     | <b>Link</b>                         |  |                                     |
|                                     | <b>Mix</b>                          |                                     | <i>Mix</i>   |                                     |
| <b>Control<br/>magnitude</b>        | <b>Actuate</b>                      |                                     |  |                                     |
|                                     | <b>Regulate</b>                     |                                     |  |                                     |
|                                     |                                     | <b>Increase</b>                     | <i>Increase</i>  |                                     |
|                                     |                                     | <b>Decrease</b>                     | <i>Decrease; Drop</i>                                    |                                     |
|                                     | <b>Change</b>                       |                                     |  |                                     |
|                                     |                                     | <b>Increment</b>                    |  | <i>Heat; Spread; Sublimate; Wet</i> |
|                                     |                                     | <b>Decrement</b>                    |  | <i>Cool; Dry</i>                    |
|                                     |                                     | <b>Shape</b>                        |  | <i>Bend; Flatten</i>                |
|                                     |                                     | <b>Condition</b>                    |  |                                     |
|                                     | <b>Stop</b>                         |                                     |  | <i>Break down</i>                   |
| <b>Prevent</b>                      |                                     |                                     | <i>Prevent</i>   |                                     |
| <b>Inhibit</b>                      |                                     |                                     | <i>Preserve; Prevent; Protect</i>                        |                                     |
| <b>Convert</b>                      |                                     |                                     | <i>Change phase of melt; Freeze; Evaporate;</i>          |                                     |

| Función 1 <sup>aria</sup> | Función 2 <sup>aria</sup> | Función 3 <sup>aria</sup> | Base de datos de CREAM         |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
|                           |                           |                           | Condense; Melt; <i>Produce</i> |
| Provision                 | Store                     |                           | Accumulate; <i>Preserve</i>    |
|                           |                           | Contain                   | <i>Protect</i>                 |
|                           |                           | Collect                   | Absorb                         |
|                           | Supply                    |                           | <i>Deposit; Produce</i>        |
| Signal                    | Sense                     |                           |                                |
|                           |                           | Detect                    | Detect                         |
|                           |                           | Measure                   | <i>Locate</i>                  |
|                           | Indicate                  |                           |                                |
|                           |                           | Track                     |                                |
|                           |                           | Display                   |                                |
| Process                   |                           |                           |                                |
| Support                   | Stabilize                 |                           | Stabilize                      |
|                           | Secure                    |                           | Hold; <i>Embed; Deposit</i>    |
|                           | Position                  |                           | <i>Locate; Orient</i>          |

La principal dificultad encontrada para su aplicación práctica radica en el hecho de que no se puede establecer una correlación directa uno es a uno. Por este motivo nos encontramos con cuatro casos a la hora de establecer las relaciones entre los diferentes términos:

- 1) Relación directa: La función en TRIZ tiene el mismo nombre que en la clasificación de las funcional basis del NIST. P. ej: *Extract*.
- 2) Relación indirecta: La función en TRIZ no comparte el mismo nombre que la función proporcionada por el NIST, pero se puede establecer una correspondencia directa de significados. P. ej: *Polish* (TRIZ) – *Remove* (NIST).
- 3) Relación 1:2: La misma función en TRIZ puede ser relacionada con dos funciones diferentes que aparecen en las funcional basis. P. ej: *Move* (TRIZ) – *Translate* (NIST) y *Move* (TRIZ) – *Transport* (NIST).
- 4) Sin relación: La función de TRIZ no tiene una correspondencia directa con ninguna función de las funcional basis del NIST,

por lo que debe ser asignada a alguna por aproximación. En este caso solo nos encontramos con *Vibrate* (TRIZ), que por similitud a otras funciones (*Move*, *Rotate*) ha sido vinculada a *Guide* (NIST).

Una vez creada la correspondencia de las funciones de TRIZ con la taxonomía proporcionada por el NIST se observan dos dificultades básicas para completar la vinculación. La primera de ellas es la cantidad de “sinónimos” con la que nos podemos encontrar en algunos casos, que puede causar una pérdida de información al trasladar los términos. La segunda es la carencia de funciones de TRIZ para corresponder a todas las existentes en las RFB del NIST, por lo que se deberá buscar una solución para completar dichos “vacíos”. Por otra parte, se ha observado que las herramientas de TRIZ trabajan en un nivel de concreción bastante más elevado que el que poseen las RFB del NIST por si solas.

## 5.5 Taxonomías de comportamientos de TRIZ

La conclusión del punto anterior nos indica que la vinculación de TRIZ con el diseño funcional debe realizarse en la capa de comportamientos, y que el modelo para establecer las correlaciones necesarias debe ser más concreto que las RFB. En este punto, el modelo B-Cube es el propuesto para solventar las deficiencias de las RFB señaladas en el punto anterior. Para ello se necesitará definir la taxonomía de comportamientos de TRIZ que será empleada para establecer las correlaciones entre términos. En este caso, en lugar de utilizar una base de datos de funciones se utilizará la herramienta de los campos sustancia (*Su-Fields*), que también ha sido clasificada como viable para su vinculación en el punto 5.3, por dos motivos. El primero de ellos es que las similitudes presentadas entre las bases de datos de funciones de TRIZ y las RFB no se presentan a un nivel tan elevado con el modelo B-Cube, mientras que el segundo deriva de que la herramienta *Su-Fields* presenta una taxonomía de campos única, perfectamente vinculable y asimilable al nivel de los comportamientos, y por tanto al modelo B-Cube.

La Tabla 20 muestra la taxonomía de los campos a tres niveles. El primer nivel es el común a toda la bibliografía de TRIZ, son los 8 campos estandarizados. El tercer nivel procede de las acciones específicas englobadas dentro de cada campo, según la recopilación realizada por Belski (2007). El segundo nivel consiste en unas

agrupaciones de los términos del nivel terciario según su similitud elaboradas en el presente trabajo de Tesis con el objetivo de estructurar la taxonomía en un orden más concreto

**Tabla 20** – Taxonomía de los campos

| Primary field | Secondary field | Tertiary field        |
|---------------|-----------------|-----------------------|
| Mechanical    | Direct          | Gravitation           |
|               |                 | Collision             |
|               |                 | Friction              |
|               |                 | Direct contact        |
|               | Alternate       | Vibration             |
|               |                 | Resonance             |
|               |                 | Shocks                |
|               |                 | Waves                 |
|               | Flow            | Gas dynamics          |
|               |                 | Fluid dynamics        |
|               |                 | Wind                  |
|               |                 | Compression           |
|               |                 | Vacuum                |
|               | Process         | Mechanical treatment  |
|               |                 | Mechanical processing |
|               | Modify          | Deformation           |
| Mixing        |                 |                       |
| Additives     |                 |                       |
| Explosion     |                 |                       |
| Acoustic      | Acoustic        | Sound                 |
|               |                 | Ultrasound            |
|               |                 | Infrasound            |
|               |                 | Cavitation            |
| Thermal       | Low Gradient    | Heating               |
|               |                 | Cooling               |
|               |                 | Insulation            |
|               |                 | Thermal expansion     |
|               | Change          | Phase change          |
|               |                 | State change          |
|               |                 | Endothermic reaction  |
|               |                 | Exothermic reaction   |
|               | High gradient   | Fire                  |
|               |                 | Burning               |
|               |                 | Heat radiation        |
|               |                 | Convection            |
| Freeze (*)    |                 |                       |
| Chemical      | Elements        | Reactions             |

| Primary field        | Secondary field     | Tertiary field             |                                 |
|----------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------------|
|                      |                     | Reactants                  |                                 |
|                      |                     | Elements                   |                                 |
|                      |                     | Compounds                  |                                 |
|                      | Modifiers           |                            | Catalysis                       |
|                      |                     |                            | Inhibitors                      |
|                      |                     |                            | Indicators (pH)                 |
|                      | Structure change    |                            | Dissolving                      |
|                      |                     |                            | Crystallisation                 |
|                      |                     |                            | Polymerisation                  |
|                      | Propriety change    |                            | Odour                           |
|                      |                     |                            | Taste                           |
|                      |                     |                            | Colour                          |
|                      |                     |                            | pH                              |
| Other parameters ( ) |                     |                            |                                 |
| Electric             | Electricity         | Electrostatic charges      |                                 |
|                      |                     | Conductors                 |                                 |
|                      |                     | Insulators                 |                                 |
|                      | Field               |                            | Electric field                  |
|                      |                     |                            | Electric current                |
|                      | Effects             |                            | Superconductivity               |
|                      |                     |                            | Electrolysis                    |
|                      |                     |                            | Piezo-electrics                 |
|                      | Particle            |                            | Ionisation                      |
|                      |                     |                            | Electrical discharge            |
|                      |                     |                            | Sparks                          |
|                      | Magnetic            | Field                      | Magnetic field                  |
| Forces and particles |                     |                            |                                 |
| Induction            |                     |                            |                                 |
| Waves                |                     |                            | X-ray                           |
|                      |                     |                            | Microwaves                      |
|                      |                     |                            | Other Electromagnetic waves ( ) |
| Property             |                     |                            | Optics                          |
|                      |                     |                            | Vision                          |
|                      |                     |                            | Colour change                   |
|                      | Translucence change |                            |                                 |
| Intermolecular       | Particles           | Subatomic (nano) particles |                                 |
|                      |                     | Capillary                  |                                 |
|                      |                     | Pores                      |                                 |
|                      | Reactions           |                            | Nuclear                         |
|                      |                     |                            | Radiation                       |
|                      |                     |                            | Fusion                          |
|                      |                     |                            | Emission                        |

| Primary field | Secondary field | Tertiary field             |
|---------------|-----------------|----------------------------|
|               | Effects         | Laser                      |
|               |                 | Intermolecular interaction |
|               |                 | Surface effects            |
|               |                 | Evaporation                |
| Biological    | Active          | Microbes                   |
|               |                 | Bacteria                   |
|               |                 | Living organisms           |
|               | Passive         | Enzymes                    |
|               |                 | Cells                      |
|               |                 | Fungi                      |
|               |                 | Plants                     |
|               |                 |                            |

La correspondencia de términos entre campos y comportamientos resultante no es uno a uno, sino que existe una serie de campos capaces de cumplir con un comportamiento dado, del mismo modo que un campo puede cumplir con diversos comportamientos. Esto es, por ejemplo el campo “*thermal, high gradient, fire*” sirve para cumplir con los comportamientos (2, 1, 1), proceso de pérdida de conexión topológica, y (3, 2, 3) estado de incremento energético. Del mismo modo, el comportamiento (3, 2, 3) puede ser cumplido por diversos campos, como son: “*thermal, low gradient, heating*”; “*thermal, change, phase change*”; “*thermal, high gradient, fire*”; “*thermal, high gradient, burning*”; “*thermal, high gradient, heat radiation*”; “*thermal, high gradient, convection*”; “*electric, field, electric current*”; “*electric, particle, electrical discharge*”; “*magnetic, field, induction*”; “*magnetic, waves, microwaves*”; “*intermolecular, effects, evaporation*”.

Por tanto surge una matriz con los valores del modelo B-Cube en el eje de las abscisas y los términos de tercer nivel de la taxonomía de los campos en el de ordenadas. Esto nos da una matriz de 60x91, donde los valores de su interior son todo ceros y unos en función de si el comportamiento y el campo tienen relación (1) o no (0). La matriz completa, de la que se muestra un extracto en la Tabla 21, se presenta completa en el anexo 2 de la Tesis.

**Tabla 21** – Extracto de la matriz de correspondencias campos – comportamientos.

| Tertiary field        | (1,1,1) | (1,1,2) | (1,1,3) | (1,2,1) | (1,2,2) | (1,2,3) | (1,3,1) |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Gravitation           | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 1       | 0       |
| Collision             | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Friction              | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Direct contact        | 0       | 1       | 0       | 0       | 1       | 0       | 1       |
| Vibration             | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Resonance             | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Shocks                | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Waves                 | 1       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Gas dynamics          | 0       | 1       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       |
| Fluid dynamics        | 0       | 1       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       |
| Wind                  | 0       | 1       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       |
| Compression           | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Vacuum                | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       |
| Mechanical treatment  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Mechanical processing | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Deformation           | 1       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Mixing                | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Additives             | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Explosion             | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |

La matriz de correspondencias entre los campos y los comportamientos sirve para realizar búsquedas y poder combinar el diseño funcional en un esquema B-FES con la herramienta de TRIZ de Su-Fields. Así, en el sistema de modelado defendido hasta el momento, una vez introducidas las funciones en términos de las RFB, empleadas para representar el nivel de funciones en los ejemplos, éstas pueden ser traducidas a comportamientos en términos de B-Cube (Tabla 6), y gracias a la matriz presentada en este punto sabemos qué campos cubren éstas necesidades. A partir de este punto se puede realizar la doble búsqueda de sustancias-estructuras correspondientes a cada campo y que cumplan con el comportamiento dado, con lo que se pueden completar todos los niveles del esquema B-FES para la representación de un modelo dado.

Para facilitar estas búsquedas se propone que las estructuras contenidas en la base de datos tengan como un tipo de atributos aquellos comportamientos que sean capaces de llevar a cabo. Por

ejemplo, en el caso de un soplete éste puede ser utilizado para soldar (2, 1, 3), calentar (3, 2, 3), encender algo (3, 4, 3), expandir un metal (4, 2, 3), o incluso puede ser utilizado como señal luminosa (5, 2, 1). Del mismo modo, los campos van a ser otro de los atributos incluidos dentro de las estructuras de la base de datos, y por tanto la estructura buscada debe de ser capaz de cumplir tanto con el comportamiento como con el campo. Siguiendo con el ejemplo, el comportamiento (3, 4, 3) se corresponde con los campos *collision*, *exothermic reaction*, *fire*, *heat radiation*, *sparks*, *emission* y *laser*. El soplete, por su parte, va a tener asociados los campos *mechanical processing*, *deformation*, *heating*, *burning*, *fire*, *heat radiation*, *thermal expansion* y *vision*.

Sin embargo, lo más interesante de este planteamiento no es el hecho de poder realizar búsquedas cruzadas, sino que radica en el hecho de poder aplicar las cinco reglas de los Su-Fields para poder resolver el proceso de diseño. Por ejemplo, podemos ver que el planteamiento para la evolución de los diseños empleado hasta ahora es realmente muy similar a la regla número uno, es decir, teniendo una sustancia objeto se le debe asociar una sustancia sujeto que genere un campo para afectar a la sustancia objeto en el modo deseado. Teniendo cual o cuales pueden ser esos campos gracias a la correlación de los comportamientos con los campos, se puede realizar la búsqueda para encontrar la sustancia sujeto, que es la estructura-solución.

Para visualizarlo mejor, si recordamos la Figura 73, la sustancia objeto es la restricción *dirt*. Con la regla uno sabemos que se le debe aplicar una sustancia sujeto, que es la estructura-solución, capaz de generar un campo en concreto. Dicho campo o campos los podemos obtener, gracias a que sabemos que el comportamiento en ese punto es el (2, 1, 1) (Figura 71). Por tanto, de la tabla de correspondencias campos – comportamientos (Anexo 2) sacamos todos los campos posibles de entre los cuales la estructura-solución debe de ser capaz de cumplir con al menos uno, además de con el citado comportamiento. Del mismo modo, se defiende que el resto de las reglas de los Su-Fields pueden ser aplicadas del mismo modo, e incluso se puede lograr su implementación mediante librerías de algoritmos a un sistema para la resolución del proceso de diseño.

## 5.6 Desarrollo de un diseño de un útil para escribir integrando Su-Fields con el modelo B-Cube

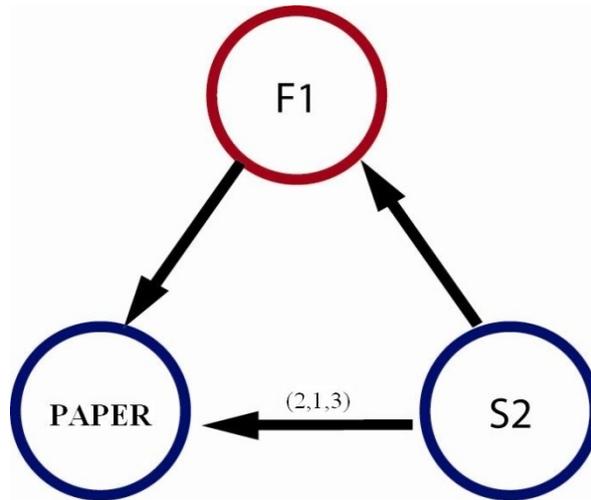
Para defender la posición del punto anterior tomaremos en primer lugar el ejemplo del útil para escribir presentado en el punto 3.7, que al tratarse de un caso sencillo y ya resuelto permitirá apreciar mejor el proceso de integración de la herramienta de TRIZ con el diseño funcional.

Recordemos que en ese caso el enunciado consiste en diseñar un útil para escribir y borrar sobre papel, capaz de ser utilizado manualmente por una persona y que se pueda guardar cómodamente en la solapa. El nivel de funciones y el de restricciones del medio no cambia de lo visto en la Figura 28 y en la Figura 29 respectivamente, puesto que estos datos proceden del enunciado. Es decir, la capa de funciones está formada por *“connect, couple”*, *“branch, separate, remove”*, *“support, secure”* y *“channel, guide, (not) allow degree of freedom”*, y *“channel, guide, translate”* y *“channel, guide, rotate”*; y la del medio se compone del papel con signos, y una persona, su mano y la solapa que lleve en su camisa. Del mismo modo, y derivado de estas funciones se han presentado los comportamientos (2, 1, 3), (2, 1, 1), (1, 2, 2) y (1, 1, 2), que aparecen dispuestos en la Figura 30. La diferencia que marca la integración de TRIZ en el sistema se produce en el momento de la búsqueda de estructuras-solución a partir de estos comportamientos. Como se ha visto en la Tabla 21, a partir de los comportamientos se pueden encontrar vinculaciones con la taxonomía campos de la herramienta Su-Fields de TRIZ.

El modo de proceder en estos casos es igual al presentado por la regla uno de los campos-sustancia, puesto que tenemos una sustancia  $S_1$ , determinada por la restricción afectada por el comportamiento, a la que libremente le podemos buscar una sustancia  $S_2$ , la estructura-solución, que actúe con un campo  $F_1$ , determinado por la correspondencia con el comportamiento, sobre  $S_1$ . Así, si tomamos como ejemplo el caso del comportamiento (2,1,3) sobre el papel (Figura 74) vemos como tenemos inicialmente la sustancia inicial  $S_1$  papel. Además, la acción de la que  $S_1$  es objeto viene determinada por el comportamiento (2, 1, 3). Por tanto, el campo  $F_1$  viene limitado por las correspondencias entre la taxonomía de campos

y los términos del modelo B-Cube, que indican comportamiento puede ser llevado a cabo por 8 campos específicos:

- “mechanical, contact, direct contact”;*
- “mechanical, alternate, vibration”;*
- “mechanical, process, mechanical processing”;*
- “mechanical, modify, mixing”;*
- “acoustic, acoustic, ultrasound”;*
- “thermal, high gradient, freeze”;*
- “magnetic, waves, other electromagnetic waves”;*
- “intermolecular, particles, pores”.*



**Figura 74 – Ejemplo de aplicación de la regla 1 sobre el comportamiento (2, 1, 3)**

El proceso de búsqueda y evaluación de soluciones es similar al realizado directamente a través de los términos del modelo B-Cube (Tabla 7), pero en este caso la búsqueda viene determinada por los campos, y por tanto la base de datos buscará estructuras-solución capaces de ejecutar dichos campos, tal y como se muestra en la Tabla 22. Por supuesto, al igual que sucedió en el punto 3.7, la cantidad y calidad de las soluciones dependerá siempre de la cantidad de información contenida en las bases de datos utilizada por el sistema.

**Tabla 22** – Búsqueda y evaluación de estructuras a partir de los campos correspondientes al comportamiento (2, 1, 3)

| Campo                        | Estructura                         | Compatibilidad con papel | Evaluación  |
|------------------------------|------------------------------------|--------------------------|---|
| <i>Direct contact</i>        | Mina de carbono                    | Buena                    | Se desgasta.<br>Requiere contenedor.  |
|                              | Tinta                              | Buena                    | Se desgasta.<br>Requiere contenedor.  |
|                              | Tiza                               | Buena                    | Se desgasta.<br>Requiere contenedor.<br>Mala calidad del trazo.<br>Mancha y se emborróna.   |
| <i>Vibration</i>             | Partículas + vibradora             | Baja                     | Requiere 2 estructuras<br>Se desgasta (partículas).<br>Requiere contenedor (partículas).<br>Proceso más largo<br>Requiere aporte energético<br>El papel es débil para ser vibrado |
| <i>Mechanical porcessing</i> | Remache                            | Mala                     | -   |
| <i>Mixing</i>                | Tinte                              | Buena                    | Nulo: no deja caracteres, tinta toda la superficie.   |
| <i>Ultrasound</i>            | Ultrasonidos                       | Mala                     | -   |
| <i>Freeze</i>                | Nitrógeno líquido                  | Mala                     | -   |
| <i>Other e.w.</i>            | Electricidad estática + partículas | Buena                    | Requiere generar cargas estáticas.<br>Requiere aporte energético.<br>Sujeción de los caracteres débil.<br>Se desgasta (partículas).   |

| Campo        | Estructura       | Compatibilidad con papel | Evaluación  |
|--------------|------------------|--------------------------|---|
|              |                  |                          | Requiere contenedor (partículas).   |
|              | Partículas + luz | Buena                    | Requiere de 2 estructuras.<br>Requiere aporte energético.<br>Se desgasta (partículas).<br>Requiere contenedor (partículas). |
| <i>Pores</i> | Micro-partículas | Buena                    | Se desgasta.<br>Requiere contenedor.  |

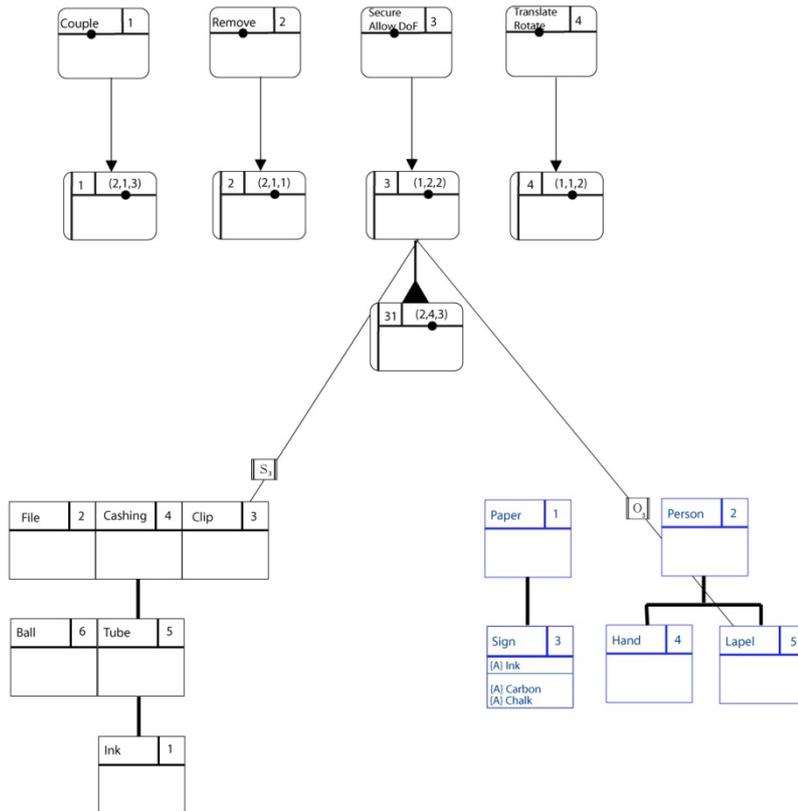
De la comparación de los resultados entre el proceso sin la integración con la herramienta de TRIZ Su-Fields (Tabla 7) y con ella (Tabla 22) se obtienen dos conclusiones notables:

En primer lugar se ve cómo en este segundo caso aparecen un amplio número de soluciones novedosas respecto al caso anterior, y otras ya consideradas en un principio. La integración de la herramienta exige un proceso de búsqueda mayor, aunque también es cierto que la exigencia mayor se presenta en el momento de crear las bases de datos de soluciones para que el sistema sea capaz de proporcionar soluciones para todos los campos considerados dentro de un mismo comportamiento dado. Una vez hecho esto, el sistema puede exigir directamente las soluciones correspondientes a un comportamiento dado, saltándose el paso intermedio de buscar los campos correspondientes, pues la estructura puede llevar asociado directamente como atributo el comportamiento cumplido por dicho campo. Esto se cumplirá en un principio y según lo demostrado en este punto siempre y cuando la búsqueda de la solución se realice a través de la primera regla, lo cual nos conduce a la siguiente conclusión.

La aplicabilidad de reglas lógicas facilita considerablemente el proceso de automatización de un sistema. En este caso se ha visto como la primera regla lógica ha encajado perfectamente en el sistema teórico propuesto hasta el momento. Falta demostrar cómo encajarían reglas

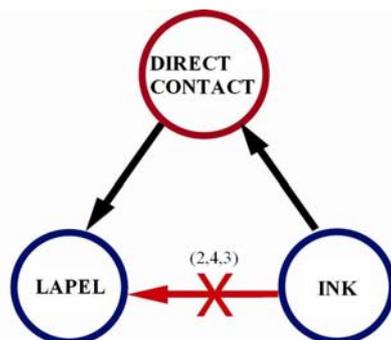
más complejas en el mismo sistema, que es lo que pasaremos a mostrar en el siguiente ejemplo a continuación.

Según avanza el proceso de diseño se ha visto cómo a partir de las desventajas surgidas durante la evaluación de las posibles soluciones se generan nuevos comportamientos “no deseados”. Son estos comportamientos los que posibilitan la aplicación de las siguientes reglas de los Su-Fields de TRIZ para encontrar soluciones óptimas y deseables. Siguiendo con el desarrollo del ejemplo, la Figura 75, presentada a mayor resolución en el anexo 1, muestra la aparición de un comportamiento no deseado derivado de otro comportamiento. Este primer comportamiento (1, 2, 2) se refiere al modo de fijar el instrumento diseñado a la solapa de la persona y se soluciona con la inserción de la estructura clip al diseño. En este caso se considera que las estructuras tubo, bola y su contenido tinta entran en contacto con la solapa, y teniendo en cuentas las propiedades fluidas de la tinta y absorbentes de la tela de la que esté hecha la solapa, la primera va a generar un comportamiento no deseado (2, 4, 3), que se refiere al modo de adherirse un elemento al otro. El comportamiento se considera como no deseado porque, por definición, la tinta se desea que se fije al papel, no a la solapa.



**Figura 75 – Comportamiento no deseado derivado de otro comportamiento**

La Figura 76 muestra de un modo gráfico la representación de dicho comportamiento no deseado en forma de triada de la herramienta Su-Fields. En este caso ya no se puede aplicar la regla uno, puesto que la tinta ya es parte del sistema y no se va a eliminar, pero ya se pueden aplicar las siguientes reglas lógicas de los Su-Fields, ya vistas en el punto 5.2.5. Puesto que estas reglas generan un nuevo campo, el proceso en este caso es inverso al anterior, es decir, por un lado se evaluará qué campo debe aplicarse, y a partir del campo y a través de la correspondencia entre campos y términos de B-Cube se determinará qué comportamiento describirá la acción para, a partir de ambos datos, proceder a buscar la estructura necesaria en la base de datos.



**Figura 76 – Triada correspondiente al comportamiento no deseado**

La Tabla 23 muestra los campos (taxón terciario) que generan soluciones según la regla 2 de los Su-Fields, que implica añadir una sustancia  $S_3$  que afecte a la sustancia  $S_2$ , la tinta, de un modo  $F_2$ , que es el campo a determinar. Aquí vemos como la primera solución adelantada en el ejemplo del punto 3.7, la capucha, queda englobada en el conjunto proporcionado por la tabla, pues quedaría englobada en el campo “*mechanical, direct, direct contact*” dentro de las soluciones capaces de llevar a cabo el comportamiento (2, 2, 2).

**Tabla 23 – Campos que proporcionan solución según la regla 2 de los Su-Fields**

| Taxón                                  | Descripción   |
|--|---|
| Mech./Direct/Gravitation               | La propia gravedad impide que la tinta salga                |
| Mech./Direct/Direct contact            | Cobertura física de la tinta                                |
| Mech./Flow/Gas dynamics                | Flujo de gas que cubra la tinta                             |
| Mech./Flow/Vacuum                      | El vacío impide que la tinta salga                          |
| Mech./Modify/Additives                 | Aditivo físico a la tinta para que no se adhiera a la tela  |
| Thermal/Change/State change            | Solidificar la tinta  |
| Thermal/High gradient/Freeze           | Congelar la tinta   |
| Chem./Modifiers/Inhibitors             | Aditivo químico a la tinta para que no se adhiera a la tela |
| Chem./Structure change/Crystallisation | Aditivo químico a la tinta para que cristalice              |
| Chem./Structure change/Polymerization  | Aditivo químico a la tinta para que polimerice              |
| Magnetic/Field/Magnetic field          | Campo magnético sobre la tinta que impida su salida         |
| Magnetic/Field/Forces and particles    | Campo de partículas sobre la tinta que impida su salida     |

En la misma tabla se puede apreciar que el número de campos junto con todos los comportamientos que pueda realizar dicho campo sacan un número considerable de búsquedas y evaluaciones a realizar por el sistema. Sin embargo, el hecho de realizar búsquedas cruzadas campo-comportamiento puede llegar a simplificar bastante el proceso. Así, por ejemplo, la Tabla 24 muestra la búsqueda y evaluación de estructuras a partir de los comportamientos correspondientes al campo “*Mechanical/Flow/Vacuum*”. Es decir, las estructuras deben de cumplir los comportamientos indicados, pero sólo del modo indicado por el campo correspondiente. Por tanto, la cantidad de estructuras capaces de cumplir ambos requisitos se ve considerablemente reducida (siempre dentro del rango de conocimiento que contenga la base de datos), en el caso del ejemplo sólo a dos de ellas, que consisten en un generador de vacío continuo o alterno, donde el comportamiento de partida nos define el modo de actuar concreto de dicho generador de vacío sobre la tinta. Es decir, en el caso del comportamiento (1, 2, 3) el generador actúa aspirando la tinta hacia el interior todo el tiempo, el comportamiento (1, 3, 3) del mismo modo pero sólo cuando se detecta que la tinta va a salirse, en el caso del (2, 2, 2) evitando que se despeguen gotas de tinta del conjunto, en el (4, 1, 3) aprovechando el incremento de volumen de la tinta para evitar que quepa por la salida, y en el comportamiento (4, 2, 3) considerando que el decremento del volumen del espacio entre gotas cree una conexión entre ellas que evite que alguna se separe.

**Tabla 24** – Búsqueda y evaluación de estructuras a partir de los comportamientos correspondientes al campo “*Mechanical/Flow/Vacuum*”

| Comportamiento | Estructura                    | Compatible con tinta | Evaluación  |
|----------------|-------------------------------|----------------------|---|
| (1, 2, 3)      | Generador de vacío (continuo) | Buena                | Requiere energía.<br>Requiere mecanismo de activación.            |
| (1, 3, 3)      | Generador de vacío (alterno)  | Buena                | Requiere energía.<br>Requiere mecanismo de activación con sensor. |
| (2, 2, 2)      | Generador de vacío (continuo) | Buena                | Requiere energía.<br>Requiere mecanismo de activación.            |
| (4, 1, 3)      | Generador de vacío (continuo) | Buena                | Requiere energía.<br>Requiere mecanismo                           |

| Comportamiento | Estructura                    | Compatible con tinta | Evaluación   |
|----------------|-------------------------------|----------------------|--|
|                |                               |                      | de activación.   |
| (4, 2, 1)      | Generador de vacío (continuo) | Buena                | Requiere energía.<br>Requiere mecanismo de activación. |

Otro ejemplo puede verse en la Tabla 25. Aquí la búsqueda cruzada de estructuras se realiza a partir de los comportamientos correspondientes al campo “*Thermal/High gradient/Freeze*”. En este caso la solución aportada se presenta en forma de intercambiador de calor, si bien el modo de actuar sobre la tinta puede diferir de las siguientes formas: Congelar todas las partículas en su totalidad para fijarlas todas entre ellas (2, 1, 3); crear una capa superficial sólida para contener la tinta en su interior (1, 2, 2) o (2, 2, 2); congelar las partículas para que se fijen a las paredes (2, 2, 3); enfriarlas hasta el punto en que su viscosidad sea tal que la inhiba del movimiento (3, 2, 1); reducir su temperatura hasta el punto en que el volumen alcanzado impida su salida (4, 2, 3).

**Tabla 25** – Búsqueda y evaluación de estructuras a partir de los comportamientos correspondientes al campo “*Thermal/High gradient/Freeze*”

| Comportamiento | Estructura              | Compatible con tinta | Evaluación                              |
|----------------|-------------------------|----------------------|---|
| (1, 1, 2)      | Intercambiador de calor | Buena                | Requiere energía.<br>Requiere inversor. |
| (2, 1, 3)      | Intercambiador de calor | Buena                | Requiere energía.<br>Requiere inversor. |
| (2, 2, 2)      | Intercambiador de calor | Buena                | Requiere energía.<br>Requiere inversor. |
| (2, 2, 3)      | Intercambiador de calor | Buena                | Requiere energía.<br>Requiere inversor. |
| (3, 2, 1)      | Intercambiador de calor | Buena                | Requiere energía.<br>Requiere inversor. |
| (4, 2, 3)      | Intercambiador de calor | Buena                | Requiere energía.<br>Requiere inversor. |

El proceso a seguir con el resto de las reglas de los Su-Fields es idéntico al caso analizado de la regla 2. Con esto se ha podido defender la utilidad del uso combinado del modelo B-Cube y la

herramienta de TRIZ de los Su-Fields para optimizar diseños e innovar dentro del sistema propuesto de diseño funcional en un marco B-FES.

## 5.7 Rediseño de un casco de bombero integrando Su-Fields y B-Cube

Con el objeto de defender la utilidad de la integración de los Su-Fields con el modelo B-Cube en el rediseño de objetos se presenta en este punto el rediseño de un casco de bombero a partir de un diseño existente modelado en un esquema FBS a través de las RFB del NIST y del modelo B-Cube (Figura 77). En este ejemplo se ve cómo las funciones principales del casco son las de impedir que sustancias golpeen (se incrusten) en la cabeza, representado por la función “*control magnitude, stop, inhibit*”, y evitar que el calor dañe la piel de la cara y el pelo del bombero, representado con el término “*control magnitude, stop, prevent*”. En el nivel del medio tenemos dos grupos de restricciones: por un lado tenemos a la persona con rol de bombero a la que queremos proteger, mientras que por otro tenemos a los factores dañinos del incendio como son el fuego, el humo y los derrumbes que puedan producirse. En el nivel de comportamientos se representan los dos comportamientos derivados de las funciones que debe llevar a cabo el equipo diseñado, esto es, el casco con visor y máscara, que protegen la cabeza, ojos y pulmones respectivamente, representado con el comportamiento (2, 2, 2), que podríamos definirlo como la acción de preservar el estado de no-conexión de los objetos con la cabeza o de las partículas con los ojos o con los pulmones; y al mismo tiempo el casco también protege la cabeza con un comportamiento (3, 2, 2), similar al anterior pero referido a la protección de la radiación térmica ( $x = 3 = \text{energía}$ ). En este mismo nivel también se representan los tres comportamientos que generan el grupo de restricciones consideradas como dañinas, que corresponden a los actos de introducirse el humo en los ojos o los pulmones (1, 2, 3), incrustarse las partículas contenidas en el humo en los mismos o los escombros procedentes de derrumbes en la cabeza (2, 4, 3), o el efecto dañino de la radiación térmica que ejerce el fuego sobre la cabeza del bombero o sobre el mismo casco (3, 2, 3).

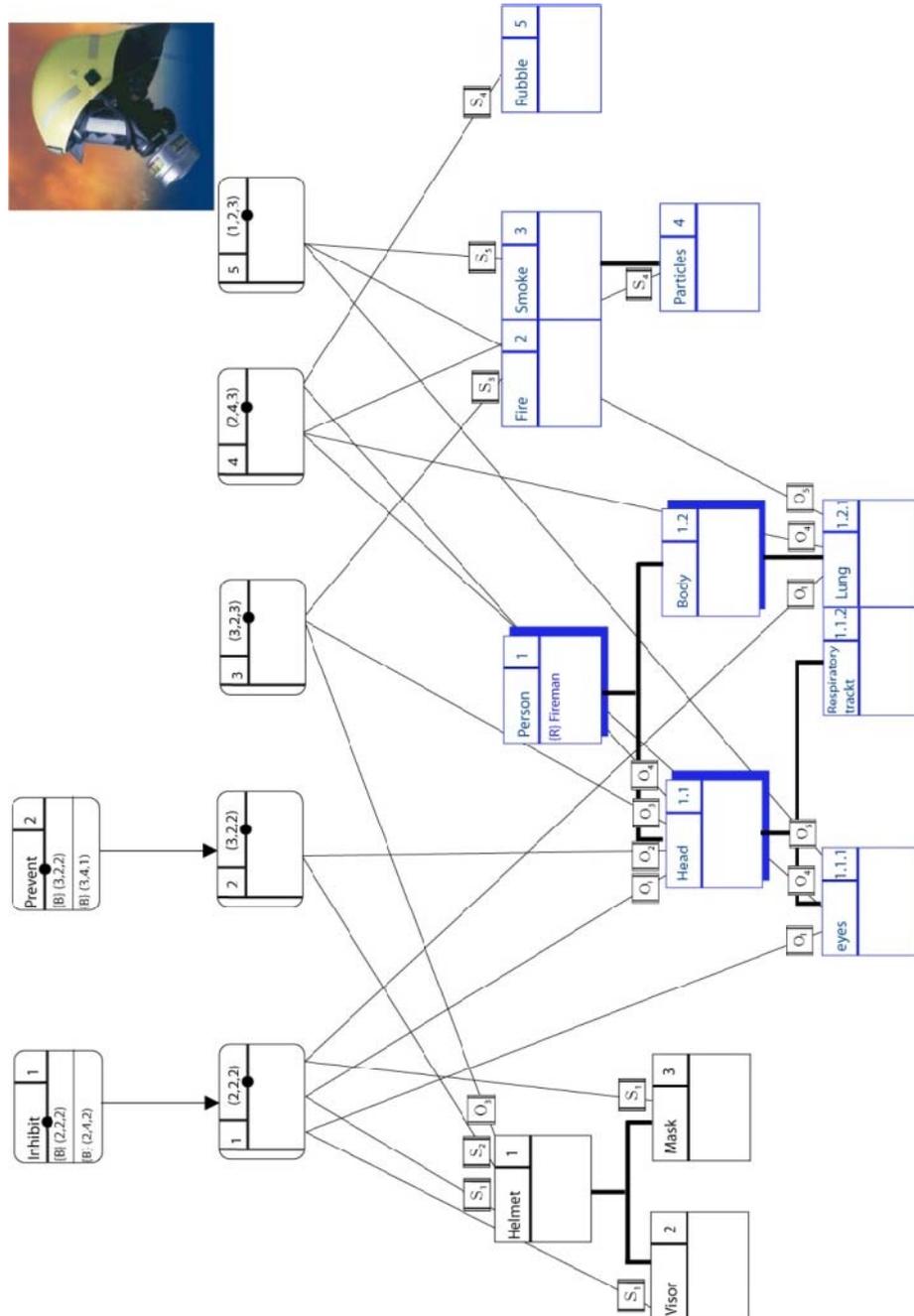
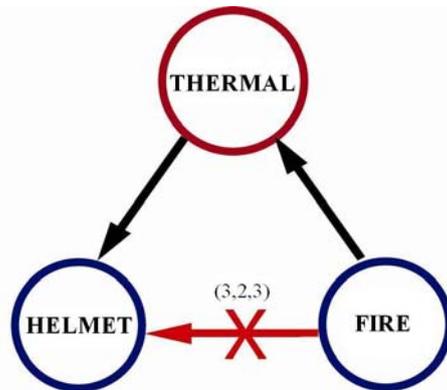


Figura 77 – Representación del diseño de un casco de bombero

### 5.7.1 Interacción casco-fuego

Como primer ejemplo del proceso de rediseño podemos poner la situación del comportamiento dañino que el fuego está ejerciendo sobre nuestra estructura casco (Figura 78). Puesto que ambos elementos están presentes en el sistema, la regla 1 no es aplicable en este caso, pero sí lo son, por el contrario, las reglas de la 2 a la 5. La regla 2 consiste en la aplicación de una nueva sustancia  $S_3$  sobre la sustancia  $S_2$ , el fuego en este ejemplo, que genere un nuevo campo  $F_2$  que contrarreste el efecto en conflicto de  $F_1$ . En este caso el efecto conflictivo es el comportamiento (3, 2, 3), referido al estado de incremento de energía térmica al que se ve expuesto el casco, que se considera dañino o no deseado, y por tanto se necesita buscar un elemento que genere un comportamiento sobre el mismo parámetro  $X = 3$ , de algún modo  $Y$  por definir, y en sentido opuesto al inicial, es decir,  $Z = 1$ . A través de los comportamientos resultantes y de los campos correspondientes se puede realizar la búsqueda de estructuras-solución (Tabla 26), que deberán a su vez ser evaluadas para comprobar su idoneidad con la labor a realizar y su compatibilidad con las restricciones con las que interactúa, es decir, si rebajan el calor del fuego y si no añaden restricciones perjudiciales para el resto del sistema casco-persona.



**Figura 78 - Triada correspondiente al comportamiento dañino del fuego sobre el casco**

**Tabla 26** – Búsqueda cruzada de estructuras-solución para la regla 2

| Comportamiento | Campo                     | Estructura  |
|----------------|---------------------------|---|
| (3, 1, 1)      | (Th) Endothermic reaction | Urea y cloruro de amonio  |
| (3, 1, 1)      | (Ch) Reaction             | Agente extintor reactivo  |
| (3, 1, 1)      | (Ch) Reactant             | Agente extintor reactante   |
| (3, 2, 1)      | (Mech) Gravitation        | Arena   |
| (3, 2, 1)      | (Mech) Gas dynamics       | Gas inerte  |
| (3, 2, 1)      | (Mech) Fluid dynamics     | Agua  |
| (3, 2, 1)      | (Mech) Wind               | Aire a alta velocidad   |
| (3, 2, 1)      | (Th) Cooling              | Agua  |
| (3, 2, 1)      | (Th) State change         | Nitrógeno líquido<br>Nitrógeno sólido<br>CO <sub>2</sub> líquido<br>Agua<br>Hielo |
| (3, 2, 1)      | (Th) Freeze               | Nitrógeno líquido<br>Nitrógeno sólido   |
| (3, 2, 1)      | (Mag) Magnetic field      | Campo contenedor de las partículas del humo para asfixiarlo                       |
| (3, 3, 1)      | (Mech) Gas dynamics       | Gas inerte  |
| (3, 3, 1)      | (Mech) Fluid dynamics     | Agua  |
| (3, 3, 1)      | (Mech) Wind               | Aire a alta velocidad   |
| (3, 3, 1)      | (Th) State change         | Nitrógeno líquido<br>Nitrógeno sólido<br>CO <sub>2</sub> líquido<br>Agua<br>Hielo |
| (3, 3, 1)      | (Ac) Ultrasound           | Ultrasonidos  |
| (3, 4, 1)      | (Mech) Gravitation        | Arena   |
| (3, 4, 1)      | (Mech) Collision          | Pala, plancha...  |
| (3, 4, 1)      | (Mech) Explosion          | Explosivos  |

La regla 3 consiste en la adición de una nueva estructura  $S_3$  al esquema que genere una acción sobre la sustancia  $S_1$ , el casco, que contrarreste o proteja del efecto en conflicto de  $F_1$ , (3, 2, 3). En este caso, los comportamientos a buscar para contrarrestar el efecto dañino son los mismos que los vistos en el caso de la regla 2, pero además habrá que añadir los considerados para proteger del efecto, en los que se requerirá de mantener ( $z = 2$ ) de algún modo Y el estado energético ( $X = 3$ ) inicial de la estructura casco.

Para el primer caso, contrarrestar el efecto, la tabla de búsqueda de estructuras-solución queda igual que la Tabla 26 del caso de la regla 2. Lo que la diferencia en este caso es el proceso de evaluación, pues por ejemplo la estructura-solución “agua” es compatible tanto para apagar el fuego como para refrescar el casco, mientras que la estructura-solución “explosivo” puede ser eficaz a la hora de apagar el fuego, pero por el contrario dañaría el casco si lo aplicamos sobre él. En el caso de que lo que se quiera sea proteger del efecto, la Tabla 27 muestra las estructuras que surgen de la búsqueda cruzada de estructuras-solución, donde la valoración de estas deberá ser igualmente referida a su interacción con el casco.

**Tabla 27 - Búsqueda cruzada de estructuras-solución para la regla 3**

| Comportamiento | Campo                    | Estructura  |
|----------------|--------------------------|---|
| (3, 1, 2)      | (Ch) Reaction            | Reactivo endotérmico  |
| (3, 1, 2)      | (Int-mol) Nano-particles | Nano-fibras de alta resistencia térmica                           |
| (3, 1, 2)      | (Int-mol) Evaporation    | Sustancia que absorba una elevada cantidad de calor al evaporarse |
| (3, 1, 2)      | (Bio) Bacteria           | Bacterias que absorban calor                                      |
| (3, 2, 2)      | (Mech) Gravitation       | -   |
| (3, 2, 2)      | (Mech) Direct contact    | Mayor grosor del casco  |
| (3, 2, 2)      | (Th) Insulation          | Aislante térmico  |
| (3, 2, 2)      | (Ch) Reactants           | Reactante endotérmico   |
| (3, 2, 2)      | (Mag) Optics             | Reflectante   |
| (3, 3, 2)      | (Ch) Reactants           | Reactante endotérmico   |
| (3, 3, 2)      | (Ch) Inhibitor           | Inhibidor retardante de la degradación térmica del casco          |
| (3, 3, 2)      | (Mag) Magnetic field     | Campo magnético que evite que las partículas se acerquen          |
| (3, 4, 2)      | (Mag) Magnetic field     | Campo magnético que evite que las partículas se acerquen          |

La regla 4 consiste en añadir una nueva estructura  $S_3$  al esquema interponiéndose entre las sustancias  $S_1$  y  $S_2$ , el casco y el fuego, de modo que proteja al primero del efecto en conflicto  $F_1$ , (3, 2, 3), que genera el segundo. En este caso, los comportamientos a buscar para

proteger del efecto dañino son los mismos que los vistos en la segunda consideración de la regla 3, es decir (3, 1, 2), (3, 2, 2), (3, 3, 2), y (3, 4, 2). En la Tabla 28 se puede ver el resultado de la búsqueda cruzada de estructuras-solución para la regla 4. Puesto que la búsqueda se realiza con los mismos parámetros que en el caso anterior, es decir, mismos comportamientos y mismos campos, las estructuras-solución que resultan son las mismas, lo que nos cambiará la solución debido al punto de aplicación de las mismas, que en el caso de la regla 3 se encuentran unidas al casco, mientras que en el caso de la regla 4 se encuentran separadas de éste, pero en una ubicación intermedia entre éste y el fuego. Por ejemplo, para la estructura-solución del aislante, en el caso de la regla 3 se trata de una capa de aislante incrustada en el mismo casco, mientras que en el caso de la regla 4 consiste en un escudo de material aislante que deberá llevar el mismo bombero sujeto de algún modo para conseguir que se interponga entre su casco y el fuego.

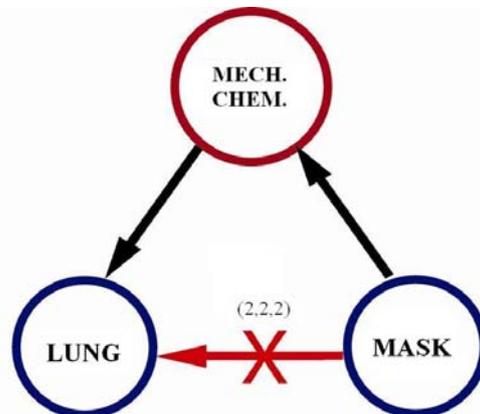
**Tabla 28 - Búsqueda cruzada de estructuras-solución para la regla 4**

| Comportamiento | Campo                    | Estructura  |
|----------------|--------------------------|---|
| (3, 1, 2)      | (Ch) Reaction            | Reactivo endotérmico  |
| (3, 1, 2)      | (Int-mol) Nano-particles | Escudo micro-fibras no combustibles                               |
| (3, 1, 2)      | (Int-mol) Evaporation    | Sustancia que absorba una elevada cantidad de calor al evaporarse |
| (3, 1, 2)      | (Bio) Bacteria           | Bacterias que absorban gases calientes                            |
| (3, 2, 2)      | (Mech) Gravitation       | -   |
| (3, 2, 2)      | (Mech) Direct contact    | Escudo físico   |
| (3, 2, 2)      | (Th) Insulation          | Escudo aislante   |
| (3, 2, 2)      | (Ch) Reactants           | Reactante endotérmico   |
| (3, 2, 2)      | (Mag) Optics             | Reflectante   |
| (3, 3, 2)      | (Ch) Reactants           | Reactante endotérmico   |
| (3, 3, 2)      | (Ch) Inhibitor           | Escudo con inhibidor del proceso de combustión                    |
| (3, 3, 2)      | (Mag) Magnetic field     | Campo magnético repelente   |
| (3, 4, 2)      | (Mag) Magnetic field     | Campo magnético repelente   |

La regla 5 consiste en la aplicación de una estructura al medio, es decir, que no interaccione directamente ni con el casco ni con el fuego, pero que de un modo indirecto sí que afecte a uno o a ambos de estos elementos para conseguir los comportamientos especificados en este ejemplo, es decir, aquellos que contrarresten o protejan del efecto dañino (3, 2, 3). Puesto que los comportamientos capaces de conseguir esto son los ocho vistos anteriormente, las estructuras-solución tampoco cambiarán, pero al igual que se ha visto anteriormente, variará el modo de aplicación de las mismas. Así, por ejemplo, la misma estructura nitrógeno líquido que cumplía con el comportamiento (3, 2, 1) en lugar de ser empleada para enfriar (o extinguir) el fuego o para enfriar el casco, en este caso será liberada en el medio para bajar la temperatura total de la sala y con ello evitar que la transmisión de calor desde el fuego hasta el casco sea tan elevada.

### 5.7.2 Interacción máscara-pulmones

Para este ejemplo se parte de la consideración cómo insuficiente de la protección llevada a cabo por la máscara sobre los pulmones, representado con el comportamiento (2, 2, 2) (Figura 77), tal y como queda representado en la triada de la Figura 79. En este caso, la protección que pretende proporcionar la máscara es, por una parte de la entrada excesiva de humo en los pulmones (1, 2, 3), y por otra del efecto realmente dañino en sí que es la incrustación en los pulmones de las partículas nocivas contenidas en el humo (2, 4, 3)



**Figura 79 - Triada correspondiente al comportamiento insuficiente de la máscara sobre los pulmones**

La primera regla de los Su-Fields nos conduce a buscar alternativas a  $S_2$ , la máscara, es decir, cambiar la estructura por otra. Esto es la acción llevada a cabo en el proceso de diseño al igual que se ha visto en el punto 5.6, en lugar de una modificación sobre el diseño actual. En este caso, nos olvidamos de la estructura máscara y se realizará una búsqueda de estructuras capaces de llevar a cabo el comportamiento (2, 2, 2) en cualquiera de sus campos, tal y como se muestra en la Tabla 29.

**Tabla 29 - Búsqueda cruzada de estructuras-solución para la regla 1**

| Comportamiento | Campo                      | Estructura  |
|----------------|----------------------------|---|
| (2, 2, 2)      | (Mech) Gravitation         | -   |
| (2, 2, 2)      | (Mech) Direct contact      | Máscara (filtro físico)                                     |
| (2, 2, 2)      | (Mech) Gas dynamics        | Cortina de aire   |
| (2, 2, 2)      | (Mech) Vacuum              | Generador de vacío  |
| (2, 2, 2)      | (Mech) Additives           | Adsorbente sólido   |
| (2, 2, 2)      | (Th) State change          | Máscara de baja temperatura                                 |
| (2, 2, 2)      | (Th) Freeze                | Máscara de baja temperatura                                 |
| (2, 2, 2)      | (Ch) Inhibitors            | Máscara (filtro químico)                                    |
| (2, 2, 2)      | (Ch) Crystallisation       | Filtro con aditivos para cristalizar las sustancias nocivas |
| (2, 2, 2)      | (Ch) Polymerization        | Filtro con aditivos para polimerizar las sustancias nocivas |
| (2, 2, 2)      | (Mag) Magnetic field       | Campo magnético   |
| (2, 2, 2)      | (Mag) Forces and particles | Campo de partículas   |

Pero para un rediseño propiamente dicho deben actuar las reglas de la 2 a la 5 sobre el sistema definido sin eliminar componentes. Así, siguiendo el mismo patrón que en el punto anterior, la regla 2 consiste en la aplicación de una nueva sustancia  $S_3$  sobre la sustancia  $S_2$ , la máscara, que genere un nuevo campo  $F_2$  que mejore el efecto deficiente  $F_1$ . En este caso tenemos que buscar mejoras para un comportamiento (2, 2, 2), que se ha generado para prevenir el efecto de un comportamiento (2, 4, 3) referido a la incrustación en los pulmones de las partículas suspendidas en el humo (ver Figura 77). Además, puesto que las partículas dañinas están contenidas en el humo, evitar que este humo entre en los pulmones, reflejado con el comportamiento (1, 2, 3) también mejorará el comportamiento (2, 2, 2).

Así pues, y siguiendo la misma línea que en el ejemplo anterior, proteger de un comportamiento (2, 4, 3) se puede lograr de un modo  $X = 2$ ,  $Z = 2$ , y de un modo indiferente para el valor de  $Y$ . Del mismo modo, para proteger del comportamiento (1, 2, 3) se debe recurrir a los comportamientos  $X = 1$ ,  $Y = (1, 4)$ ,  $Z = 2$ . La búsqueda de estructuras-solución generada en ambos supuestos se representa respectivamente en las Tablas Tabla 30 y Tabla 31. Las estructuras de sendas tablas, aún a modo muy generalizado, ya se han planteado orientadas a la consideración de actuar sobre la estructura máscara.

**Tabla 30** – Búsqueda de estructuras-solución para proteger del comportamiento (2, 4, 3) según la regla 2

| Comportamiento | Campo                      | Estructura                                       |
|----------------|----------------------------|--|
| (2, 1, 2)      | (Mech) Mech. treatment     | Tratamiento superficial mecánico                 |
| (2, 1, 2)      | (Bio) Fungi                | Hongos que absorban sustancias nocivas           |
| (2, 1, 2)      | (Bio) Plants               | Filtro vegetal adicional                         |
| (2, 2, 2)      | (Mech) Gravitation         | -  |
| (2, 2, 2)      | (Mech) Direct contact      | Filtro físico adicional                          |
| (2, 2, 2)      | (Mech) Gas dynamics        | Cortina de aire                                  |
| (2, 2, 2)      | (Mech) Vacuum              | Generador de vacío                               |
| (2, 2, 2)      | (Mech) Additives           | Adsorbente sólido                                |
| (2, 2, 2)      | (Th) State change          | Relleno de baja temperatura                      |
| (2, 2, 2)      | (Th) Freeze                | Relleno de baja temperatura                      |
| (2, 2, 2)      | (Ch) Inhibitors            | Filtro químico adicional                         |
| (2, 2, 2)      | (Ch) Crystallisation       | Aditivos para cristalizar las sustancias nocivas |
| (2, 2, 2)      | (Ch) Polymerization        | Aditivos para polimerizar las sustancias nocivas |
| (2, 2, 2)      | (Mag) Magnetic field       | Campo magnético                                  |
| (2, 2, 2)      | (Mag) Forces and particles | Campo de partículas                              |
| (2, 3, 2)      | (Mech) Direct contact      | Filtro físico (capas extraíbles)                 |
| (2, 3, 2)      | (Bio) Enzymes              | Encimas que absorban sustancias nocivas          |
| (2, 4, 2)      | (Mech) Direct contact      | Filtro físico (capas extraíbles)                 |

**Tabla 31** - Búsqueda de estructuras-solución para proteger del comportamiento (1, 2, 3) según la regla 2

| Comportamiento | Campo                      | Estructura                                   |
|----------------|----------------------------|--|
| (1, 1, 2)      | (Mech) Direct contact      | Barrera física dinámica                      |
| (1, 1, 2)      | (Mech) Vibration           | Vibrador                                     |
| (1, 1, 2)      | (Mech) Waves               | Generador de ondas                           |
| (1, 1, 2)      | (Mech) Gas dynamics        | Corriente de gas                             |
| (1, 1, 2)      | (Mech) Fluid dynamics      | Pulverizador                                 |
| (1, 1, 2)      | (Mech) Wind                | Ventilador                                   |
| (1, 1, 2)      | (Bio) Living Organisms     | Ser vivo (bloqueando el humo)                |
| (1, 2, 2)      | (Mech) Direct contact      | Barrera física estática (filtro)             |
| (1, 2, 2)      | (Th) Freeze                | Relleno de baja temperatura                  |
| (1, 2, 2)      | (Ch) Crystallisation       | Aditivos para cristalizar humo               |
| (1, 2, 2)      | (Mag) Magnetic field       | Campo magnético                              |
| (1, 2, 2)      | (Mag) Forces and particles | Campo de partículas                          |
| (1, 3, 2)      | (Mech) Resonance           | Vibrador a frecuencia de resonancia del humo |
| (1, 4, 2)      | (Mech) Collision           | Barrera física estática                      |
| (1, 4, 2)      | (Mech) Direct contact      | Barrera física dinámica                      |

En la regla 3, la nueva estructura  $S_3$  generará la acción sobre la sustancia  $S_1$ , los propios pulmones, para proteger de los efectos en conflicto (2, 4, 3) y (1, 2, 3), como ya se ha explicado en la regla anterior. Puesto que los comportamientos a través de los que se realiza la búsqueda son los mismos que en el caso anterior, los resultados brutos van a ser los mismos, y una vez más será la evaluación de cómo afectan dichos resultados a las estructuras en contacto, en este caso el pulmón, los que determinarán las posibles soluciones validas en este caso. Las Tablas Tabla 32 y 33 reflejan sendas búsquedas. En este caso ya se han señalado aquellos campos cuyas soluciones no pueden ser compatibles con los pulmones. Aún así se ven muchas posibles soluciones que no parecen viables con los adelantos científicos actuales, pero si en un futuro. Será el sistema de evaluación de soluciones el que deberá encargarse de considerar cuál o cuáles son las soluciones óptimas viables, o de priorizar aquellas en las que debe de orientarse la investigación si ninguna solución resulta viable con las posibilidades actuales.

**Tabla 32** – Búsqueda de estructuras-solución para proteger del comportamiento (2, 4, 3) según la regla 3

| Comportamiento | Campo                      | Estructura   |
|----------------|----------------------------|--|
| (2, 1, 2)      | (Mech) Mech. treatment     | Tratamiento mecánico (a nano escala de los alveolos)                             |
| (2, 1, 2)      | (Bio) Fungi                | Hongos (biocompatibles) que absorban sustancias nocivas                          |
| (2, 1, 2)      | (Bio) Plants               | Microplantas (biocompatibles) que absorban sustancias nocivas                    |
| (2, 2, 2)      | (Mech) Gravitation         | -  |
| (2, 2, 2)      | (Mech) Direct contact      | Filtro físico implantado   |
| (2, 2, 2)      | (Mech) Gas dynamics        | (no compatible)  |
| (2, 2, 2)      | (Mech) Vacuum              | (no compatible)  |
| (2, 2, 2)      | (Mech) Additives           | Nano-adsorbentes   |
| (2, 2, 2)      | (Th) State change          | Sustancia no-tóxica que enfríe el organismo                                      |
| (2, 2, 2)      | (Th) Freeze                | (no compatible)  |
| (2, 2, 2)      | (Ch) Inhibitors            | Sustancia no-tóxica inhibidora de los efectos nocivos de las partículas del humo |
| (2, 2, 2)      | (Ch) Crystallisation       | (no compatible)  |
| (2, 2, 2)      | (Ch) Polymerization        | (no compatible)  |
| (2, 2, 2)      | (Mag) Magnetic field       | Nano-cargas generadoras de campos  |
| (2, 2, 2)      | (Mag) Forces and particles | Campo de nano-partículas   |
| (2, 3, 2)      | (Mech) Direct contact      | Filtro físico biodegradable ingerido   |
| (2, 3, 2)      | (Bio) Enzymes              | Encimas que absorban sustancias nocivas  |
| (2, 4, 2)      | (Mech) Direct contact      | Filtro físico biodegradable ingerido   |

**Tabla 33** – Búsqueda de estructuras-solución para proteger del comportamiento (1, 2, 3) según la regla 3

| Comportamiento | Campo                      | Estructura                                  |
|----------------|----------------------------|---|
| (1, 1, 2)      | (Mech) Direct contact      | Implante físico dinámico                    |
| (1, 1, 2)      | (Mech) Vibration           | (no compatible)                             |
| (1, 1, 2)      | (Mech) Waves               | Generados de ondas (sobre pulmones)         |
| (1, 1, 2)      | (Mech) Gas dynamics        | (no compatible)                             |
| (1, 1, 2)      | (Mech) Fluid dynamics      | (no compatible)                             |
| (1, 1, 2)      | (Mech) Wind                | (no compatible)                             |
| (1, 1, 2)      | (Bio) Living Organisms     | Simbionte                                   |
| (1, 2, 2)      | (Mech) Direct contact      | Implante físico estático                    |
| (1, 2, 2)      | (Th) Freeze                | (no compatible)                             |
| (1, 2, 2)      | (Ch) Crystallisation       | (no compatible)                             |
| (1, 2, 2)      | (Mag) Magnetic field       | Nano-cargas generadoras de campos           |
| (1, 2, 2)      | (Mag) Forces and particles | Campo de nano-partículas                    |
| (1, 3, 2)      | (Mech) Resonance           | Nano-vibradores a frecuencia de resonancia  |
| (1, 4, 2)      | (Mech) Collision           | Partículas atrayentes de sustancias tóxicas |
| (1, 4, 2)      | (Mech) Direct contact      | Implante físico dinámico                    |

Las reglas 4, añadir una nueva estructura  $S_3$  entre las sustancias  $S_1$  (pulmón) y  $S_2$  (máscara) para proteger al primero del efecto en conflicto  $F_1$ , y 5, añadir la nueva estructura  $S_3$  en el medio, sin interactuar directamente con  $S_1$  y  $S_2$ , para proteger de dicho efecto  $F_1$ , van a realizar las mismas búsquedas realizadas en las reglas anteriores, es decir, a partir de los comportamientos  $X = 1$ ,  $Y = (1, 4)$ ,  $Z = 2$ , para proteger del comportamiento (1, 2, 3), y  $X = 2$ ,  $Y = (1, 4)$ ,  $Z = 2$ , para hacer lo propio con el comportamiento (2, 4, 3). Será, igual que se ha visto anteriormente, la evaluación la que tendrá en cuenta la posición de la solución  $S_3$  a la hora de determinar la compatibilidad e idoneidad de la estructura-solución a escoger. Por lo tanto, las tablas que representan las búsquedas de estructuras soluciones para los comportamientos (1, 2, 3) y (2, 4, 3) se han omitido intencionadamente por no generar ninguna información adicional relevante para el desarrollo del capítulo.

## **6 Evaluación de la creatividad**



## 6.1 Introducción

Como se ha ido viendo a lo largo de los capítulos anteriores, el objetivo del modelo B-Cube es ayudar en la elaboración de nuevos diseños dentro del esquema B-FES a través de una herramienta KBS. También se ha citado en varias ocasiones la posibilidad de que el sistema proporcione diversas soluciones y, sobre todo en el caso de la integración con herramientas CAI, la voluntad de que la solución proporcionada sea la más creativa e innovadora.

Esto nos conduce a la necesidad de evaluar cual es la mejor solución, cuál de ellas es la más novedosa, cuál tendrá más éxito y, en resumen, cuál es la más creativa. Para tal efecto, en el presente capítulo se muestran las conclusiones de un estudio sobre las métricas de la creatividad sobre los productos, explicando las más relevantes y comparándolas entre sí. El primer punto tratará de las creadas directamente para determinar la creatividad de un producto, mientras que el siguiente punto hará referencia aquellas métricas definidas inicialmente como orientadas a la determinación del grado de innovación del producto, siempre vistas desde el punto de vista de su utilidad para determinar la creatividad de un producto.

## 6.2 El producto creativo

En la revisión bibliográfica presentada en el capítulo 2 se han mostrado diferentes autores que han centrado sus estudios en el modo de poder determinar el grado de creatividad de un producto del modo más objetivo posible. Los más relevantes se muestran en la Tabla 34, dónde también aparecen los parámetros que tiene en cuenta la métrica que presentan, así como otros datos a tener en cuenta como la objetividad o subjetividad alcanzada en la metodología y el tipo de evaluación requerida para conseguir la evaluación. A la vista de los parámetros mostrados en la Tabla 34 se puede intuir que el nivel de creatividad de un diseño va a depender mayoritariamente de lo nueva o infrecuente que sea la idea por un lado, y del tipo de beneficio, utilidad o resultado tangible que se perciba del producto por otro lado.

**Tabla 34** - Comparativa de métricas para determinar la creatividad de los productos.

| Métrica                                  | Parámetros   | Objetivo/<br>Subjetivo | Evaluación   |
|--|--|------------------------|--|
| CPSS                                     | <i>Novelty</i><br><i>Resolution</i><br><i>Style</i>      | Subjetivo              | Varios evaluadores, no necesariamente expertos en la materia                                     |
| Moss                                     | <i>Unusualness</i><br><i>Usefulness</i>                  | Objetivo               | Un solo evaluador conocedor de la materia<br>Comparativo: requiere de varios productos a evaluar |
| Sarkar & Chakrabarti                     | <i>Novelty</i><br><i>Usefulness</i>                      | Subjetivo<br>Objetivo  | Un solo evaluador, experto en la materia<br>Requiere de datos a medio-largo plazo                |
| EPI<br>(potencial absoluto) <sup>1</sup> | Novedad<br>Requisitos de diseño<br>Grado de cumplimiento | Subjetivo              | Un solo evaluador experto de la materia<br>Comparativo: requiere de varios productos a evaluar   |

### 6.2.1 Creative Product Semantic Scale

La Escala Semántica de Productos Creativos o CPSS (*Creative Product Semantic Scale*) (Besemer, 1998, 2007; Besemer & O'Quin, 1989) consiste en un cuestionario para evaluar la creatividad de un producto dado en el que ésta mide a través de tres parámetros principales: Grado de novedad del producto (*novelty*), coherencia de la solución (*resolution*) y diseño (*style*). Cada uno de estos parámetros está subdividido en sub-parámetros o factores de los que depende. Así, el grado de novedad de un objeto depende de lo original que se perciba (*original*) y de la sorpresa que sea capaz de causar la primera vez que se vea (*surprising*); la coherencia de la solución se evalúa a través del valor percibido por el usuario final (*valuable*), lo lógica que sea la solución (*logical*), lo fácil o intuitivo de entender que sea el

<sup>1</sup> La valoración mostrada en la tabla se refiere únicamente a efectos de determinar el valor de creatividad en un diseño, según las consideraciones tomadas en el presente proyecto de Tesis, explicadas en el punto 6.4.3.

diseño (*understandable*), y el grado de utilidad percibido (*useful*); mientras que el estilo viene definido por la excelencia de la forma (*organic*), la elegancia de la misma (*elegant*), y lo robusto del diseño (*well-crafted*). Cada una de estas sub-dimensiones o factores está a su vez dividida en un conjunto de pares bipolares, elaborando así una taxonomía a tres niveles que contiene un total de 69 pares bipolares, tal y como se muestra en la Tabla 35. Una ventaja de este instrumento es que permite cuestionarios abreviados, seleccionando aquellos pares o factores que se desean analizar (Kurt, 2000).

Para proceder a evaluar un diseño con esta métrica, los evaluadores deben de definir hacia que elemento del par bipolar tiende el objeto analizado y en qué medida se decanta hacia un sentido u otro dentro de ese par, para lo que se propone una escala de siete niveles que separe ambos términos opuestos, significando los valores extremos que el objeto queda definido completamente por el término próximo a dicho extremo y el valor medio que se encuentra igualmente alejado de sendas definiciones. Por ejemplo, si nos referimos al par “*novel – predictable*”, un valor de 1 significa que el objeto a estudio es totalmente novedoso, un valor 7 significa que objetos similares llevan muchos años en el mercado, y un valor de 4 sería un valor intermedio entre ambas definiciones (parcialmente nuevo).

Aunque a priori se trata de una métrica subjetiva, puesto que el evaluador asigna los valores según su propio criterio, gracias al hecho de que cada factor venga definido por diversos pares bipolares se consigue que a mayor número de evaluadores que completen el cuestionario, mayor objetividad se obtenga en el resultado de la evaluación. Por otra parte, se presenta la desventaja de que se necesitan diversos evaluadores para poder sacar valores fiables, aunque no es necesario que éstos sean precisamente expertos en la materia en cuestión. La metodología, no obstante, resulta muy útil como instrumento para comparar y validar los resultados de la evaluación de la creatividad realizados por diferentes metodologías experimentales hasta el momento.

**Tabla 35** – Taxonomía de los pares bipolares de la CPSS de Besemer y O'Quin (1989)

| Dimension                                  | Sub-dimension factor | Bipolar sub-scales           |
|--|----------------------|------------------------------|
| Novelty                                    | Original             | Revolutionary - Average      |
|  |                      | Radical – Old hat            |
|  |                      | Fresh–Overused               |
|  |                      | Trendsetting – Warmed Over   |
|  |                      | Pioneering - Unprogressive   |
|  |                      | Novel–Predictable            |
|  |                      | Unusual–Usual                |
|  |                      | Unique–Ordinary              |
|  |                      | Original–Conventional        |
|  | Surprising           | Startling–Stale              |
|  |                      | Surprising–Customary         |
|  |                      | Astonishing–Commonplace      |
|  |                      | Astounding–Common            |
|  |                      | Shocking– Old fashioned      |
| Resolution                                 | Valuable             | Relevant - Irrelevant        |
|  |                      | Valuable–Worthless           |
|  |                      | Important–Unimportant        |
|  |                      | Significant–Insignificant    |
|  |                      | Essential–Inessential        |
|  |                      | Necessary–Unnecessary        |
|  | Logical              | Logical–Illogical            |
|  |                      | Makes Sense–Senseless        |
|  |                      | Appropriate–Inappropriate    |
|  |                      | Adequate–Inadequate          |
|  | Understandable       | Meaningful–Meaningless       |
|  |                      | Understandable–Mystifying    |
|  |                      | Intelligible–Unintelligible  |
|  |                      | Clear–Ambiguous              |
|  |                      | Self-Explanatory–Unexplained |
|  | Useful               | Effective–Ineffective        |
|  |                      | Functional–Non functional    |
|  |                      | Feasible–Unfeasible          |
|  |                      | Operable–Inoperable          |
|  |                      | Useful–Useless               |
| Workable–Unworkable                        |                      |                              |
| Style<br>(Elaboration<br>and<br>Synthesis) | Organic              | Orderly–Disorderly           |
|  |                      | Arranged–Disarranged         |
|  |                      | Organized–Disorganized       |
|  |                      | Formed–Formless              |
|  |                      | Complete–Incomplete          |

| Dimension | Sub-dimension / factor | Bipolar sub-scales      |
|-----------|------------------------|-------------------------|
|           | Elegant                | Refined - Busy          |
|           |                        | Graceful–Awkward        |
|           |                        | Charming–Repelling      |
|           |                        | Elegant–Coarse          |
|           |                        | Attractive–Unattractive |
|           | Well-Crafted           | Skilful–Bungling        |
|           |                        | Well-Made–Botched       |
|           |                        | Well-Crafted–Crude      |
|           |                        | Meticulous–Sloppy       |
|           |                        | Careful–Careless        |

### 6.2.2 Escala de Moss

J. Moss (1966) elaboró una identificación y estimación del nivel de creatividad de un producto a través de la combinación de dos diferentes parámetros. El grado de utilidad (*usefulness*) por un lado, y el grado de su rareza (*unusualness*) por otro. La variable de *usefulness*, que como vemos es un factor que comparte con la métrica anterior dentro de su dimensión *resolution*, la determina comparando el grado de satisfacción de cumplimiento de los requisitos del producto con una solución estándar considerada como buena, a la que denomina “solución del profesor”. El parámetro viene valorado en una escala del cero al tres, donde el valor cero corresponde a un diseño que no cumple con los requisitos demandados, y el valor 3 corresponde a una solución considerada mejor que la solución “del profesor”.

En cuanto a la variable de *unusualness*, esta viene determinada por la probabilidad inversa de que dicha idea surja dentro de un grupo homogéneo de soluciones. Es decir, se determina comparando el producto con el resto de productos elaborados dentro un grupo de soluciones para un mismo problema común. Se trata, por tanto, de un método comparativo, para lo que el evaluador debe de estar familiarizado con las posibles soluciones que puede encontrarse y en qué frecuencia, ser capaz de deducir que nivel de probabilidad de aparición se considera como normal para los productos medios, y traducir las desviaciones de probabilidad respecto a la normal en ratios de *unusualness*. Para dichos ratios también se les asigna un valor entre cero a tres, al igual que en el factor *usefulness*, dónde el valor cero equivale a una solución muy común y el tres a una excepcionalmente original. Por último, el grado de creatividad final del

producto se consigue multiplicando las dos variables anteriores, como puede verse en el ejemplo de la Tabla 36.

La principal ventaja de la escala de Moss es la objetividad lograda a la hora de asignar los valores a los diseños, ya que estos valores quedan bien definidos en los diversos bloques en los que puede ubicarse el diseño a evaluar. Aún así, el nivel de objetividad no es total, pues en algún caso dependerá de lo que el evaluador considere como “solución del profesor”. Además, el evaluador es único y no debe de ser necesariamente experto en la materia, aunque si conocedor de la misma para determinar correctamente el valor del factor *usefulness*. Por el contrario, el hecho de que sea comparativo no nos proporciona un valor absoluto de la creatividad del diseño, sino sólo relativo a los diseños evaluados en ese grupo.

**Tabla 36 – Ejemplo de aplicación de la escala de Moss (1966)**

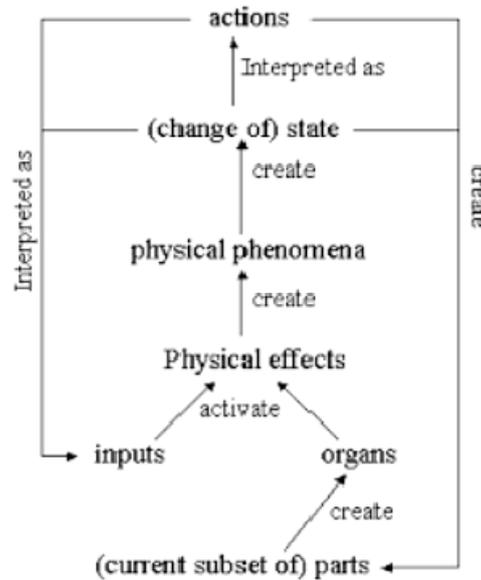
|             |   | Usefulness                                   |   |  |   |   |
|-------------|---|--|---|--|---|---|
|             |   | El diseño no satisface las funciones básicas | El diseño satisface las funciones básicas | El diseño se considera igual de bueno que la “solución del profesor” | El diseño se considera mejor que la “solución del profesor” |   |
|             |   | 0  | 1   | 2  | 3   |   |
| Unusualness | Si el mismo producto fuera diseñado por 100 diseñadores diferentes: |  |   |  |   |   |
|             | 10 o más productos similares  | 0  | 0   | 0  | 0   |   |
|             | 6-10 productos similares  | 1  | 0   | 1  | 2   | 3 |
|             | 2-5 productos similares   | 2  | 0   | 2  | 4   | 6 |
|             | Producto único  | 3  | 0   | 3  | 6   | 9 |

### 6.2.3 Modelo de Sarkar y Chakrabarti

Sarkar y Chakrabarti (2008) nos presentan el grado de creatividad de un diseño como el producto del grado de novedad (*novelty*) y del nivel de utilidad (*usefulness*) del mismo. Al igual que en los casos anteriores, nos encontramos con que la creatividad queda definida como la combinación de varios factores diferentes. Además, se pueden percibir las similitudes entre los significados de los términos empleados para definir dichos factores. Por un lado, vemos que el término *novelty* empleado por Sarkar se corresponde con significado del término *unusualness* de Moss (1996) y con el mismo término *novelty* de la métrica CPSS. En el otro lado tenemos al término *usefulness* de Sarkar que coincide totalmente con el mismo término tanto en la métrica de Moss como con una sub-dimensión con el mismo nombre incluida dentro de la dimensión *resolution* del CPSS.

La medida de la novedad la determina el evaluador en función de a qué nivel se produzca el cambio dentro del modelo de causalidad SAPPPhIRE (*State – Action – Part – Phenomenon – Input – oRgan – Effect*) (Chakrabarti et al, 2005) que se muestra en la Figura 80. Dentro de este modelo *action* se refiere a la descripción abstracta o interpretación de un nivel superior de un cambio de estado, un estado cambiado o creación de una entrada. Por tanto, un cambio a este nivel correspondería el nivel de novedad más elevado. Siguiendo en orden descendente nos encontramos con el cambio de estado (*state*) y la entrada (*input*), a los que les corresponde el nivel de novedad alto. *State* se refiere a los atributos y valores de los mismos que definen las propiedades de un sistema dado en un instante específico durante su operación, mientras que *input* comprende los requerimientos de energía, información o materia para que un efecto físico sea activado. En un nivel más bajo de novedad, clasificado como novedad media, nos encontramos con los fenómenos físicos (*physical phenomena*) y con los efectos físicos (*physical effects*), dónde por *physical phenomena* se entiende al conjunto de cambios potenciales asociados a un efecto físico dado para unos órganos y entradas concretas, y por *physical effects* a las leyes de la naturaleza que gobiernan dicho cambio. Por último, en el nivel de más baja novedad están aquellos diseños que implican simplemente cambios en sus órganos (*organ*) o en sus partes (*part*). *Organs* engloba a los contextos estructurales necesarios para la activación de un efecto físico, mientras que las *parts* son los componentes físicos e interfaces que constituyen un

sistema y su interacción con el medio. Así, las *parts* son necesarias para crear *organs*, los cuales conjuntamente con los *inputs* activan los *physical effects*, que a su vez son necesarios para crear *physical phenomena* y estos últimos *state change*. Los *state change* pueden ser interpretados como acciones o como nuevos inputs, y pueden a su vez crear o activar nuevas partes.



**Figura 80 – Modelo de causalidad SAPPiRE (Chakrabarti et al., 2005)**

Para calcular la utilidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$U = L (F D) R \quad [4]$$

En esta ecuación [4] (Sarkar & Chakrabarti, 2008) U corresponde a *usefulness*, L al nivel de importancia, F a la frecuencia de uso, D a la duración del beneficio y R al ratio de popularidad. Para determinar el nivel de importancia se consideran cinco niveles: importancia extrema, como por ejemplo la cura para el cáncer, importancia muy alta, necesarios para la vida diaria como puede ser el jabón, de importancia alta, con gran impacto para el quehacer diario, como el calentador de agua, de importancia media, que facilitan la vida cotidiana, como por ejemplo la maquinilla de afeitar, y de baja importancia, no realmente necesarios ni influyentes como puede ser una máquina de pompas de jabón. El ratio de popularidad se refiere al número de gente que utiliza el objeto simultáneamente dentro de un intervalo de tiempo dado. La frecuencia de uso se refiere a las veces que el producto es utilizado

de media por un mismo usuario estándar dentro del mismo intervalo de tiempo. Por último, la duración del beneficio se refiere al tiempo que dura el beneficio producido por cada uso individual de un producto. Las unidades temporales de F, D y R deben ser las mismas para poder operar con ellas.

Para establecer el valor definitivo de creatividad los autores establecen un modelo comparativo entre los diferentes diseños a analizar (Sarkar & Chakrabarti, 2008). Para ello, en primer lugar se establece un valor cuantitativo de la novedad a partir del valor cualitativo de la misma, de modo que: Novedad muy alta tiene un valor de 4 puntos; novedad alta equivale a 3 puntos; novedad media se valora con 2 puntos; y baja novedad tiene asignado el valor de 1 punto. Con estas puntuaciones se establece un ranking de diseños. Del mismo modo, los valores cuantitativos obtenidos en la medida de la utilidad también se convierten a un ranking, y es el producto de los valores de la posición del diseño en el ranking para cada factor lo que determina el valor de la creatividad del diseño, siempre en comparación con los otros diseños analizados.

Las principales ventajas del modelo de Sarkar y Chakrabarti (2008) son, por un lado, que un solo evaluador es capaz de llevar a cabo los análisis del nivel de creatividad de los diseños, y por otro la relativa objetividad de los mismos. Por el contrario, el evaluador debe de ser experto en la materia, y la subjetividad está todavía presente en la aplicación de la metodología si no se disponen de datos a medio-largo plazo sobre su respuesta por los destinatarios de los mismos, por lo que el evaluador deberá de considerar estimaciones en su valoración. Otro punto que pone en desventaja a esta metodología es la carencia final de resultados absolutos, ya que éstos se muestran en forma de ranking entre varios diseños, por lo que, por una parte hace necesaria la evaluación de varios diseños conjuntamente, y por otra, no muestra la diferencia de valores entre los diferentes diseños dentro de un ranking. Este último problema abre una nueva línea de investigación, como se explicará en el capítulo 7 Conclusiones y desarrollos futuros.

### 6.3 El producto innovador

Si bien es cierto también que el hecho de que un producto sea creativo no implica a priori que vaya a tener éxito asegurado en el

mercado, ambos factores sí que determinan el grado de innovación del producto, pues innovación ya había quedado definida como la combinación de la creatividad de un producto y su éxito en el mercado (Schumpeter, 1942). En la Tabla 34 se adelantaron dos formas definidas para medir el grado de innovación de un producto, y no solamente su nivel de creatividad. Por tanto, de la definición anterior se puede deducir que toda métrica destinada a valorar la innovación de un diseño debe presentar dos partes diferenciadas, una de ellas para determinar la creatividad del diseño y otra para indicar su éxito en el mercado.

### **6.3.1 La evaluación del potencial innovador**

En su metodología para la evaluación del potencial innovador (EPI), Justel (2008) sí que cumple con estas dos condiciones, es decir, por un lado define la forma de valorar la creatividad del producto, y por otro, indica la manera de valorar su éxito en el mercado. Puesto que la parte que interesa en el presente capítulo es aquella vinculada a la medida de la creatividad, en este punto se analizará principalmente aquella parte de la metodología EPI referida a este aspecto, comentando solamente la parte de la metodología destinada a incluir el factor éxito en la valoración. La Figura 81 muestra la estructura de la metodología EPI. En ésta, los componentes referidos a la creatividad propiamente dicha referidos por el autor son el grado de novedad y la patentabilidad. Sin embargo, por similitud con las métricas de la creatividad presentadas en el punto anterior, en el presente proyecto de Tesis se va a emplear una aproximación del modelo que se representa enmarcada en rojo en la figura.



término medio o moderado el valor es de 3, mientras que si el requisito es cumplido muy débilmente el valor adjudicado es de 1.

A partir de estos tres pesos o coeficientes considerados, el grado de creatividad, llamado potencial absoluto (PA) de innovación en la metodología, para cada diseño conceptual se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$PA = \left[ \sum_i^n \text{Grado Cumplimiento}_i \times \text{Ponderación Requisito}_i \right] \times \text{Grado de Novedad} \quad [5]$$

El autor recomienda normalizar este valor de potencial absoluto hacia un valor de potencial relativo en tanto por ciento, dónde el valor de 100 corresponde al diseño conceptual con mayor potencial innovador del grupo evaluado, y el valor del resto de diseños viene referido a este primero. La segunda parte corresponde a la introducción de las variables de influencia en el éxito empresarial, y sirven para determinar el potencial innovador del diseño conjuntamente con su potencial relativo, que hace referencia a la creatividad del mismo. Para concluir con el valor final de priorización de diseños, este último valor de potencial innovador puede ser modificado por el nivel de patentabilidad del diseño, obteniendo al final de la metodología un ranking de prioridades en donde los primeros puestos definen aquellos producto que deben ser potenciados por la empresa para obtener el mayor beneficio posible, sin que ello signifique que resultan los más creativos en sí.

La única adaptación propuesta en el presente trabajo para proceder a evaluar la creatividad de un modo acorde con el resto de métricas consiste en la inversión de los pesos de ponderaciones en los requisitos de diseño. En los otros casos se ha definido la creatividad como un producto entre la novedad y la utilidad. Puesto que el grado de novedad está directamente representado en el modelo, resta añadir la utilidad del diseño. En su modelo, Justel decide utilizar los requisitos de diseño para enfatizar los aspectos no esenciales del diseño, que se supone proporcionarán un mejor acogimiento por parte del cliente. Para ello, los pesos asignados eran mayores cuanto menor era la relación del requisito de diseño con su función o funciones básicas, considerando estas últimas con un valor de cero. Para este trabajo, puesto que se quiere considerar su funcionalidad el peso mayor, 9, se le asignara a la función o funciones básicas principales,

mientras que las de sobresatisfacción pasarán a tener un valor de cero y las unidimensionales seguirán con su valor intermedio de 3.

La determinación del valor de la creatividad en esta metodología presenta, al igual que otras metodologías presentadas anteriormente, dos puntos débiles. Uno de ellos radica en la subjetividad del evaluador al determinar los pesos de los valores que deben de ser asignados, si bien este nivel de subjetividad queda limitado al estar bien definidos los niveles de los ratios; y el otro consiste en que para realizar la valoración se precisa de varios diseños a ser evaluados, pues se trata de una escala comparativa. Su punto fuerte, por otro lado, es que la propia metodología ya prevé (e incluye) su vinculación con la parte dedicada al éxito del producto en el mercado para lograr determinar el valor del potencial innovador de los diseños.

### **6.4 Valoración de la mejora del proceso de diseño integrando TRIZ al modelo B-Cube**

En este punto se valorará el nivel de creatividad de las soluciones provistas por la integración de la herramienta de TRIZ Su-Fields con el modelo B-Cube. Para ello se han seleccionado diferentes métricas de las anteriores para realizar la valoración y comparar dicho nivel con el de la solución estándar de los modelos existentes. Para tal efecto se ha considerado estudiar el elemento de protección de un bolígrafo para evitar que la tinta manche la solapa de la camisa cuando el usuario engancha su bolígrafo allí. Este ejemplo ha sido visto tanto en la representación de un diseño estándar de un bolígrafo en el punto 3.7 (ver Figura 34), como en el modelado y búsqueda de soluciones creativas integrando el modelo B-Cube con TRIZ en el punto 5.6 (ver Tabla 23). Las soluciones consideradas para su evaluación y comparación han sido: 1 - una capucha de plástico (solución estándar); 2 - un flujo de gas direccionado; 3 - un aditivo a la tinta para que no se adhiera a la tela de la solapa; y 4 - un campo magnético o de partículas generado alrededor de la punta del bolígrafo.

Para realizar la valoración de la creatividad de las soluciones se han considerado las métricas de Sarkar y Chakrabarti, Moss y la adaptación de la métrica de Justel (EPI), descartando la CPSS de Bessemer, por necesitar de un gran número de evaluadores para obtener un nivel de calidad aceptable.

#### 6.4.1 Valoración con el Modelo de Sarkar y Chakrabarti

En este modelo se valora por un lado la novedad y por otro la utilidad. La novedad se considera en función del modelo Sapphire (Chakrabarti et al., 2005), por lo que resultan como más novedosas las soluciones 2 y 4, que se considera que cambian el estado, siguiéndoles la solución 3, pues genera un efecto, y por último la solución 1, que se considera que afecta solo a una parte. En cuanto a la utilidad, se considera que los cuatro parámetros que afectan al objeto de estudio son, en principio, iguales. Es decir, puesto que su función, proteger la tinta y la solapa, es la misma, que consideramos de poca importancia ( $L = 1$ ), su valor será el mismo en las cuatro soluciones. Igual sucede con la frecuencia de uso y la duración del beneficio, será el mismo para todos, que coincidirá con las veces que el usuario se ponga el bolígrafo en la solapa, independientemente del modo de protección que utilice. Por último, el ratio de popularidad también es considerado el mismo para todos los modelos, pues se considera que será utilizado por todos los usuarios del bolígrafo por igual. El resultado de la valoración se resume en la Tabla 37.

**Tabla 37** – Resultado de la evaluación de la creatividad utilizando el modelo de Sarkar y Chakrabarti (2008)

|   | Solución         | Novelty | Usefulness | Creativity |
|---|------------------|---------|------------|------------|
| 1 | Capucha          | 4°      | 1°         | 4°         |
| 2 | Flujo de gas     | 1°      | 1°         | 1°         |
| 3 | Aditivo químico  | 3°      | 1°         | 3°         |
| 4 | Campo partículas | 1°      | 1°         | 1°         |

#### 6.4.2 Valoración con la escala de Moss

La escala considera, por un lado el grado de utilidad, y por otro el grado de rareza. En el lado de la utilidad, se considera como “solución del profesor” la solución estándar, es decir, la capucha de plástico. Las otras tres soluciones serán comparadas con ésta en función del modo en que satisfagan las funciones básicas. Es decir, si la satisfacen de igual manera, de un modo mejor o peor, o si no las satisfacen. Se ha considerado que tanto el flujo de gas como el aditivo químico son capaces de satisfacer las funciones básicas, pero a un nivel inferior, pues el flujo de aire puede ser molesto y con el aditivo químico no se impide que la tinta pueda caer igualmente, y que el

campo magnético o de partículas mejora la solución, al considerarlo más estanco y más cómodo para el usuario. En cuanto a la rareza, se considera que la solución de la capucha es muy común, pues es una solución universal, mientras que las otras tres soluciones se han considerado como ideas únicas, pues se consideran las tres como conceptos nuevos. La Tabla 38 muestra el resultado de la evaluación.

**Tabla 38** - Resultado de la evaluación de la creatividad utilizando la escala de Moss.

|   | Solución         | Utilidad | Rareza | Creatividad |
|---|------------------|----------|--------|-------------|
| 1 | Capucha          | 2        | 0      | 0           |
| 2 | Flujo de gas     | 1        | 3      | 3           |
| 3 | Aditivo químico  | 1        | 3      | 3           |
| 4 | Campo partículas | 3        | 3      | 9           |

#### 6.4.3 Valoración con la EPI de Justel

La primera parte de la evaluación del potencial innovador de Justel se refiere a la valoración del grado de creatividad del producto. Éste depende del grado de novedad considerado, del peso considerado de cada uno de los requisitos de diseño considerados y del grado de cumplimiento de estos. En la Tabla 39 se muestra el resultado de esta evaluación en cuanto a términos de creatividad se refiere. El grado de novedad se ha estimado nulo para la solución estándar, la capucha (0), puesto que no es nada nuevo, mientras que para el resto de soluciones, flujo de gas (2), aditivo químico (3) y campo de partículas (4) se les ha adjudicado el grado de novedad más elevado, al considerarse una innovación radical (discontinuidad tecnológica, (García & Calantone, 2002)).

Los requisitos de diseño considerados son, por una parte la capacidad de proteger tanto a la solapa como a la tinta, tratados como requisitos unidimensionales, y por otra la comodidad de uso y la estética, que son requisitos de sobresatisfacción. Para considerar las correlaciones se ha considerado que tanto la solución estándar como el campo de partículas protegerían satisfactoriamente la solapa, mientras que se duda un poco más de la capacidad de las otras dos soluciones para lograrlo. En cuanto a proteger la tinta para evitar que se seque en contacto con el ambiente no se ha considerado ninguna solución como óptima, mientras que la capacidad del aditivo químico para tal efecto se ha considerado mínima, pues la tinta está en contacto directo con la atmósfera. Para la comodidad de uso, la capucha es la

única que debe emplear el uso de ambas manos para colocarse, mientras que para activar el flujo de gas o el campo de partículas serviría con pulsar un botón, y en el caso del aditivo químico no se requeriría de acción alguna. En cuanto a la estética, todas las soluciones posibilitan el variar los colores excepto en el caso del aditivo químico, pues si este varía el color, lo que variará será el color de la tinta misma.

**Tabla 39** – Resultado de la evaluación de la creatividad utilizando la EPI de Justel

|                     |                    | Diseños conceptuales |     |     |     |
|---------------------|--------------------|----------------------|-----|-----|-----|
|                     |                    | 1                    | 2   | 3   | 4   |
|                     | Grado de novedad   | 0                    | 3   | 3   | 3   |
| Requisito de diseño | Ponderación        |                      |     |     |     |
| Proteger solapa     | 3                  | 9                    | 3   | 3   | 9   |
| Proteger tinta      | 3                  | 3                    | 3   | 1   | 3   |
| Comodidad de uso    | 9                  | 3                    | 9   | 9   | 9   |
| Estética            | 9                  | 3                    | 3   | 1   | 3   |
|                     | Potencial absoluto | 0                    | 378 | 306 | 432 |
|                     | Potencial relativo | 0                    | 88  | 71  | 100 |

#### **6.4.4 Conclusiones de la valoración de la creatividad**

De los resultados de las tres evaluaciones se obtienen las mismas conclusiones: La solución más creativa es el uso de un campo magnético o de partículas, mientras que la menos creativa es la solución estándar, la capucha de plástico. Por tanto, se puede percibir que las tres soluciones encontradas al combinar la herramienta Su-Fields con el modelo B-Cube presentan resultados mejores en cuanto a creatividad respecto a la solución original.

## **7 Conclusiones y desarrollos futuros**



Este capítulo pretende resumir todo el trabajo mostrado a lo largo del presente proyecto de Tesis Doctoral, empezando por una breve discusión de los descubrimientos hechos y de las dificultades encontradas a lo largo del trabajo de Tesis. En el siguiente punto se expondrán de una forma breve aquellos elementos más significativos de cada capítulo a modo de recordatorio de los objetivos alcanzados en cada uno de ellos y sus conclusiones específicas. A continuación se tratará de demostrar la validación de las hipótesis iniciales definidas en el capítulo 1 en función de las conclusiones presentadas. Del mismo modo se defenderán en este mismo punto las aportaciones más relevantes que se han conseguido al defender estas hipótesis. Por último, el tercer punto del capítulo consistirá en una introducción a las futuras líneas de investigación que se han abierto a partir del trabajo desarrollado en la elaboración de la presente Tesis.

### 7.1 Discusión

El presente trabajo se inició, acorde con el proyecto DPI2006-15570-C02-01, con la intención de elaborar un modelo útil para funcionar en un sistema de síntesis de soluciones de diseño basado en un marco FBS y en la búsqueda en librerías de modelos. Tal acción requería de una representación del conocimiento uniforme y que permitiera el intercambio de dicho conocimiento entre diferentes aplicaciones capaces de funcionar con bases de datos. Además, se precisaba que el modelo elaborado permitiera el modelado correcto del conocimiento para poder establecer las soluciones de diseño buscadas.

Para tal efecto se dedujo, después de analizar diversos estudios taxonómicos y ontológicos, que la transferencia de conocimiento adquiriría el nivel óptimo de concreción en la capa de comportamientos, siendo esta además la capa intermedia que iba a permitir el vínculo entre las funciones, que se asimilan a las demandas del diseñador, y las estructuras, siendo éstas las diferentes partes que conforman la parte física de la solución.

Una parte que, por su novedad e interés de las futuras aplicaciones ha demostrado ser interesante desarrollar ha sido el modelado de los comportamientos abstractos o de rol. El tema del modelado funcional de procesos y estructuras organizacionales no ha estado tan tratado a nivel científico, y por tanto se dedujo que avanzar en dicha dirección añadiría importancia al modelo desarrollado.

Para desarrollar y demostrar la capacidad de vinculación entre aplicaciones del modelo elaborado en el presente proyecto de Tesis se optó por seleccionar una metodología ya tratada en herramientas CAI, como es TRIZ, lo cual facilitaría su inclusión posterior en un KBS para la síntesis de soluciones de diseño del que el modelo elaborado en el presente trabajo pretende ser el núcleo central. Además, la variedad de herramientas que presenta la metodología TRIZ posibilita la selección de una u otra en función de nuestros propósitos.

Por último, puesto que tanto el modelo propuesto como su vinculación con una herramienta CAI presentan el objetivo común de conseguir soluciones de diseño creativas, se decidió verificar que los resultados presentados con la validación teórico práctica del modelo conjuntamente con la herramienta de TRIZ han producido mejoras en dicho aspecto, para lo que se procedió a estudiar diferentes métricas de creatividad para valorar los resultados obtenidos.

El resultado ha sido un modelo para representar y modelar el conocimiento a través del nivel de comportamientos de un marco FBS, que presenta una parte física para el modelado de objetos y otra abstracta para el modelado de procesos y estructuras organizacionales, y que es capaz de transferir dicho conocimiento con herramientas CAI con el objeto de producir soluciones más creativas.

## 7.2 Conclusiones

El núcleo central del trabajo se ha basado en la elaboración de un modelo para la representación del conocimiento de comportamientos dentro de un marco B-FES, al que se le ha denominado B-Cube o cubo de comportamientos (*Behaviour's Cube*). Uno de los objetivos de este modelo, además de posibilitar la elaboración de modelos informales de representación del conocimiento, es el de poder elaborar una ontología para ser introducida en una herramienta KBS para la automatización del diseño funcional en su fase conceptual, y posibilitar del mismo modo vincular el diseño con herramientas CAI, capaces de proporcionar soluciones creativas para dichos diseños. El capítulo 3 ha estado dedicado exclusivamente a definir la parte física de dicho modelo, entendiéndose como tal a aquellos comportamientos que afectan a las estructuras o partes físicas, tangibles o medibles de un objeto o artefacto. Para ello se ha empezado por explicar aquellos trabajos sobre los que dicho modelo ha sentado sus bases, como son principalmente los trabajos referentes a las RFB del NIST (Hirtz et al.,

2002), la ontología DOLCE (Masolo *et al.*, 2003), o las consideraciones de Garbacz sobre esta última (Garbacz, 2006). El modelo B-Cube se presenta como una matriz de vectores tridimensionales empleados para definir comportamientos. El eje X se corresponde con cualidades físicas (PQs) definidas conforme a la ontología DOLCE, y complementados con los trabajos de Garbacz, Bryant-Arnold y Nagel entre otros (Bryant-Arnold *et al.*, 2007; Nagel *et al.*, 2007a; Nagel *et al.*, 2007b) hasta concluir en los cinco valores representados en dicho eje: localización espacial, conexión topológica, energía, material y señal. Estos cinco valores representan las cinco cualidades físicas diferentes de una estructura que pueden ser afectadas por un comportamiento. El eje Y ha sido reservado para los *perdurants* (Ps), también definidos por la DOLCE, y respetando en este caso los cuatro valores descritos en ella: logro (*achievement*), realización (*accomplishment*), estado (*state*) y proceso (*process*). Estos valores representan el modo en que un comportamiento puede ser llevado a cabo para afectar a la PQ citada anteriormente. Por último, en el eje Z se ubica la localización temporal (TL), defendida por Garbacz como sub-categoría de las cualidades temporales (TQ) directamente relacionadas con los Ps. El mismo Garbacz plantea dos de los valores asignados a esta categoría, estado inicial y estado final, siendo un tercer valor añadido a lo largo del presente trabajo por considerarlo necesario para cubrir el vacío existente en las definiciones de todas las localizaciones espaciales posibles. Por tanto, los tres valores para esta categoría han quedado definidos como: estado inicial, estado inmutable y estado final; referentes al sentido o dirección en que el comportamiento afecta a la PQ en el modo definido por el P.

Dentro del mismo capítulo y con el objeto de ejemplificar el uso del modelo B-Cube para representar el conocimiento de comportamientos se han establecido correlaciones entre los términos de las RFB del NIST y los términos del modelo B-Cube, y se ha desarrollado un modelo informal basado en la metodología IDEF para representar diseños funcionales basados en el esquema B-FES utilizando la taxonomía RFB conjuntamente con el modelo B-Cube. A lo largo del desarrollo de dichos ejemplos también se ha explicado cómo funcionaría -de un modo teórico- el modelo B-Cube en un KBS para automatizar el proceso de diseño.

El capítulo 4 es análogo al anterior, y en él se desarrolla la otra mitad del modelo B-Cube, aquella que servirá para representar los comportamientos de rol en los diseños (Masolo *et al.*, 2005; Masolo *et al.*, 2004). Se ha empleado la definición de cualidad abstracta (AQ) de la DOLCE, que representan aquello que será afectado por el comportamiento, por lo que sustituye a las PQ de la parte física del modelo en el eje X, quedando iguales los ejes Y y Z. Para establecer una diferenciación, los valores correspondientes a las AQs han sido representados en las coordenadas negativas del eje.

Puesto que ninguno de los autores antes citados proporcionan valores para las AQs, pese a quedar definidas y ubicadas correctamente en la ontología de la DOLCE, en el capítulo se realizó en primer lugar una revisión de las taxonomías de comportamientos de rol más importantes, para escoger la que se considere óptima para poder ser aplicada al modelo B-Cube y elaborar a partir de ella la dimensión abstracta. La taxonomía resultante fue la de Fineberg (Fineberg, 1995), de la cual sus taxones primarios han sido utilizados para especificar los valores de las AQ: *sensation automatic*, *sensation volitional*, *mediation preparatory*, *mediation problema solving*, *mediation decisión making*, *reaction physical*, *reaction psicomotor*, *reaction conceptual*, *interaction controlling*, *interaction organizing*, e *interaction leading*. La adición de las dimensiones Y y Z al vector resultante permiten añadir el grado de concreción necesario para representar los comportamientos del que carecen inicialmente los taxones terciarios de dicha taxonomía. Al igual que se hizo en el capítulo 3 con la taxonomía RFB, en el capítulo 4 se han establecido las correlaciones entre los términos de la taxonomía de Fineberg (taxones terciarios) con los términos abstractos del modelo B-Cube para poder ejemplificar el uso del éste para representar y modelar el conocimiento de comportamientos abstractos en diseños funcionales basados en el esquema B-FES

En el capítulo 5 se ha defendido el uso del modelo B-Cube para actuar como vínculo entre el diseño funcional y herramientas CAI, con el objeto de proporcionar mejores resultados desde el punto de vista de la creatividad. Para tal efecto se ha empleado la metodología TRIZ, pues por un lado, sus características de funcionalidad y convergencia la hacen idónea para innovar en el diseño funcional, y por otro, presenta la ventaja de disponer de un amplio rango de herramientas sentadas sobre la misma base, lo que ha permitido realizar un estudio

sobre las mismas, también mostrado en ese capítulo, con el objeto de seleccionar la más idónea para ser adaptada al modelo B-Cube. De dicho estudio se ha escogido la herramienta de los campos-sustancia (Su-Fields) como la que más y mejores ventajas ofrece para la finalidad del trabajo. El siguiente paso ha consistido en buscar una taxonomía uniforme de dicha herramienta de TRIZ que pueda ser vinculada con el modelo B-Cube y se han establecido las correlaciones entre términos para poder realizar búsquedas y poder combinar el diseño funcional en un esquema B-FES con la herramienta de TRIZ Su-Fields. A partir de esas conclusiones, se ha procedido a defender su aplicabilidad como auxilio al diseño o al rediseño de artefactos con varios ejemplos.

Si bien es cierto que a lo largo de los anteriores capítulos se ha defendido el sistema basado en el modelo B-Cube e integrado con la herramienta de TRIZ como factible para conseguir diseños conceptuales creativos, también se ha postulado varias veces la necesidad de herramientas de evaluación en diversos aspectos, entre ellos la propia cualidad de creativa de una solución dada. Para tal efecto, en el capítulo 6 se muestran las conclusiones de un estudio sobre las métricas de la creatividad sobre los productos, explicando las más relevantes y comparándolas entre sí. Aunque la mayoría de las métricas presentaban una o más desventajas para poder realizar una evaluación previa de la creatividad de un diseño aislado de forma objetiva y cuantitativa por un solo individuo, la conclusión global del estudio se presenta esperanzado en cuanto a conseguir este objetivo a través de la adaptación o combinación de algunas de las métricas expuestas, abriendo una nueva línea de investigación en este sentido.

### **7.3 Validación de las hipótesis**

Al inicio del presente proyecto de Tesis se postuló una hipótesis general, que se han defendido a lo largo de todo el trabajo, que postulaba que:

Modelar el conocimiento de la capa de comportamientos dentro de un esquema FBS es un paso intermedio y obligado entre las funciones y las estructuras en el proceso de diseño funcional, y permite mejorar la generación de soluciones innovadoras en la fase de diseño conceptual.

Con el objeto de concretizar y probar dichas hipótesis, se plantearon diversos objetivos a cumplir a lo largo de la Tesis diferenciando entre objetivos globales y específicos. Los dos objetivos globales son:

- El primero de ellos consiste en elaborar un modelo para la representación y modelado del conocimiento a nivel de comportamientos en un marco FBS, claro e inequívoco, enfocado hacia la optimización y automatización de las decisiones en las fases de diseño de producto o proceso por medio de técnicas y herramientas de gestión del conocimiento y hacia una mejor transferencia del conocimiento minimizando las pérdidas de información. Dicho objetivo se ha logrado con la elaboración del modelo B-Cube, que se ha defendido como capaz de cumplir con tales demandas, como se ha demostrado en los capítulos 3 y 4.
- El segundo objetivo global consiste en que dicho modelo permita su vinculación con otras herramientas para optimizar el proceso de diseño, especialmente con herramientas centradas en la innovación y generación soluciones innovadoras. Para ello se ha hablado en el capítulo 5 del modo de vincular el modelo B-Cube con una herramienta CAI basada en TRIZ.

Para una mayor concreción de los anteriores objetivos globales, también se han definido una serie de objetivos específicos, que también se han logrado a lo largo del proyecto de Tesis:

El primero de ellos pedía que el modelo debe ser válido para trabajar con las metodologías y herramientas utilizadas hasta el momento para el modelado y gestión del conocimiento en el campo del diseño, como lo son el caso de las *reconciled functional basis* (RFB) del NIST y la familia de lenguajes de modelado IDEF. Este objetivo ha sido desarrollado principalmente en los puntos 3.4 y 3.5, y demostrado a través de diferentes ejemplos en los puntos 3.6, 3.7 y 3.8.

También se consideró como objetivo el que esos mismos conceptos de producto fueran capaces de poder ser aplicados en el caso de procesos y estructuras organizacionales, como ha sido desarrollado y demostrado en los puntos del 4.3 al 4.6.

La capacidad de vinculación e integración de herramientas para la innovación de TRIZ con el modelo definido se ha podido ver en el capítulo 5, más concretamente en el punto 5.5, en donde se han mostrado las correspondencias entre los términos del modelo B-Cube

con los campos de la herramienta Su-Fields, escogida para vincular e integrar la metodología TRIZ con el modelo. Además, en los puntos 5.6 y 5.7 se ha demostrado con ejemplos cómo funcionaría dicha integración.

El siguiente objetivo, la validación de un modo teórico-práctico del modelo definido ya se ha adelantado en este mismo punto al nombrar los ejemplos mostrados en los diferentes capítulos de la Tesis.

Por último, valorar el grado de creatividad de los resultados producidos por la integración de las herramientas de TRIZ con el modelo propuesto con la finalidad de verificar la mejora resultante de la vinculación de los mismos. Para ello, el capítulo 6 ha presentado un estudio de las métricas de creatividad más relevantes hasta el momento, reflexionando sobre las mismas respecto a las necesidades que presentarían dichas métricas para la creación de un módulo vinculable al sistema propuesto capaz de valorar el nivel creativo de las soluciones propuestas.

Con el cumplimiento demostrado de los objetivos, tanto globales como específicos, se confirma también la validez de las hipótesis enunciadas anteriormente. A lo largo del trabajo de Tesis se ha visto como el modelo B-Cube, centrado en los comportamientos, ha sido desarrollado, con la finalidad de auxiliar al diseño en la fase conceptual, dentro de un marco de trabajo basado en el esquema FBS. Dicho modelo ha sido defendido como preciso y uniforme, capaz de representar el conocimiento y auxiliar en el modelado del mismo, sirviendo como eslabón entre la representación de las funciones y de las estructuras, y como vínculo entre diferentes aplicaciones capaces de optimizar y automatizar el proceso de toma de decisiones en las fases de diseño de producto o proceso por medio de herramientas de gestión del conocimiento y de la innovación.

### **7.4 Líneas futuras**

Uno de los objetivos de un trabajo de Tesis, es la apertura de nuevos campos o líneas donde seguir investigando a raíz de las conclusiones obtenidas en él. A lo largo del proyecto de Tesis ya se han ido enumerando posibles nuevas líneas de evolución derivadas del trabajo. Además de ellas, otras posibilidades también deben ser destacadas, como se muestra a continuación.

#### **7.4.1 El potencial de los comportamientos de rol**

Una de las líneas de investigación posiblemente con mayor potencial derivadas del presente proyecto de Tesis viene dada por la investigación llevada a cabo en los comportamientos de rol o abstractos. Parte de este potencial se refleja, por una parte, en su aplicación para la creación de inteligencia artificial, esto es, la emulación del comportamiento humano por parte de computadoras o robots. La posibilidad del reconocimiento de acciones y comportamientos referentes a los roles llevados a cabo por el ser humano y su plasmación en modelos de representación del conocimiento para el diseño de procesos permite su definición de un modo tal que pueda ser comprendida, procesada e imitada por un sistema de inteligencia artificial.

Por otra parte, se ha podido ver en la revisión bibliográfica de las principales taxonomías del comportamiento humano realizada en el capítulo 4, que la gran mayoría de dichas taxonomías han estado desarrolladas con la finalidad de ser de uso para aplicaciones militares, tales como el diseño, desarrollo y uso de herramientas para prácticas y entrenamiento en el ámbito militar (Berliner *et al.*, 1964; Fineberg, 1995; Willis, 1961). Hoy en día la importancia de estos desarrollos radica en el auge del sector de los videojuegos, donde la posibilidad de tener un modelo de representación del conocimiento para asistir en el diseño de las aplicaciones en lo referente al comportamiento de los personajes controlados por la inteligencia artificial del programa informático es un factor de considerable importancia para el éxito del producto en el mercado.

A parte de plantear nuevos horizontes en el campo de la inteligencia artificial y los videojuegos, los comportamientos de rol tal y como son planteados en el modelo B-Cube también pueden ser utilizados para innovar en el campo del diseño de procesos, a través del empleo de herramientas CAI del mismo modo que se ha visto para el caso del diseño de objetos. Así, sobre la misma herramienta de TRIZ de Su-Fields que se ha presentado en el punto 5.2.5 se pueden realizar los esfuerzos necesarios para permitir su vinculación con el modelado de procesos mediante la elaboración de las correspondientes correspondencias sobre los términos de los comportamientos de rol del modelo B-Cube y una taxonomía de campos abstractos representados por TRIZ. Algunos intentos de elaboración de dicha taxonomía ya han sido elaborados por Belski (Belski, 2007), tal y

como se muestra en la Tabla 40, pero una investigación más exhaustiva se perfila necesaria con el fin ampliar la taxonomía de campos para lograr abarcar todos los comportamientos humanos posibles, pues el mismo autor ya señala su trabajo sobre los campos humanos como insuficiente para cubrir todas las interacciones humanas posibles.

**Tabla 40** – Taxonomía de los campos del comportamiento humano (Belski, 2007)

| Primary field                  | Secondary field               | Tertiary field |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------|
| Information (intangible)       | Senses                        | Vision         |
|                                |                               | Taste          |
|                                |                               | Smell          |
|                                |                               | Hearing        |
|                                |                               | Touch          |
|                                |                               | Heat           |
|                                |                               | Pain           |
|                                |                               | Balance        |
|                                |                               | Body awareness |
|                                | Verbal communication          | Route          |
|                                |                               | Feature        |
|                                |                               | Organisation   |
|                                |                               | Style          |
|                                | Non-verbal communication      | Visible        |
|                                |                               | Paralinguistic |
| Written                        |                               |                |
| Pictorial                      |                               |                |
| Material possession (tangible) | Real material possession      | Money          |
|                                |                               | Valuables      |
|                                |                               | Authority      |
|                                | Perceived material possession | Money          |
|                                |                               | Valuables      |
|                                |                               | Authority      |

#### 7.4.2 Las diferentes herramientas de TRIZ

En el capítulo 5 se ha trabajado sobre la herramienta de TRIZ Su-Fields para su vinculación con el diseño funcional a través de la capa de comportamientos. La elección de esta herramienta se ha hecho por considerarla como la mejor y más adaptable para tal finalidad después

de un estudio sobre diversas herramientas de TRIZ. Sin embargo, la metodología TRIZ dispone de un amplio número de ellas y, como ya se ha adelantado en dicho estudio, algunas de ellas ofrecen diferentes posibilidades para ser aplicadas a sistemas similares al propuesto.

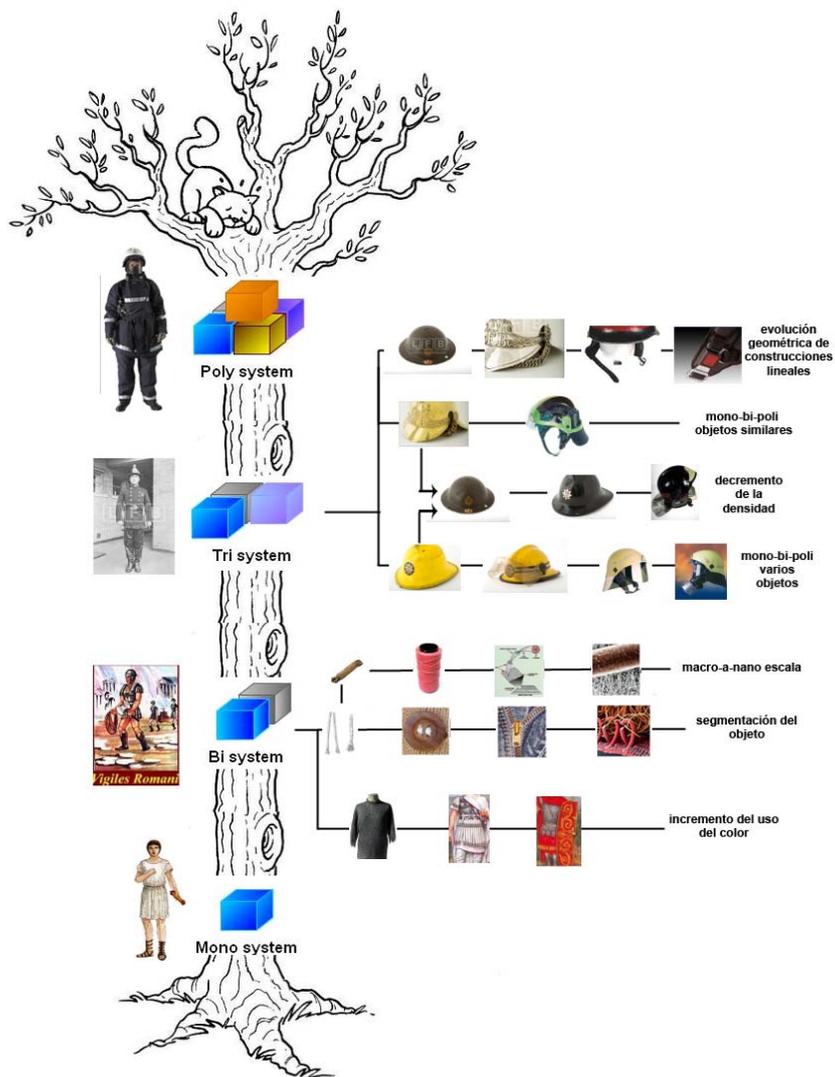
Una de estas herramientas analizadas es la matriz de contradicciones y los principios inventivos, la cual posibilitaba la elaboración de un módulo de análisis y optimización de soluciones, a través del análisis de los requisitos y restricciones de los atributos de las estructuras de una solución y las restricciones del medio de un diseño planteado en un esquema B-FES. Los principales logros derivados de investigar en esta línea serían la posibilidad de elaborar un sistema de evaluación y optimización de soluciones, la creación de una herramienta para corregir diseños defectuosos, y la posibilidad de crear un KBS para elaborar diseños conceptuales novedosos a partir de la introducción de los requisitos y restricciones necesarios.

Más allá de esta anterior herramienta también tenemos la herramienta de los árboles de evolución (Shpakovsky, 2003), derivada de las líneas de evolución de TRIZ. La opción de poder crear árboles de evolución aprovechando el marco B-FES y el modelo B-Cube parece interesante para tenerla en cuenta en futuras investigaciones. En este caso se posibilitaría la creación de un KBS que, alimentado con las bases de datos de conocimiento específicos para cada empresa y/o cada sector, permitiría servir de guía y orientación al departamento de I+D de la empresa o al sector científico correspondiente sobre que líneas o hacia que direcciones hay que dedicar los esfuerzos investigadores para conseguir resultados óptimos dentro del sector en que nos movemos y dentro de la gama de productos a la que se dedica la empresa. Es decir, se posibilitaría la creación de una herramienta automática para la gestión de la innovación.

En los árboles de evolución, líneas de evolución que utiliza a las mismas para analizar la historia y futuras proyecciones del instrumento objeto de estudio. Para su elaboración se empieza por la selección de una línea de evolución y se realiza un análisis evolutivo del ítem seleccionado en lo concerniente a esa línea. Esta primera línea seleccionada se le denomina “tronco” del árbol, y cada uno de los saltos tecnológicos propuestos de la línea se denominan nodos o “nudos”. A partir de cada uno de los nodos de este tronco surgen otras líneas de evolución a modo de ramas primarias. El árbol de evolución continúa de este modo, y más líneas de evolución pueden ser

añadidas a las ramas primarias como ramas secundarias hasta alcanzar el nivel de detalle deseado. El resultado es un árbol de conceptos relacionados con la herramienta analizada, dónde pueden apreciarse huecos en las líneas o límites de las mismas no alcanzados que dejan espacio para el desarrollo de nuevos conceptos que pueden derivar en nuevas invenciones.

En las Figura 82 y Figura 83 se muestran sendos extractos de ejemplos de árboles de evolución, el primero orientado a describir la evolución de las prendas de protección antiincendios que utilizan los bomberos, y el segundo hacia la evolución de las prendas textiles en general. En sendas figuras se muestra una línea principal, representando el tronco del árbol, que muestra la evolución a un nivel más genérico. De cada uno de los nodos descritos en esta línea principal salen otras líneas que muestran evoluciones a partir del estado evolutivo representado en dicho nodo.



**Figura 82 – Árbol de evolución de los equipos de protección antiincendios**

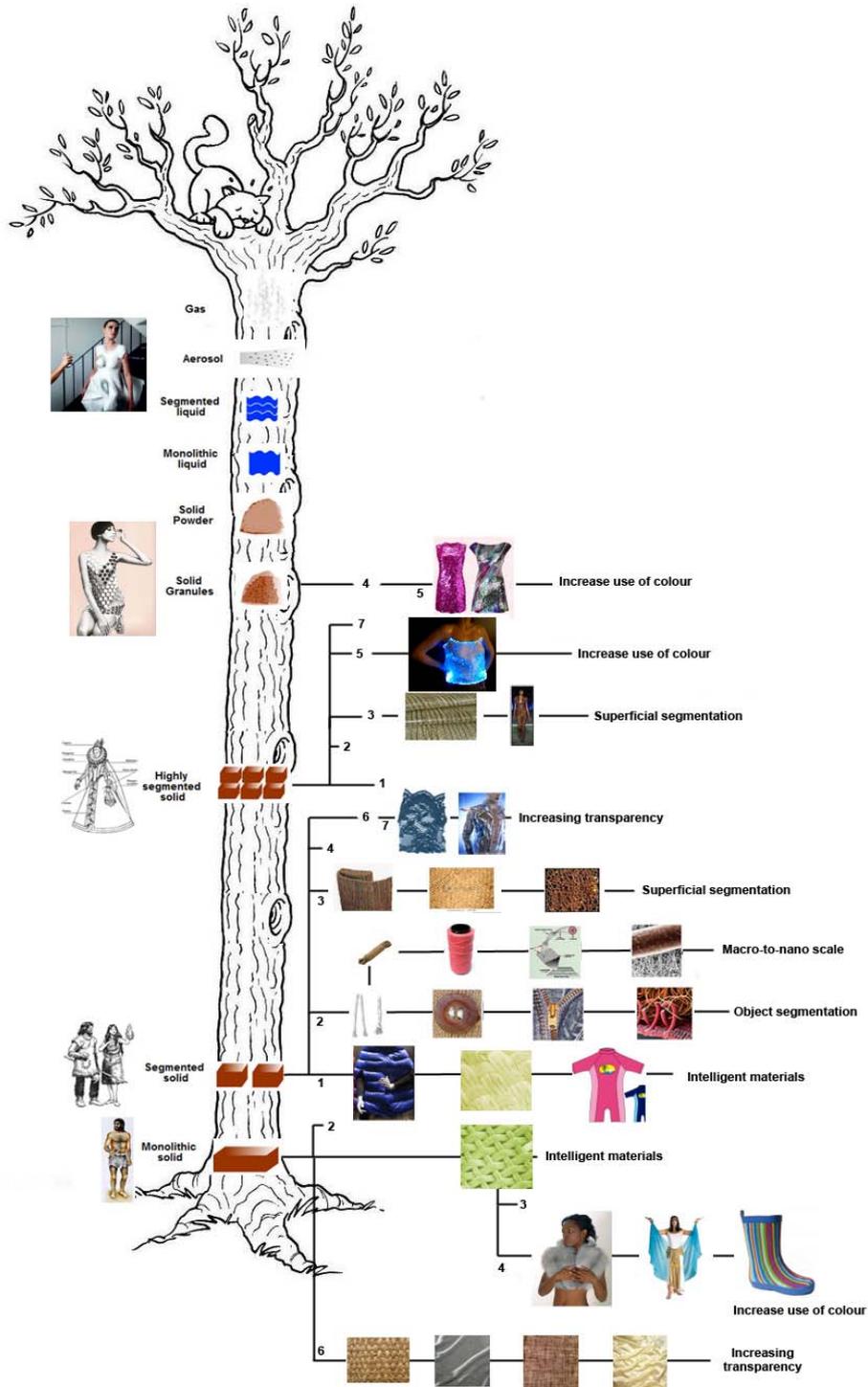


Figura 83 – Árbol de evolución de las prendas textiles

### **7.4.3 Módulos para evaluar la creatividad**

Como se ha adelantado en el punto 7.1 queda abierta la posibilidad de conseguir una métrica para la creatividad que cumpla los siguientes objetivos:

- Debe poder evaluar sobre el propio diseño conceptual, sin necesidad de materializar el diseño ni de que este llegue al mercado para conocer su éxito o no en el mismo.
- El diseño debe de poder ser evaluado por sí mismo, sin necesidad de ser comparado con otros. La escala debe de ser absoluta para todos los posibles diseños a ser evaluados por la misma a lo largo del tiempo.
- El resultado de la evaluación debe ser cuantitativo, para poder definir la diferencia exacta de los niveles creativos entre diferentes diseños, o para permitir el tratamiento estadístico de los datos.
- Debe ser objetiva.
- La evaluación debe de poder ser realizada por un solo evaluador.

Para conseguir estos objetivos, los dos principales obstáculos con que nos encontramos actualmente son la subjetividad de las medidas y el estado cualitativo de las mismas. La subjetividad es un problema difícil de resolver, sobre todo en las escalas cualitativas. Los evaluadores siempre van a estar influenciados por sus gustos personales, la sociedad, su cultura, sus conocimientos, e incluso por la popularidad del creador de la idea. Por otra parte, muchas veces se hacen necesarias las escalas cualitativas para poder determinar el grado de creatividad exacto de un producto sobre otros, sobre todo cuando se intenta trabajar con datos estadísticos.

A fecha de depósito del presente proyecto de Tesis esta línea permanece abierta por el propio autor del proyecto colaborando con otros investigadores expertos en la materia. Para tal efecto se ha escogido el modelo de Sarkar y Chakrabarti (Sarkar & Chakrabarti, 2008) como modelo cualitativo sobre el que se le está intentando crear una escala cuantitativa a través de sus consideraciones para establecer los niveles de novedad y de utilidad de un diseño, con la finalidad de poder discernir de un mejor modo las diferencias reales entre dos productos en lo que respecta a términos de creatividad, y además facilitar el tratamiento estadístico con finalidad científica. Se

espera también que dichas consideraciones lleguen a establecer unas escalas cerradas que reduzcan al mismo tiempo la varianza que pueda ser establecida por la subjetividad del evaluador. Para validar los resultados del trabajo se ha escogido la CPSS que presenta unos valores cuantitativos, y que, a pesar de ser inicialmente también subjetiva, el hecho de que cada valor esté determinado por diferentes pares bipolares reduce la variabilidad frente a cuestionarios de escalas absolutas, y el hecho de que puede ser respondido por un gran número de evaluadores proporciona una media fiable para su evaluación (Besemer & O'Quin, 1989).

Otra ventaja que presenta el hecho de que una métrica dada tenga sus rangos y escalas definidas del modo más cerrado posible para evitar la subjetividad de la valoración es que, además de facilitar la evaluación por un solo evaluador, este proceso puede ser a su vez automatizado, permitiendo así la elaboración de un módulo para la evaluación de diseños creativos capaz de ser vinculado a un KBS.

#### **7.4.4 Estimulación de la creatividad con el modelo B-Cube**

Otra posibilidad que presenta el modelo B-Cube consiste en que, como modelo de ayuda para el diseñador que le ayuda en la estructuración del conocimiento a la hora de completar el proceso de diseño, pueda considerarse como un estímulo suficiente para lograr producir resultados más creativos que sin la ayuda del mismo. Para corroborar esta nueva hipótesis se deberá plantear un experimento en el que varios grupos homogéneos de diseñadores se enfrenten a diferentes problemas, debiendo cada grupo resolver los mismos problemas empleando para ello el modelo B-Cube la mitad de ellos, y la otra mitad sin aplicar metodología alguna, alternando para cada problema cuales son los grupos que aplican el modelo B-Cube.

La batería de soluciones resultantes deberá ser evaluada en función del grado de creatividad que presenten con una o más métricas de las presentadas en el capítulo 6 (o con la desarrollada en la futura línea de investigación presentada en el punto 7.4.3). Los resultados de la evaluación se tratarán estadísticamente para analizar hasta qué punto el empleo del modelo B-Cube estimula la creatividad de los diseñadores o no, en que porcentaje y tipos de problemas ocurre esto, y que factores adicionales pueden motivar varianzas en los resultados.

## **7.5 Publicaciones derivadas de la Tesis**

### **7.5.1 Publicaciones en revistas**

Chulvi, V., & Vidal, R. (2009). "TRIZ on Design-oriented Knowledge-based Systems. A study on function level". *The TRIZ Journal*, March.

Rivera, J., Vidal, R., Chulvi, V., & Lloveras, J. (2010). "La transmisión visual de la información como estímulo cognitivo de los procesos creativos". *Anales de Psicología*, 26, 226-237.

Chulvi, V. & Vidal, R. "B-Cube taxonomy of artifact behaviours". Enviado para su publicación a *The Computer Journal*, Special Issue on "Engineering Knowledge and Semantic Systems".

### **7.5.2 Capítulos de libro**

Abad-Kelly, J., Cebrián, D., & Chulvi, V. (2009). "An ontology-based approach integrating life cycle analysis and computer aided design". In: AEIPRO (Ed.), *Selected Proceedings from the 12th International Congress on Project Engineering* (pp. 161-172).

Chulvi, V., & Vidal, R. (2009). "Applicability of the B-Cube model to the services sector". In: AEIPRO (Ed.), *Selected Proceedings from the 12th International Congress on Project Engineering* (pp. 121-131).

### **7.5.3 Publicaciones en congresos**

Chulvi, V., & Vidal, R. (2007). "Vinculación de TRIZ con el diseño funcional". *Proceedings of XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO)*. Lugo.

Abad-Kelly, J., Cebrián, D., & Chulvi, V. (2008). "An ontology-based approach integrating life cycle analysis and computer aided design". *Proceedings of XII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO)*. Zaragoza.

Chulvi, V., & Vidal, R. (2008). "Aplicabilidad de B-Cube al sector servicios". *Proceedings of XII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO)*. Zaragoza.

Chulvi, V., Vidal, R., & Cebrian-Tarrasón, D. (2008). "B-Cube". *Proceedings of XII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO)*. Zaragoza.

Chulvi, V., Martínez-Mañas, B., Baquero, M., Herráiz, S., & Vidal, R. (2009). "Métricas para la creatividad, y su enfoque para la enseñanza

en las universidades". Proceedings of XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO). Badajoz.

Chulvi, V., & Sánchez-Mora, M. (2009). "Modelo informal basado en IDEF4 para la representación de diseños basados en el esquema FBS". Proceedings of XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO). Badajoz.

Chulvi, V., & Vidal, R. (2009). "Functional basis and B-Cube: alternative or complementary models?" Proceedings of International Conference On Engineering Design, ICED'09. Stanford, Ca, USA.

Chulvi, V., & Vidal, R. (2009). "Estudio sobre las herramientas de TRIZ para determinar su utilidad en la automatización con el diseño funcional". Proceedings of XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO). Badajoz.

Chulvi, V., & Vidal, R. (2009). "Evolución de un diseño funcional en un esquema FBS a través de las terminologías del NIST y B-Cube". Proceedings of XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO). Badajoz.

Sorli, M., Vidal, R., Cebrián, D., Sopelana, A., & Chulvi, V. (2009). "Product Eco-Innovative Design based on the Knowledge". 16th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering. Cairo, Egypt.

Chulvi, V., & Ralda, S. (2010). "Futuro de los EPI's antiincendios con TRIZ". Proceedings of XIV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO). Madrid, Spain.

Chulvi, V., & Vidal, R. (2010). "B-Cube model in automated functional design". Proceedings of 2nd International Conference on Agents and Artificial Intelligence. Valencia, Spain.

Chulvi, V., & Vidal, R. (2010). "Taxonomías de comportamientos humanos en el modelo B-Cube". Proceedings of XIV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO). Madrid, Spain.



## **Referencias**



- Aamodt A., Plaza E. (1994). Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *AI Communications* 7(1): 39-59.
- Abdalla A. A. (2006). Systematic Innovation: An Evaluation of the Methodologies Implementing TRIZ. *Journal of TRIZ in Engineering Design* 2(1): 74-92.
- Abdullah M. S., Evans A., Benest I., Kimble C. (2005). Developing a UML Profile for Modelling Knowledge-Based Systems. *Model Driven Architecture*. Anonymous, Springer Berlin / Heidelberg. 3599/2005: 220-233.
- Alexander C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge, Massachussets, Harvard University Press.
- Altshuller G. (1984). *Creativity as an Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problems*. Luxembourg, Gordon and Breach Science Publishers.
- Altshuller G. (1997). *Introducción a La Innovación Sistemática: TRIZ*, Internet Global S.L.
- Altshuller G. (1999). *The Innovation Algorithm. TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity*. Worcester, Technical Innovation Center, Inc.
- Altshuller G., Shulyak L. (1997). *40 Principles: TRIZ Keys to Technical Innovation*. Worcester, MA, Technical Innovation Center.
- Asimow M. (1962). *Introduction to Design*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall.
- Astigarraga E. (2000). *El Metodo Delphi*. 14.
- Bâdică C., Bâdică A. (2003). Role Activity Diagrams as Finite State Processes. 2nd International Symposium on Parallel Distributed Computing ISPDC'03, Ljubljana, Slovenia.
- Bâdică C., Teodorescu M., Spahiu C., Bâdică A., Fox C. (2005). Integrating Role Activity Diagrams and Hybrid Idef for Business Process Modeling Using Mda. Seventh International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC'05), Timisoara, Romania.
- Bakouros Y. L., Demetriadou V. M. (2004). *Herramientas De Gestión De La Innovación*.
- Barry K. (2007). *Patents - Measuring a Piece of Innovation*. [www.realinnovation.com](http://www.realinnovation.com).
- Belski I. (2007). *Improve Your Thinking: Substance Field Analysis*. Melbourne, Australia.

- Berliner D. C., Angell D., Shearer J. W. (1964). Behaviors, Measures and Instruments for Performance Evaluation in Simulated Environments. 1st Symposium and Workshop on the Quantification of Human Performance, Albuquerque-New Mexico.
- Bermell-García P., Fan I.-S. (2002). A Kbe System for the Design of Wind Tunnel Models Using Reusable Knowledge Components. VI International Congress on Project Engineering, Barcelona.
- Bermell-García P., Fan I.-S., Li G., Porter R., Butter D. (2001). Effective Abstraction of Engineering Knowledge for KBE Implementation. 13 International Conference on Engineering Design, Glasgow.
- Besemer S. P. (1998). Creative Product Analysis Matrix: Testing the Model Structure and a Comparison among Products -- Three Novel Chairs. *Creativity Research Journal* 11(4): 333 - 346.
- Besemer S. P. (2007). Using the Creative Product Semantic Scale as a Metric in Concept Evaluation, Improvement and Selection. PDMA International Conference.
- Besemer S. P., O'Quin K. (1989). The Development, Reliability and Validity of the Revised Creative Product Semantic Scale. *Creativity Research Journal*(2): 268-279.
- Bohm M. R., Stone R. B. (2004). Representing Functionality to Support Reuse: Conceptual and Supporting Functions. ASME DETC & CIE Conferences, Salt Lake City, Utah.
- Bohm M. R., Stone R. B., Szykman S. (2003). Enhancing Virtual Product Representation for Advanced Design Repository Systems. DETC 03 ASME 2003 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conferences, Chicago, Illinois.
- Bonaccorsi A. (2006). Grammars of Creation. Mapping Search Strategies for Radical Innovation. Innovation Pressure Conference, Tampere, Finland.
- Borgo S., Carrara M., Garbacz P., Vermaas P. E. (2009). A Formal Ontological Perspective on the Behaviors and Functions of Technical Artifacts. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 23(Special Issue 01): 3-21.
- Borgo S., Carrara M., Vermaas P. E., Garbacz P. (2006). Behaviour of a Technical Artifact: An Ontological Perspective in Engineering. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications* 150(Formal Ontology in Information Systems): 214–225.
- Borgo S., Gangemi A., Guarino N., Masolo C., Oltramari A. (2002). Wonderweb Deliverable D15.

- Bottazzi E., Ferrario R. (2006). Preliminaries to a Dolce Ontology of Organizations. *International Journal of Business Process Integration and Management*.
- Bracewell R., Sharpe J. (1996). Functional Descriptions Used in Computer Support for Qualitative Scheme Generation- "Schemebuilder". *AIEDAM* 10(4): 333-346.
- Brimble R., Sellini F. (2000). The Moka Modelling Language. *Knowledge Engineering and Knowledge Management. Methods, Models, and Tools: 12th International Conference, EKAW 2000 Volume 1937/2000*: 49.
- Bryant-Arnold C. R., Pieper E., Walther B., Kurtoglu T., Stone R., McAdams D., Campbell M. (2006). Software Evaluation of an Automated Concept Generator Design Tool. 2006 ASEE Annual Conference & Exposition: Excellence in Education, Chicago, IL. USA.
- Bryant-Arnold C. R., Stone R. B., Greer J. L., McAdams D. A., Kurtoglu T., Campbell M. I. (2007). A Function-Based Component Ontology for Systems Design. 16th International Conference on Engineering Design, Paris, France.
- Busov B., Mann D. L., Jirman P. (1999). TRIZ and Invention Machine®: Methods and Systems for Creative Engineering and Education in the 21st Century. 1st International Conference on Advanced Engineering Design.
- Buzan T. (2002). *How to Mind Map*. London, Thorsons.
- Buzan T., Buzan B. (1999). *El Libro De Los Mapas Mentales: Cómo Utilizar Al Máximo Las Capacidades De La Mente*, Urano.
- Camp R. C. (1989). *Benchmarking: The Search for Industry Best Practices That Lead to Superior Performance*. Milwaukee (USA), Amer Society for Quality.
- Campbell M., Cagan J., Kotovsky K. (2003). The a-Design Approach to Managing Automated Design Synthesis. *Research in Engineering Design* 14: 12 - 24.
- Cao G., Tan R. (2007). FBES Model for Product Conceptual Design. *International journal of Product Development* 4(1/2): 22-36.
- Cascini G. (2004). State-of-the-Art and Trends of Computer-Aided Innovation Tools. IFIP 18th World Computer Congress, Tolouse, France.
- Cascini G., Agili A., Zini M. (2005). Building a Patents Small-World Network as a Means for Computer-Aided Innovation. 1ST IFIP TC5 Working Conference on CAI.

- Cascini G., Rissone P. (2004). Plastics Design: Integrating TRIZ Creativity and Semantic Knowledge Portals. *Journal of Engineering Design* 15(4): 405-424.
- Cascini G., Rotini F., Russo D. (2008). Networks of Trends: Systematic Definition of Evolutionary Scenarios. 8th ETRIA World TRIZ Future Conference.
- Cascini G., Zini M. (2008). Measuring Patent Similarity by Comparing Inventions Functional Trees. *CIRP Design Conference 2008*.
- Castelfranchi C. (1998). Modeling Social Action for AI Agents. *Artificial Intelligence Special Issue: artificial intelligence 40 years later* 103(1-2): 157 - 182.
- Cavallucci D., León N. (2004). Towards "Inventiveness-Oriented" CAI Tools. *IFIP 18th World Computer Congress, Toulouse, France*.
- Cavallucci D., Russelot F., Zanni C. (2008). Representing and Selecting Problems through Contradictions Clouds. *CIRP Design Conference 2008*.
- Cavallucci D., Weill R. D. (2001). Integrating Altshuller's Development Laws for Technical Systems into the Design Process. *Annals of the cirp* Vol 50(1): 115-120.
- Cebrian-Tarrason D., Lopez-Montero J. A., Vidal R. (2008). Ontofabes: Ontology Design Based in Fbs Framework. *CIRP Design Conference 2008*.
- Chakrabarti A. (2002). *Engineering Design Synthesis. Understanding, Approaches and Tools*. London, Springer-Verlag.
- Chakrabarti A., Sarkar P., Leelavathamma B., Nataraju B. S. (2005). A Functional Representation for Aiding Biomimetic and Artificial Inspiration of New Ideas. *Artificial intelligence for engineering design, analysis and manufacturing (AIEDAM)* 19: 113-132.
- Chandrasekaran B. (2005). Representing Function: Relating Functional Representation and Functional Modeling Research Streams. *AIEDAM Artificial Intellig. for Engineering Design* 19(2): 65-74.
- Chandrasekaran B., Josephson J. R. (2000). Function in Device Representation. *Engineering with Computers* 16: 162–177.
- Chang H. T., Chen J. L. (2004). The Conflict-Problem-Solving CAD Software Integrating Triz into Eco- Innovation. *Advances in Engineering Software* 35(8): 553-566.
- Chang H. T., Chen J. L., Tainan T. (2003). Eco-Innovative Examples for 40 TRIZ Inventive Principles. *TRIZ journal*.

- Chaur J., Lloveras J. (2003). Valoración De La Creatividad En El Desarrollo De Nuevos Productos. VII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos.
- Chen Y. M. (1999). Integrating Knowledge, Data and Geometry: A Computer-Aided Concurrent Engineering Infrastructure. *Integrated Computer-Aided Engineering* 6(3): 189-212.
- Chiang W.-C., Pennathur A., Mital A. (2001). Designing and Manufacturing Consumer Products for Functionality: A Literature Review of Current Function Definitions and Design Support Tools. *Integrated Manufacturing Systems* 12(6): 430-448.
- Christiaans H. H. C. M. (2002). Creativity as a Design Criterion. *Creativity Research Journal* 14(1): 41-54.
- Chuksin P., Shpakovsky N. (2006). Information Analysis and Presentation in Forecasting. *The TRIZ Journal*.
- Chulvi V., Sancho A., Cebrian D., Gimenez R., Muñoz C., Vidal R. (2007). Knowledge-Based Engineering in Cranioplasty Implant Design. 16th International Conference on Engineering Design, Paris, France.
- CIDEM (2002). Guía De Gestión De La Innovación. Parte 1: Diagnóstico.
- Colombo G., Pugliese D., Rizzi C. (2008). Developing Da Applications in Smes Industrial Context. *CIRP Design Conference 2008*.
- Cooper S., Fan I., Li G. (1999). Achieving Competitive Advantage through Knowledge-Based Engineering. UK, Department of Trade and Industry.
- Corbalán-Berná F. J., Martínez-Zaragoza F., Donolo D. S., Alonso-Monreal C., Tejerina-Arreal M., Limiñana-Gras R. M. (2003). *Inteligencia Creativa: Una Medida Cognitiva De La Creatividad (Crea)* Madrid.
- COTEC (2001). *Indicadores De Innovación. Situación En España*.
- Csikszentmihalyi M. (1998). *Creatividad. El Fluir Y La Psicología Del Descubrimiento Y La Invención*. Barcelona, Paidós Transiciones.
- Dalkey N. C. (1967). *Delphi*. Santa Monica, California, The Rand Corporation.
- Deng Y. (2000). Functional Design of Mechanical Products: Design Model and Modeling Framework. 238.
- Deng Y. (2002). Function and Behavior Representation in Conceptual Mechanical Design. *Artificial intelligence for engineering design, analysis and manufacturing (AIEDAM)* 16: 343-362.

- Deng Y., Britton G. A., Tor S. B. (2000). Constraint-Based Functional Design Verification for Conceptual Design. *Computer-Aided Design* 32(14): 889-899.
- Dewulf S. (2006). Directed Variation: Variation of Properties for New or Improved Function Product DNA, a Base for 'Connect and Develop'. ETRIA TRIZ Futures, Kortrijk, Belgium.
- Domb E., Mann D. (1999). 40 Inventive (Business) Principles with Examples. *The TRIZ Journal*.
- Domb E., Mann D. (2001). TRIZ in the Knowledge Era: Achieving Profitable E-Commerce. Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, PICMET '01. , Portland, OR, USA.
- Dooley R. L., Heimke G., Dingankar A., Berg E., Kimbrough E. (1988). Automated Design and Analysis System for Design of Custom Orthopedic Implants. Proceedings of the first international conference on Industrial and engineering applications of artificial intelligence and expert systems 1: 405-412.
- Dorst K., Cross N. (2001). Creativity in the Design Process: Co-Evolution of Problem-Solution. *Design Studies* 22: 425 - 437.
- Dourson S. (2004). The 40 Inventive Principles of Triz Applied to Finance. *The TRIZ Journal*.
- Dubois S., Rasovska I., Guio R. D. (2008). Comparison of Non Solvable Problem Solving Principles Issued from Csp and Triz. CIRP Design Conference 2008.
- Duez P., Vicente K. J. (2005). Ecological Interface Design and Computer Network Management: The Effects of Network Size and Fault Frequency. *International Journal of human computer studies* 63(6): 565-586.
- Fenves S. (2002). A Core Product Model for Representing Design Information.
- Ferrer E. (1997). *Información Y Comunicación*. México.
- Feyngenson N. (2006). Function Synthesis: New Methodological Tool and Case Studies. ETRIA TRIZ Futures, Kortrijk, Belgium.
- Fineberg M. L. (1995). A Comprehensive Taxonomy of Human Behaviors for Synthetic Forces.
- Fineberg M. L., McClellan G. E., Peters S. D. (1996). Sensitizing Synthetic Forces to Suppression on the Virtual Battlefield. 6th Conference on Computer Generated Forces and Behavioural Representation, Orlando, Florida.

- Fleishman E. A., Quantance M. K. (1984). *Taxonomies of Human Performance. The Description of Human Tasks*. Orlando, Florida, Academic Press, INC.
- Fox M. S., Barbuceanu M., Gruninger M., Lin J. (1998). An Organization Ontology for Enterprise Modelling. *Simulating Organizations: Computational Models of Institutions and Groups*: 131–152.
- Garbacz P. (2006). Towards a Standard Taxonomy of Artifact Functions. *Applied Ontology* 1(3): 221-236.
- Garcia R., Calantone R. (2002). A Critical Look at Technological Innovation Typology and Innovativeness Terminology: A Literature Review. *The Journal of Product Innovation Management* 19: 110-132.
- Gero J. (1990). Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design. *AI magazine* 11(4): 26 - 36.
- Gero J. (1996). Creativity, Emergence and Evolution in Design. *Knowledge-Based Systems* 9: 435 - 448.
- Gero J., Fujii H. (2000). A Computational Framework for Concept Formation for a Situated Design Agent. *Knowledge-Based Systems* 13: 361 - 368.
- Gero J., Kannengiesser U. (2002). The Situated Function-Behaviour-Structure-Framework. *Artificial Intelligence in Design'02*: 89-104.
- Gero J., Kannengiesser U. (2003a). Function-Behaviour-Structure: A Model for Social Situated Agents. *International Joint Conference on Artificial Intelligence, Acapulco, Mexico*.
- Gero J., Kannengiesser U. (2003b). Towards a Framework for Agent-Based Product Modelling. *International Conference on Engineering Design, ICED 03, Stockholm, Sweden, Design Society*.
- Gero J., Tham K. W., Lee H. S. (1992). *Behaviour: A Link between Function and Structure in Design*. IFIP - Intelligent Computer Aided Design, North Holland, Elsevier Science Publishers.
- Gero J. S., Kannengiesser U. (2004). The Situated Function-Behaviour-Structure Framework. *Design Studies* 25(4): 373-391.
- Gero J. S., Kannengiesser U. (2007). An Ontology of Situated Design Teams. *AIEDAM* 21(4): 379-391.
- Gershenson J. A., Stauffer L. A. (1995). The Creation of a Taxonomy for Manufacturability Design Requirements. *Design Engineering Technical Conferences*.
- Gilchrist A. (2003). Thesauri, Taxonomies and Ontologies - an Etymological Note. *Journal of Documentation* 59(1).

- Golden I. J. (2005). Function Based Archival and Retrieval: Developing a Repository of Biologically Inspired Product Concepts. Department of Mechanical Engineering Master of Science.
- Gómez-Pérez A., Fernández-López M., Corcho O. (2004). Ontological Engineering with Examples from the Areas of Knowledge Management, E-Commerce and the Semantic Web. London.
- Gómez-Senent E. (1998). La Ciencia De La Creación De Lo Artificial. Un Paradigma Para La Resolución De Problemas. Valencia, Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Gruber T. R. (1993). Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing.
- Guildford J. P. (1968). Intelligence, Creativity, and Their Educational Implications. San Diego.
- Guilford J. P. (1977). Way Beyond the IQ. Buffalo, N.Y, Creative Education Foundation.
- Hipple J. (2003). So, You Want to Start an Innovation Effort. Research Technology Management Vol 46(3): 11-13.
- Hipple J. (2005). The Integration of TRIZ with Other Ideation Tools and Processes as Well as with Psychological Assessment Tools. Creativity and Innovation a Management Vol 14(1): 22-33.
- Hirtz J., Stone R., McAdams D., Szykman S., Wood K. (2002). A Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts. Research in Engineering Design 13: 65 - 82.
- Hobbs A., Williamson A. (2002). Skills, Rules and Knowledge in Aircraft Maintenance: Errors in Context. Ergonomics 45(4): 290-308.
- Hocevar D., Bachelor P. (1989). A Taxonomy and Critique of Measurements Used in the Study of Creativity. Handbook of Creativity. Glover J. A., Ronning R. R., Reynolds C. R. New York, Plenum Press: 53-75.
- Howard T. J., Culley S. J., Dekonick E. (2008). Describing the Creative Design Process by the Integration of Engineering Design and Cognitive Psychology Literature. Design Studies 29(2): 160-180.
- Hundal M. (1990). A Systematic Method for Developing Function Structures, Solutions and Concept Variants. Mechanism and Machine Theory 25: 243-256.
- Hutcheson R. S., McAdams D. A., Stone R. B., Tumer I. Y. (2007). Function-Based Systems Engineering (Fuse). 16th International Conference on Engineering Design, Paris, France.

- Ikovenko S. (2004). TRIZ and Computer Aided Inventing. IFIP 18th World Computer Congress, Tolouse, France.
- Im S., Workman J. P. (2004). Market Orientation, Creativity, and New Product Performance in High-Technology Firms. *Journal of Marketing* 68: 114–132.
- Jugulum R., Frey D. D. (2007). Toward a Taxonomy of Concept Designs for Improved Robustness *Journal of Engineering Design* 18(2): 139-156.
- Justel D. (2008). Metodología Para La Eco-Innovación En El Diseño Para Desensamblado De Productos Industriales. Departamento de Ingeniería de Sistemas Industriales y Diseño. Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción: 248.
- Kannengiesser U., Zhu L. (2009). An Ontologically-Based Evaluation of Software Design Methods. *The Knowledge Engineering Review* 24(1): 41–58.
- Kano N., Seraku N., Takahashi F., Tsuji S. (1996). Attractive Quality and Must-Be Quality. *The Best on Quality*. Press A. Q. Milwaukee. 7.
- Kim S.-H., Jang K.-J. (2002). Designing Performance Analysis and Idef0 for Enterprise Modelling in Bpr. *International Journal of Production Economics* 76(2): 121-133.
- Kitamura Y., Mizoguchi R. (2003a). Ontology-Based Description of Functional Design Knowledge and Its Use in a Functional Way Server. *Expert Systems with Applications* 24(2): 153-166.
- Kitamura Y., Mizoguchi R. (2003b). Organizing Knowledge About Functional Decomposition. *International Conference on Engineering Design, ICED 03, Stockholm, Sweden, Design Society*.
- Kitamura Y., Mizoguchi R. (2004). Ontology-Based Systematization of Functional Knowledge. *Journal of Engineering Design* 15(4): 327-351.
- Kochan A. (1999). Jaguar Uses Knowledge-Based Tools to Reduce Model Development Times. *Assembly Automation* 19(2): 114-117.
- Kumara S. R. T., Kamarthi S. V. (1991). Function-to-Structure Transformation in Conceptual Design - an Associative Memory-Based Paradigm. *Journal of Intelligent Manufacturing* 2(5): 281-292.
- Kurt M. Y. (2000). A Comparison of Student's Product Creativity Using a Computer Simulation Activity Versus a Hands-on Activity in Technology Education.
- Kurtoglu T., Campbell M. I., Bryant C. R., Stone R. B., McAdams D. A. (2005). Deriving a Component Basis for Computational Functional Synthesis. *ICED 05 - International Conference on Engineering Design, Melbourne, Australia*.

- Kwak Y. H., Anbari F. T. (2006). Benefits, Obstacles, and Future of Six Sigma Approach. *Technovation* 26(5-6): 708-715.
- Lacy L. W. (2006). Interchanging Discrete Event Simulation Process-Interaction Models Using the Web Ontology Language - Owl. College of Engineering and Computer Science.
- Landeta J., Ed. (1999). *El Método Delphi: Una Técnica De Previsión Del Futuro*. Barcelona, Ariel.
- Liening A., Blount G. N. (1998). Influences of Kbe on the Aircraft Brake Industry. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology* 70(6): 439-444.
- Lin Y., Zhang W. J. (2004). Towards a Novel Interface Design Framework: Function–Behavior–State Paradigm. *Int. J. Human-Computer Studies* 61: 259-297.
- López-Martínez O., Navarro-Lozano J. (2008). Estudio Comparativo Entre Medidas De Creatividad: Ttct Vs. Crea. *anales de psicología* 24(1): 138-142.
- Lossack R. (2002). Design Process and Context for the Support of Design Synthesis. *Engineering Design Synthesis. Understanding, Approaches and Tools*. Chakrabarti A. London, Springer-Verlag: 213 - 227.
- Lossack R., Umeda Y., Tomiyama T. (1998). Requirement, Function and Physical Principle Modelling as the Basis for a Model of Synthesis. *Computer Aided Conceptual Design'98*.
- Malak R. J., Paredis C. J. J. (2007). Validating Behavioral Models for Reuse. *Research in engineering design* 18: 111-128.
- Malmqvist J., Axelsson R., Johansson M. (1996). A Comparative Analysis of the Theory of Inventive Problem Solving and the Systematic Approach of Pahl and Beitz. *Proceedings of DETC'96 ASME*, Irvine, California.
- Mann D. (1999). *Axiomatic Design and Triz:Compatibilities and Contradictions*. Industrial fellow,Department of mechanical engineering University of Bath.
- Mann D. (2003). Better Technology Forecasting Using Systematic Innovation Methods. *TF Highlights from ISF 2002* 70(8): 779-795.
- Mann D. (2005). New and Emerging Contradiction Elimination Tools. *Creativity and Innovation a Management* 14(1): 14-21.
- Mann D. (2009). Smart Materials Solve Contradictions. *The TRIZ Journal*.

- Mann D., Dewulf S. (2001). Evolving the World's Systematic Creativity Methods. 7th European Association of Creativity and Innovation conference.
- Mann D., Domb E. (1999). 40 Inventive (Business) Principles with Examples.
- Mann D., Jones E. (2002). Sustainable Services & Systems (3s) through Systematic Innovation Methods. The Journal of Sustainable Product Design Vol 2: 131-139.
- Masolo C., Borgo S., Gangemi A., Guarino N., Oltramari A. (2003). Wonderweb Deliverable D18.
- Masolo C., Guizzardi G., Vieu L., Bottazzi E., Ferrario R. (2005). Relational Roles and Qua-Individuals. AAAI Fall Symposium "Roles, an Interdisciplinary Perspective: Ontologies, Languages, and Multiagent Systems", Arlington, Virginia.
- Masolo C., Vieu L., Bottazzi E., Catenacci C., Ferrario R., Gangemi A., Guarino N. (2004). Social Roles and Their Descriptions. Ninth International Conference on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning,, Whistler, Canada.
- Mayer R. J., Menzel C. P., Painter M. K., deWitte P. S., Blinn T., Perakath B. (1995a). Information Integration for Concurrent Engineering (IICE) IDEF3 Process Description Capture Method Report.
- Mayer R. J., Menzel C. P., Painter M. K., deWitte P. S., Blinn T., Perakath B. (1995b). Information Integration for Concurrent Engineering (IICE) IDEF4 Object-Oriented Design Method Report
- Moehrle M. G. (2005). How Combinations of TRIZ Tools Are Used in Companies – Results of a Cluster Analysis. R&D Management Vol 35(3): 285-296.
- Moss J. (1966). Measuring Creative Abilities in Junior High School Industrial Arts. Washington, DC, American Council on Industrial Arts Teacher Education.
- Movarrei R., Vessal S. R. (2006). Application of Theory of Inventive Problem Solving in Customer Relationship Management. International Conference on Management of Innovation and Technology, Singapore.
- Mulet E., Chakrabarti A., Chulvi V., López-Mesa B., González M. C., Porcar A., Galán J. (2009). How Strongly Does Functional Analysis Influence Creativity? XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO), Badajoz.
- Mulet E., Vidal R. (2005). Integración De Principios Inventivos De TRIZ En Sistemas De Diseño Conceptual Asistido Por Ordenador (CACD).

- AEIPRO - Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Málaga, España.
- Nagel R. L., Bohm M. R., Stone R. B., McAdams D. A. (2007a). A Representation of Carrier Flows for Functional Design. 16th International Conference on Engineering Design, Paris, France.
- Nagel R. L., Vucovich J. P., Stone R. B., McAdams D. A. (2007b). Signal Flow Grammar from the Functional Basis. 16th International Conference on Engineering Design, Paris, France.
- Nakagawa T. (2004). Usit Operators for Solution Generation in TRIZ: Clearer Guide to Solution Paths. Etria: Triz Futures 2004, Florence, Italy.
- O'Quin K., Besemer S. P. (2006). Using the Creative Product Semantic Scale as a Metric for Results-Oriented Business. *Creativity and Innovation Management* 15(1): 34-44.
- Ochôa P., Pinto L. G. (2004). Aprender a Inovar: Guia Para O Desenvolvimento De Competências De Gestão Para Os Profissionais De Informação E Documentação. Lisboa, BAD.
- OECD (2005). Oslo Manual. Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data.
- Osborn A. (1953). *Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Thinking*. New York, Charles Scribner's Sons.
- Otis A. S., Lennon. R. T. (1995). Otis-Lennon School Ability Test, Harcourt Assessment, Inc.
- Pahl-Wostl C. (2002). Polycentric Integrated Assessment. *Integrated Assessment*(2-3): 220-232.
- Pahl G., Beitz W. (1984). *Engineering Design*, Design Council.
- Pahl G., Beitz W. (1996). *Engineering Design. A Systematic Approach*. London, Springer.
- Pascale P. (2005). ¿Dónde Está La Creatividad? Una Aproximación Al Modelo De Sistemas De Mihaly Csikszentmihalyi. *Arte, Individuo y Sociedad* 17: 61-84.
- Pavkovic N., Marjanovic D., Hoic M., Rohde D. (2009). An Explorer Style Interface for Design Knowledge Indexing Based on Taxonomies. International Conference of Engineering Design ICED09, Stanford, CA, USA.
- Pimmler T. U., Eppinger S. D. (1994). Integration Analysis of Product Decompositions. 6th International Conference on Design Theory and Methodology, Minneapolis, MA (New York), The American Society of Mechanical Engineers.

- Pinedo J. R. S. (2004). Herramientas De Gestión De La Innovación.
- Pinyayev A. (2006). Functional Clues. ETRIA TRIZ Futures, Kortrijk, Belgium.
- Preston S., Chapman C., Pinfold M., Smith G. (2005). Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Engineering Systems. International Journal of Information Technology and Management 4(1): 1-11.
- Qi M., Shangguan B. (2008). Design of the Knowledge Management Integrated System Based on TRIZ. International symposium on electronic commerce and security, Guangzhou City, China.
- Qian L. (2002). Creative Design by Analogy. Engineering Design Synthesis. Understanding, Approaches and Tools. Chakrabarti A. London, Springer-Verlag: 245 - 269.
- Rabideau G. F. (1964). Field Measurement of Human Performance in Man-Machine Systems. Human Factors 6: 663-372.
- Rasmussen J. (1983). Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics SMC-13(3): 257 - 266.
- Rivera J., Vidal R., Lloveras J. (2007). Mapas Delphi: Instrumento De Apoyo Para La Preparación, Incubación E Intuición De Ideas Innovadoras. XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO), Lugo.
- Romero F., Company P., Agost M. J., Vila C. (2008). Activity Modelling in a Collaborative Ceramic Tile Design Chain: An Enhanced Idef0 Approach. Research in engineering design 19: 1-20.
- Roozenburg N., Eekels J. (1995). Product Design: Fundamentals and Methods. Chichester, Wiley.
- Rovida E., Bertoni M., Carulli M. (2009). About the Use of Triz for Product-Service Development. International Conference of Engineering Design ICED09, Stanford, CA, USA.
- Roy U., Bharadwaj B. (2002). Design with Part Behaviors: Behavior Model, Representation and Applications. Computer-Aided Design 34(9): 613-636.
- Ruchti B., Livotov P. (2001). Triz-Based Innovation Principles and a Process for Problem Solving in Business and Management. TRIZ Journal.
- Runco M. A., Basadur M. (2006). Assessing Ideational and Evaluative Skills and Creative Styles and Attitudes. Creativity and Innovation Management 2(3): 166 - 173.

- Sainter P., Oldham K., Larkin A. (2000a). Achieving Benefits from Knowledge-Based Engineering Systems in the Longer Term as Well as in the Short Term. ICE 2000, Proceedings of the 6th International Conference on Concurrent: 143-150.
- Sainter P., Oldham K., Larkin A., Murton A. (2000b). Product Knowledge Management within Knowledge-Based Engineering Systems. Design Engineering Technical Conference and Computers and Information in Engineering Conference.
- Sánchez-Escobedo P. A., García-Mendoza A. (2007). Desarrollo Y Validación De Un Instrumento Para Medir La Creatividad En Alumnos Sobresalientes. IX COngreso Nacional de Investigación Educativa.
- Sarkar P., Chakrabarti A., Eds. (2008). Studing Engineering Design Creativity. Proceedings of the International Workshop on Studying Design Creativity.
- Schumpeter J. (1942). Capitalism, Socialism and Democracy. New York.
- Shah J. J., Vargas-Hernandez N., Smith S. M. (2002). Metrics for Measuring Ideation Effectiveness. Elsevier Science.
- Shai O., Reich Y. (2004a). Infused Design. I. Theory. Reserach in engineering design 15: 93-107.
- Shai O., Reich Y. (2004b). Infused Design. II. Practice. Reserach in engineering design 15: 108-121.
- Shpakovsky N. (2003). Evolution Trees. Analysis of Technical Information and Generation of New Ideas. Processing of technical and patent information by using evolution trees.
- Shpakovsky N., Chuksin P., Novitskaja E. (2002a). Forecasting Maps of Engineering System Evolution [www.gnrtr.com](http://www.gnrtr.com).
- Shpakovsky N., Chuksin P., Novitskaja E. (2002b). Tool for Generating and Selecting Concepts on the Basis of Trends of Engineering Systems Evolution [www.gnrtr.com](http://www.gnrtr.com).
- Shpakovsky N., Novitskaya E. (2003). One of the Evolution Trends of an Aircraft Propulsive Device. [www.gnrtr.com](http://www.gnrtr.com).
- Smits R. H., Harris B. A. (1999). Ontology or Taxonomy: A CMMS-CSS Sufficiency Analysis. 99.
- Soo V.-W., Lin S.-Y., Yang S.-Y., Lin S.-N., Shian-LuenCheng (2006). A Cooperative Multi-Agent Platform for Invention Based on Patent Document Analysis and Ontology. Expert Systems with Applications 31(4): 766-775.

- Souchkov V. (2007). Breakthrough Thinking with TRIZ for Business and Management: An Overview.
- Souchkov V., Hoeboer R., Zutphen M. (2006). Application of RCA+ to Solve Business Problems. ETRIA TFC 2006 Conference.
- Stone R. B., Wood K. L. (2000). Development of a Functional Basis for Design. *Journal of Mechanical Design* 122(4): 359-371.
- Sudarsan R., Roy U., Y.Narahari, Sriram R. D., Lyons K. W., Pramanik N. (2000). Information Models for Design Tolerancing: From Conceptual to the Detailed Design.
- Szykman S., Racz J., Sriram R. (1999). The Representation of Function in Computer-Based Design. *Desing Engineering Technical Conferences*, Las Vegas, Nevada, ASME.
- Takeda H., Yoshioka M., Shimomura Y., Fujimoto Y., Mormoto K., Oniki W. (2005). An Architecture for Designers' Support Systems with Knowledge-Embedded Documents. ICED 05 - International Conference on Engineering Design, Melbourne, Australia.
- Takeda H., Yoshioka M., Tomiyama T., Shimomura Y. (1994). Analysis of Design Processes by Function, Behavior and Structure. The Delft Protocols Workshop, conference proceedings.
- Taylor G., Wray R. E. (2004). Behavior Design Patterns: Engineering Human Behavior Models. Behavioral Representation in Modeling and Simulation, Arlington, VA.
- Terpenney J. (1998). Toward an Integrated Framework for Concurrent Engineering Design. *European Design Engineer* 2(1): 36-38.
- Thompson G., Lordan M. (1999). A Review of Creativity Principles Applied to Engineering Design. *Proceedings of the I MECH E Part E Journal of Process Mechanical Engineering*.
- Tor S. B., Britton G. A., Zhang W. Y., Deng Y. M. (2002). Guiding Functional Design of Mechanical Products through Rule-Based Causal Behavioural Reasoning. *International Journal of Production Research* 40(3): 667-682.
- Torrance E. P. (1969). *Torrance Test of Creative Thinking: Norms-Technical Manual*. Lexington, MA: Ginn.
- Tseng Y.-H., Lin C.-J., Lin Y.-I. (2007). Text Mining Techniques for Patent Analysis. *Information Processing & Management* 43(5): 1216-1247.
- Tyler J. G., Obrst L. J., Lee M. D., Meng A. C., Pack D. L., Peterson E. L. (1999). Knowledge-Based Agents for C2 Decision Support. *Simulation Interoperability Workshop*.

- Umeda Y., Kondoh S., Shimodura Y., Tomiyama T. (2005). Development of Design Methodology for Upgradable Products Based on Function-Behavior-State Modeling. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (AIEDAM)* 19: 161-182.
- Umeda Y., Takeda H., Tomiyama T., Yoshikawa H. (1990). *Function, Behaviour, and Structure. Applications of Artificial Intelligence in Engineering V.* Gero J. Berlin, Springer. 1: 177-194.
- Verbitsky M. (2004). *Semantic Triz.* The TRIZ Journal February.
- Verhaegena P. A., D'hondta J., Vertommen J., Dewulfb S., Dufloua J. R. (2009). Relating Properties and Functions from Patents to TRIZ Trends *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 1(3): 126-130.
- Verharen E., Weigand H., Dignum F. (1997). *Integrated Semantics for Information and Communication Systems. Database Applications Semantics.* Mark R. M. a. L., Chapman & Hall: 500--525.
- Vermaas P. E., Dorst K. (2007). On the Conceptual Framework of John Gero's Fbs-Model and the Prescriptive Aims of Design Methodology. *Design Studies* 28(2): 133-157.
- Vicente K. J., Rasmussen J. (1992). *Ecological Interface Design: Theoretical Foundations.* IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. 22(4): 589 - 606.
- Vidal R., Mulet E. (2006). Thinking About Computer Systems to Support Desing Synthesis. *Communications of the ACM* 49(4): 100-104.
- Vidal R., Mulet E., López-Mesa B., Bellés M. J., Thompson G. (2004). Exploring the Inclusion of Design Factors in Computer Aided Inventing. 18th IFIP World Computer Congress, Toulouse, Kluwer Academic Publishers.
- Whittaker D. (1991). Custom-Designed Hip Implants through Knowledge-Based Engineering. *Materials & Design* 12(2): 103-104.
- Willis M. P. (1961). *Deriving Training Device Implications from Learning Theory Principles.*
- Woodbury R. (1993). *A Genetic Approach to Creative Design. Modeling Creativity and Knowledge-based Creative Design,* Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates.
- Xu Q. L., Ong S. K., Nee A. Y. C. (2006). Function-Based Design Synthesis Approach to Design Reuse. *Research in engineering design* 17: 27-44.

- Ying-Chieh L., Chakrabarti A., Bligh T. (2000). A Computational Framework for Concept Generation and Exploration in Mechanical Design. *Artificial Intelligence in Design'00*.
- Yu K. M., Lau C. T., Tong K. L., Wong W. K. (2008). Integrated Conceptual Design with TRIZ. *The TRIZ Journal*.
- Zhang J., Chai K. H., Tan K. C. (2005a). Applying TRIZ to Service Conceptual Design: An Exploratory Study. *Creativity and Innovation a Management Vol 14(1)*: 34-42.
- Zhang M., Kirkovsky A., Pesetsky S. (2005b). Engineering Creativity and Knowledge Management Powered by RCA, Ontology and Triz. 1st IFIP TC-5 Working Conference on CAI, Ulm, Germany.
- Zhang W. Y., Tor S. B., Britton G. A. (2002a). Automated Functional Design of Engineering Systems. *Journal of Intelligence Manufacturing 13*: 119-133.
- Zhang W. Y., Tor S. B., Britton G. A. (2002b). A Heuristic State-Space Approach to the Functional Design of Mechanical Systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 19(4)*: 235-244.
- Zhang W. Y., Tor S. B., Britton G. A. (2003). Funcdesigner a Functional Design Software System. *Int. J. Adv. Manuf. Technol. 22*: 295-305.
- Zhang W. Y., Tor S. B., Britton G. A., Deng Y. M. (2001). Efdex: A Knowledge-Based Expert System for Functional Design of Engineering Systems. *Engineering with Computers 17*: 339-353.
- Zhang W. Y., Tor S. B., Britton G. A., Deng Y. M. (2002c). Functional Design of Mechanical Products Based on Behaviour-Driven Function-Environment-Structure Modeling Framework. 8.
- Zhao X. (2005). Integrated TRIZ and Six Sigma Theories for Service/Process Innovation. *ICSSSM'05 International Conference on Services Systems and Services Management, Chongqing, China*.

# Índice de los anexos

## **ANEXO I – Esquemas de representación de diseños**

Figura 25 – Esquema del desarrollo funcional del Tulum

Figura 33 - Esquema final para la familia de diseños A2 (lápiz)

Figura 34 - Esquema final para la familia de diseños B (tinta)

Figura 35 – Esquema final para la familia de diseños A1 (portaminas)

Figura 37 – Esquema principal del diseño de la bicicleta

Figura 47 – Representación del proceso de compra-venta de vehículos

Figura 75 – Comportamiento no deseado derivado de otro comportamiento

## **ANEXO II – Tabla de correlaciones B-Cube – Su-Fields**



# Anexo I



Figura 25 – Esquema del desarrollo funcional del Tulum

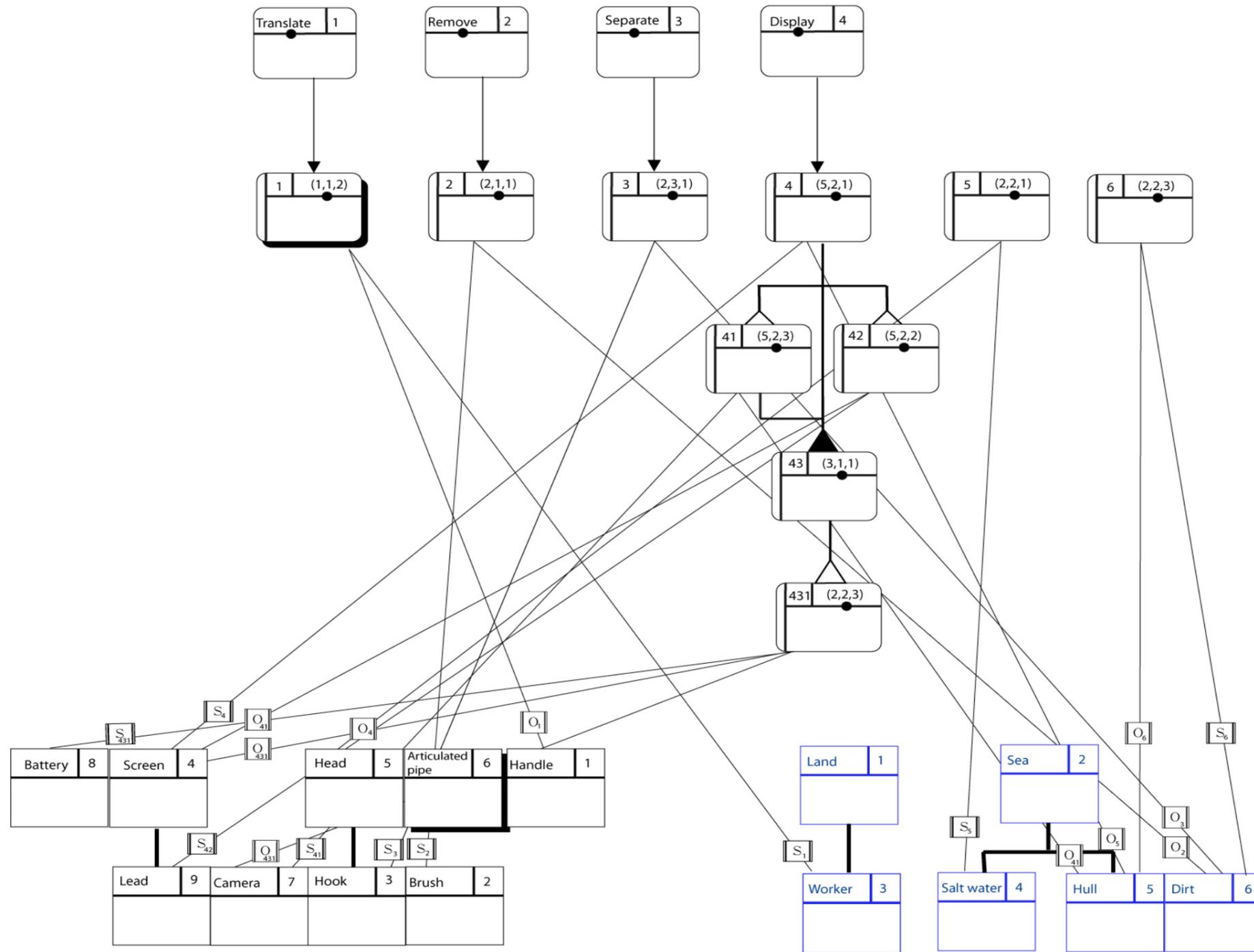


Figura 33 - Esquema final para la familia de diseños A2 (lápiz)

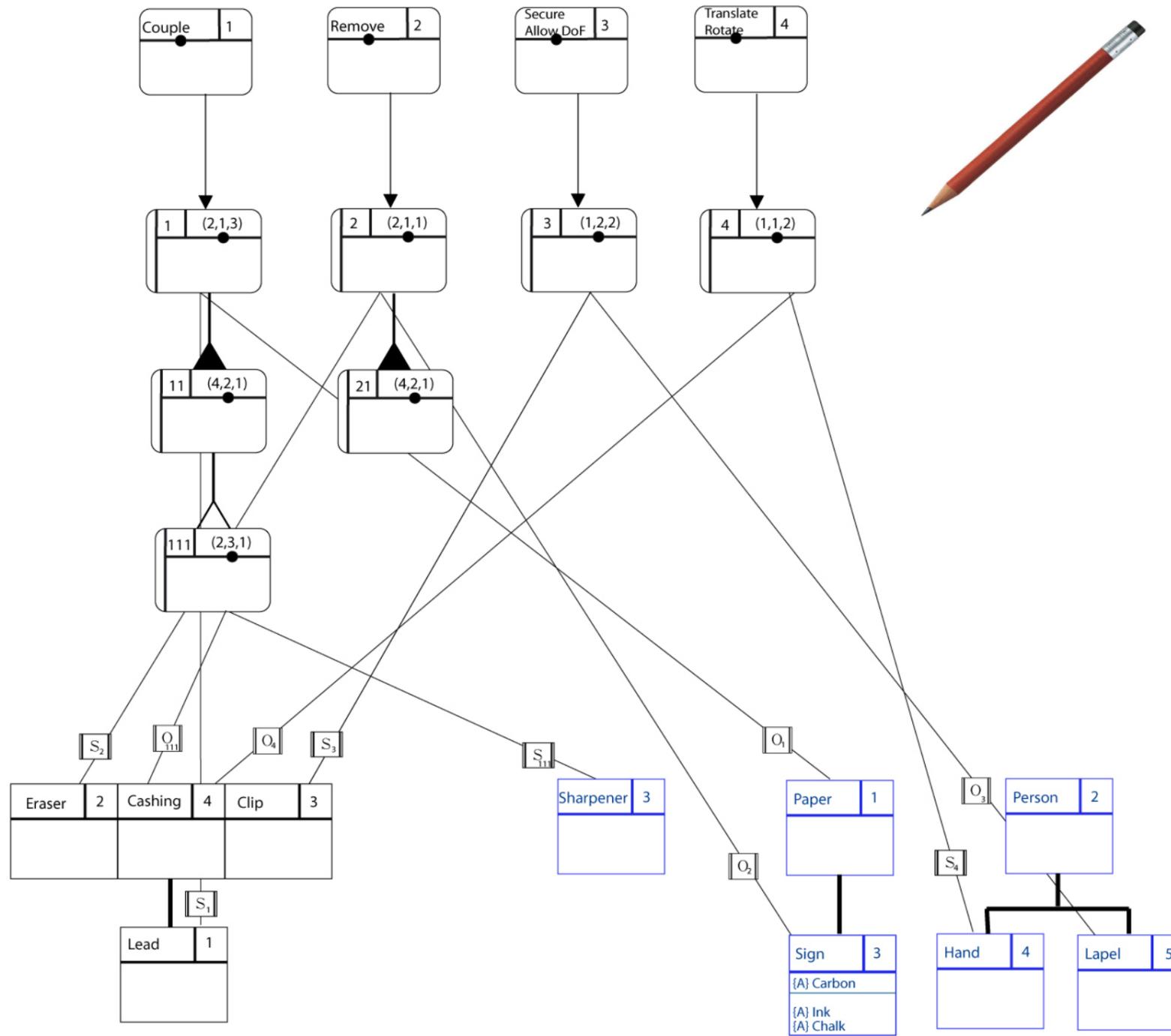


Figura 34 - Esquema final para la familia de diseños B (tinta)

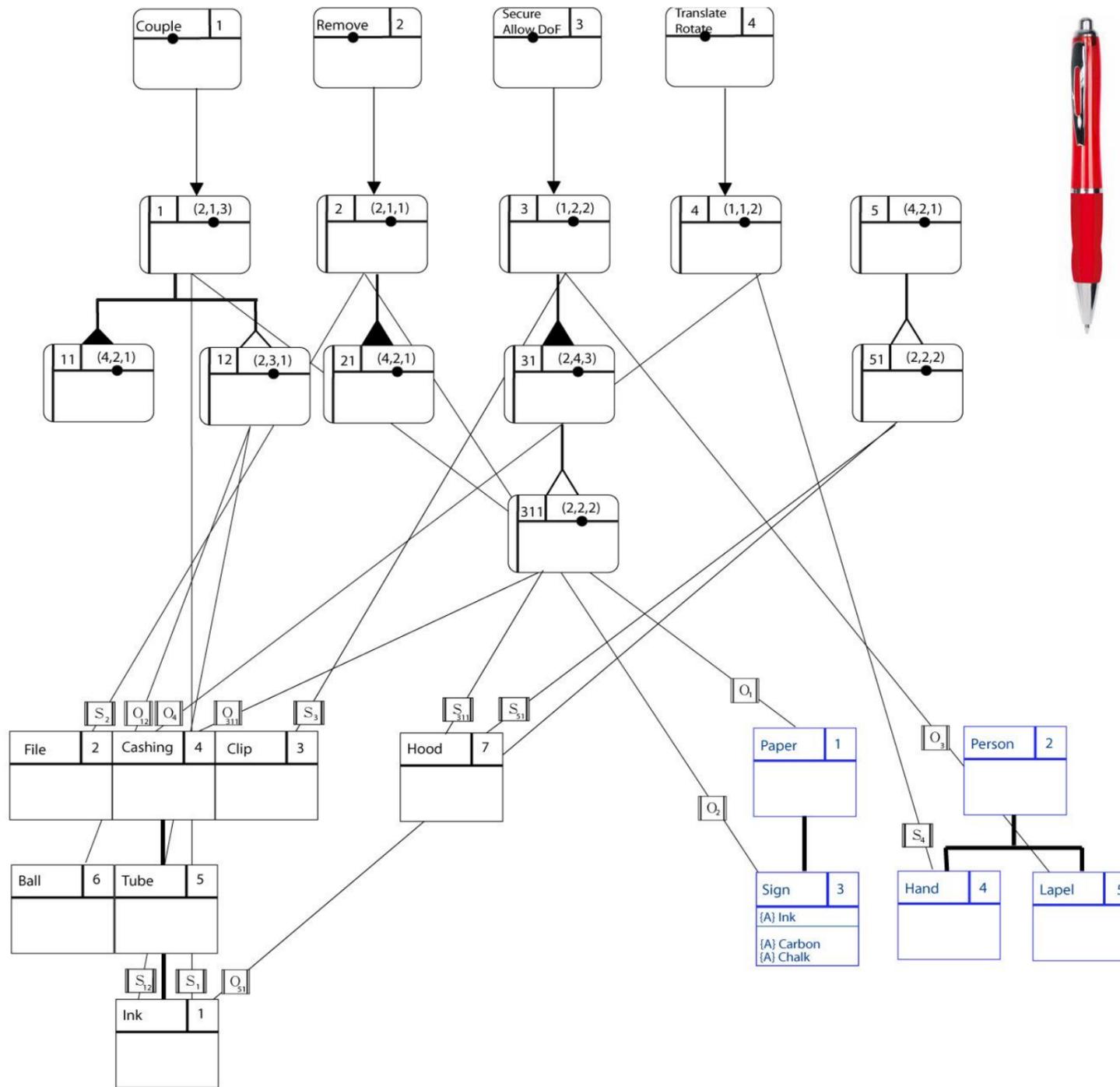


Figura 35 – Esquema final para la familia de diseños A1 (portaminas)

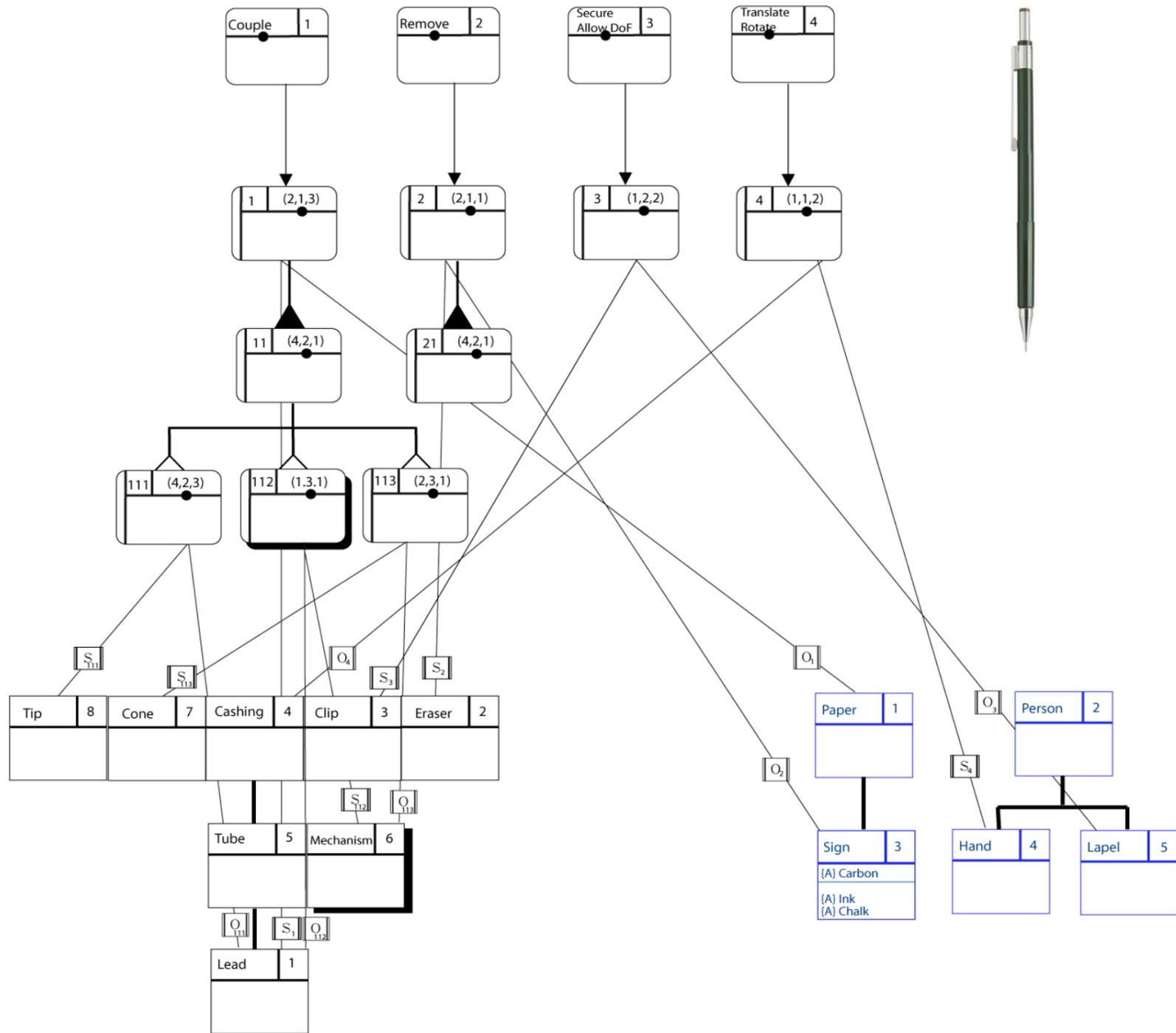


Figura 37 – Esquema principal del diseño de la bicicleta

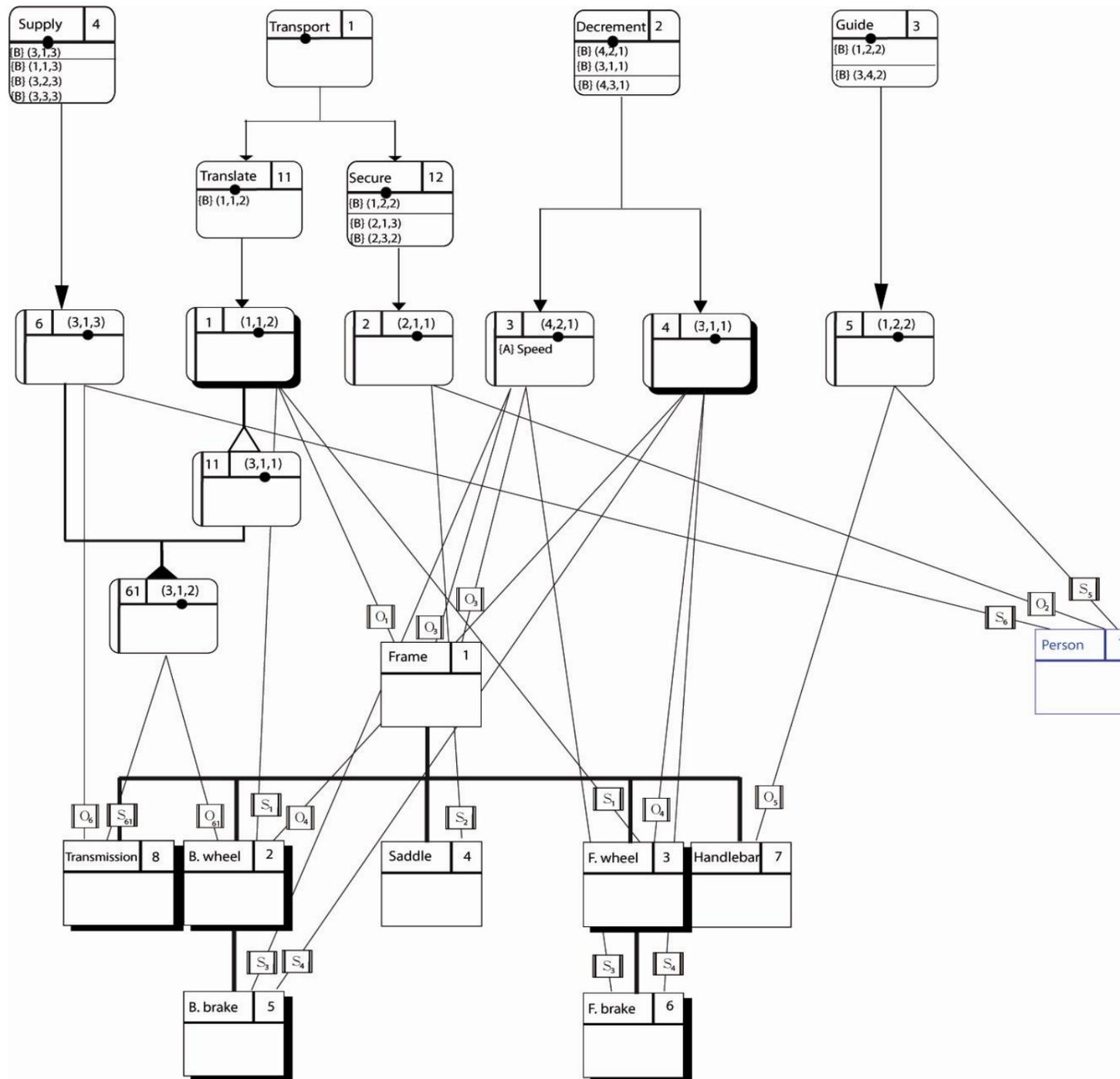


Figura 47 – Representación del proceso de compra-venta de vehículos

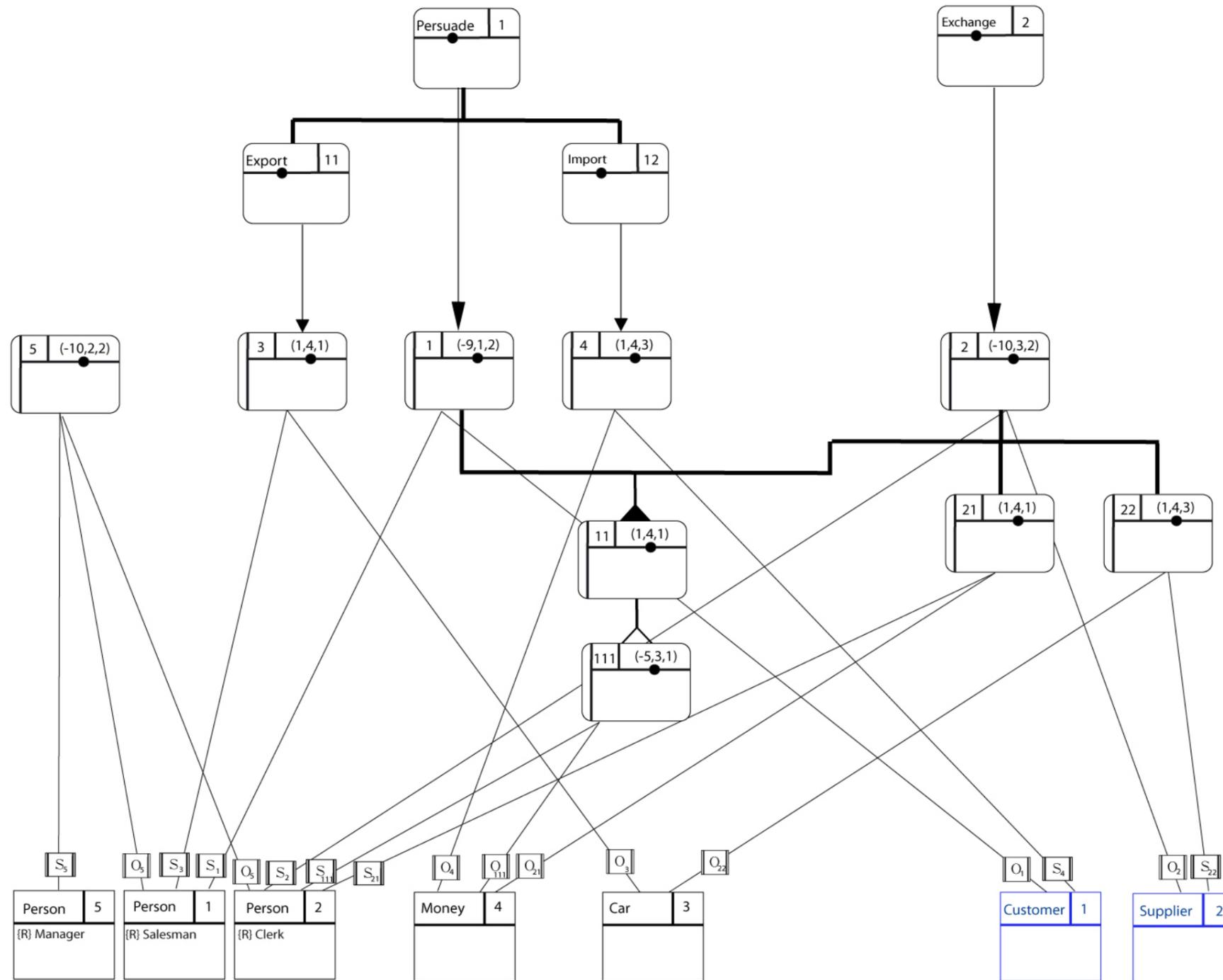
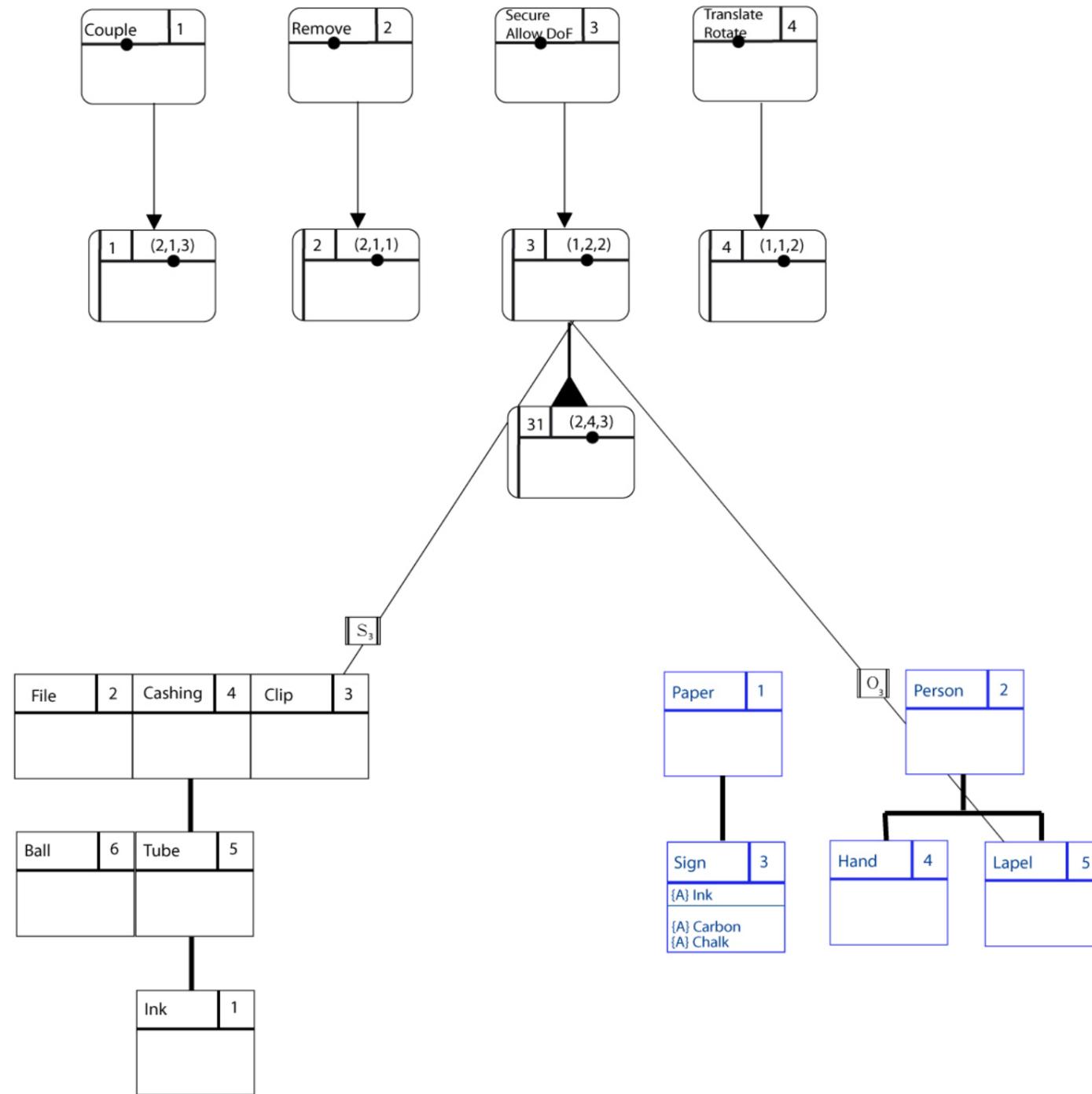


Figura 75 – Comportamiento no deseado derivado de otro comportamiento



## **Anexo II**









| Primary field | Secondary field (*) | Tertiary field        | (3,3,1) | (3,3,2) | (3,3,3) | (3,4,1) | (3,4,2) | (3,4,3) | (4,1,1) | (4,1,2) | (4,1,3) | (4,2,1) | (4,2,2) | (4,2,3) | (4,3,1) | (4,3,2) | (4,3,3) |   |
|---------------|---------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---|
| Mechanical    | Direct              | Gravitation           | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 1       | 0       | 0       | 0       |   |
|               |                     | Collision             | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Friction              | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Direct contact        | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 1       | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 1 |
|               | Alternate           | Vibration             | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Resonance             | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Shocks                | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Waves                 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               | Flow                | Gas dynamics          | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Fluid dynamics        | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Wind                  | 1       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Compression           | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Vacuum                | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               | Process             | Mechanical treatment  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Mechanical processing | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               | Modify              | Deformation           | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Mixing                | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Additives             | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 1       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Explosion             | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               | Acoustic            | Acoustic              | Sound   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
| Ultrasound    |                     |                       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
| Infrasound    |                     |                       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
| Cavitation    |                     |                       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
| Thermal       | Low Gradient        | Heating               | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Cooling               | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Insulation            | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Thermal expansion     | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0 |
|               | Change              | State change          | 1       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 1       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Endothermic reaction  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Exothermic reaction   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               | High gradient       | Fire                  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Burning               | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Heat radiation        | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
| Convection    |                     | 0                     | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |   |
| Freeze (*)    |                     | 0                     | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       |   |
| Chemical      | Elements            | Reactions             | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Reactants             | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Elements              | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Compounds             | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               | Modifiers           | Catalysis             | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Inhibitors            | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Indicators (pH)       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               | Structure change    | Dissolving            | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Crystallisation       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Polymerisation        | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               | Propiety change     | Odour                 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Taste                 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Colour                | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | pH                    | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0 |
|               |                     | Other parameters ()   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 1       | 0       | 0       | 0 |





