

CAPÍTULO 7

MODELADO DE LOS RESULTADOS DE LA FASE EXPERIMENTAL

7 MODELADO DE RESULTADOS DE LA FASE EXPERIMENTAL

7.1 Introducción

En el capítulo anterior se presentó con detalle el diseño y la realización de la fase experimental, cuyo objetivo es permitir la identificación de las características más relevantes del software evaluado como instrumento de asistencia al ingeniero de diseño en la solución conceptual de productos.

Es evidente que la etapa siguiente de la investigación concierne con la comparación de los resultados obtenidos con base en un modelo que permita hacerlo objetivamente. Ello es posible previa representación de tales resultados. Tal como se comentó dentro de las debilidades del método de protocolo como instrumento experimental, el trabajo del procesamiento de la información capturada es arduo. Ayudará por lo tanto, la selección adecuada de un modelo de representación del proceso de diseño desarrollado por los diferentes participantes en la sesión experimental.

En este capítulo se presenta el modelo seleccionado previa valoración de las alternativas encontradas, se explica la forma de aplicación y se presentan los resultados de la fase experimental utilizando tal modelo.

7.2 Modelos para representar el proceso de diseño

En general se puede afirmar que si bien es cierto el método de estudio de protocolo se ha convertido en el más representativo como instrumento de investigación en la ingeniería de diseño, no se ha formalizado aún una manera estándar para su representación y su análisis. Esto es cierto, no por falta de propuestas, sino porque los diferentes enfoques dados a los estudios realizados con este método, implican necesariamente el uso de estructuras de análisis diferentes. Por ello resulta conveniente presentar aquí algunas de las propuestas más representativas encontradas en estudios de diseño, con el fin de argumentar la selección y modificación del que se utiliza en esta investigación.

7.2.1 Codificación del proceso por niveles cognitivos

Tal como se comentó en el capítulo 5, Suwa, Purcell y Gero (1998) proponen un esquema de codificación utilizando dos conceptos básicos: las categorías de información representadas en niveles diferentes (categorías y subcategorías) y los niveles de tratamiento de la información en la cognición humana.

Una vez realizada la segmentación del protocolo de diseño (división en segmentos o movimientos), se identifican las acciones realizadas en cada uno de ellos. Las acciones se dividen en cuatro clases: físicas, preceptuales, funcionales y conceptuales, que básicamente se corresponden con los niveles en que se cree que la cognición humana procesa la información. Las físicas corresponden a acciones sensoriales, mientras que las funcionales y conceptuales, corresponden a acciones semánticas. Con base en este tipo de categorización, se definen ocho subcategorías diferentes no excluyentes (es posible que una acción pueda corresponder a categorías o subcategorías combinadas).

Luego de definidas las acciones, se identifican con un índice que señala si se trata de una acción nueva o si es una acción que continúa de una anterior o la revisión de una acción precedente.

Al final se tiene la historia cognitiva del diseñador, que puede, entonces, ser analizada con detalle en función del objetivo propio del experimento.

Esta propuesta muestra dos dificultades importantes para aplicarla a la investigación que aquí se adelanta. Por un lado, la identificación de los segmentos se realiza a partir de elementos del lenguaje verbal, es decir, el método parte del supuesto que se realiza un protocolo verbal. Y esto, como ya se explicó, no es el caso de las sesiones experimentales que se quiere analizar aquí. En segundo lugar, la codificación e indexación propuesta es demasiado extensa y se presta a equivocaciones frecuentes dada la posibilidad de que un segmento pueda estar inscrito en más de una categoría.

Una debilidad reconocida por los propios autores tiene que ver con las diferentes interpretaciones de los resultados, por lo que proponen realizar varias, por diferentes especialistas, para luego cotejarlas. Ello evidentemente tiene un alto costo de investigación (tiempo y recursos humanos).

7.2.2 Codificación del proceso de evolución de la información

Ullman, Herling y Sinton (1996) sostienen que la información sobre un producto puede ser modelada por dos tipos de estructuras: una centrada en los objetos (objeto-atributo-valor) y otra centrada en la relación entre objetos (objeto1-objeto2-relación-atributo-valor). Aquí se entiende por objeto cualquier elemento físico identificable utilizado para describir algún aspecto físico del producto que se está diseñando y por atributos, las características de los objetos, tales como la geometría, material, propiedades físicas, etc.

Los atributos que describen relaciones entre objetos pueden ser de tres tipos: posición (dónde se ubica), conexión (cómo se conecta) y transmisión (qué trasmite). Estas

relaciones son utilizadas para explicar (en parte) la evolución que tiene lugar durante el proceso de diseño.

Además de las relaciones, el modelo aplica principios relacionados con la toma de decisiones. El paso de una estructura a otra es determinado por las decisiones que tome el diseñador, tomadas esencialmente en función del objetivo específico que se persiga en un momento determinado dentro del proceso de diseño. Tales objetivos se caracterizan por ser interdependientes, pueden ser subdivididos en sub-objetivos y pueden estar enfocados en el producto o en el proceso de diseño. Mientras que los criterios de decisión pueden ser: dados, introducidos o derivados. Los primeros son introducidos externamente al diseñador y por lo tanto quedan fuera de su control (para una eventual modificación). Los introducidos son originados por el propio diseñador (por su experiencia o conocimientos previos), mientras que los criterios derivados surgen como consecuencia de decisiones anteriores.

Otro elemento importante de este modelo tiene que ver con el desarrollo de las alternativas de solución y los argumentos utilizados para su selección. En general se dice sobre las alternativas que: son incompletas, son dependientes de la solución de otras alternativas previas, generan nuevos sub-objetivos, pueden ser inconsistentes con algunos objetivos y pueden tener diferente nivel de abstracción. Mientras que los argumentos están a favor o en contra de las alternativas, es decir, es la expresión de la racionalización que favorece o se opone a la alternativa. Pueden ser realizados con diferente nivel de fiabilidad, conocimiento y abstracción y pueden ser inconsistentes entre sí. Las decisiones que se toman en diseño obedecen al peso que tienen los diferentes argumentos.

Durante el proceso de diseño, las alternativas que surgen así como los argumentos con los que se evalúan dan lugar a nuevos temas. Estos nuevos temas incrementan la interdependencia y hace más complejo el espacio de diseño. La historia del proceso de diseño es, en definitiva, la secuencia cronológica de las decisiones que se van tomando.

De esta manera, durante la aplicación del modelo lo que se hace es seleccionar uno de los objetivos del diseñador y analizarlo para extraer la historia de esa parte del proceso y las interacciones entre los diferentes elementos del modelo. Para ello se identifica:

- El tiempo empleado en el desarrollo del objetivo seleccionado.
- Las alternativas propuestas y los criterios utilizados para su valoración.
- El nivel de abstracción de las alternativas: alto (muy refinadas), medio y abstracto.
- El nivel de abstracción de los criterios: abstracto o concreto.

- Tipo de acción desarrollada: asimilar información, desarrollar especificaciones y planear.
- Forma de presentación de la información: gráfica, artefacto físico, textual, verbal o gestual.

En resumen se puede afirmar que este modelo se sustenta en la evolución de la información y en la toma de decisiones, siempre con un enfoque orientado a objetivos. Por ello, un análisis completo de un protocolo de diseño será un trabajo extensivo de identificación de los objetivos y subobjetivos y a partir de ellos, elaboración de toda la estructura de interrelaciones, que al final muestre el proceso de evolución del diseño. Evidentemente, cuando se trata de realizar el análisis de un solo caso, como el expuesto por los autores (Ullman, Herling y Sinton, 1996), es un modelo apropiado. Pero cuando se trata de hacer un estudio comparativo entre veinte protocolos, como es el caso del estudio actual, resulta un modelo poco práctico.

7.2.3 Codificación de la evolución funcional

El modelo FBS¹⁸ o del proceso de evolución funcional (Umeda, 1990; Takeda, 1990), trata básicamente de representar las interacciones evolutivas de cuatro tipos de elementos en los que se puede dividir el proceso: funciones, modificadores funcionales, comportamientos y estructuras.

La función es el elemento central del modelo. Ella representa la razón misma de ser del objeto a diseñar, y además desarrolla tres roles importantes en diseño: como medio del lenguaje para modelar tanto los requerimientos como el desarrollo del diseño, como un medio de articulación entre los requerimientos y los objetos y para evaluar el valor del objeto diseñado. La función está relacionada con las nociones de actividad, de acción, de servicio a prestar y de necesidad a satisfacer (Tassinari, 1994).

Los modificadores funcionales son aquellos que califican o caracterizan la función, dándole atributos concretos para satisfacer las restricciones impuestas al diseño. En otras palabras, los modificadores funcionales se constituyen en criterios de valoración de una función.

Las estructuras describen las alternativas de solución. Es decir, son el resultado del proceso de diseño. Mientras la función es el objetivo, la estructura es la solución.

¹⁸ FBS: Function, Behavior, Structure.

El comportamiento describe el funcionamiento de la solución, es decir, de la estructura y sus cambios de estado (evolución). Tal como señala Mulet (2003) el proceso de diseño se expresa como la forma en que se pasa desde el objetivo (función) a la solución (estructura) a través del comportamiento.

El modelo FBS, se sustenta en estos elementos descritos y se construye mediante la evolución que tiene lugar a lo largo del proceso. Esa evolución, para el caso de las funciones, se define mediante sus interrelaciones, que son de tres clases: descomposiciones, que dan origen a sub-funciones (o funciones derivadas), relación de causalidad (una función es causada por otra) y reforzamiento (se define una nueva función para realizar otra en forma adecuada). Los modificadores funcionales también evolucionan mediante descomposiciones que pueden tener o no relación con las descomposiciones funcionales.

Así, la aplicación del modelo y su representación gráfica permite visualizar la interrelación entre elementos, con lo cual se logra una comprensión del proceso de diseño y su evolución. Esto implica, como primer paso, la identificación de tales elementos, que se realiza normalmente mediante la información gramatical suministrada por el protocolo.

Así, las funciones se identifican principalmente por verbos (acciones). Los modificadores por los adjetivos que califican los verbos. Las estructuras son los sustantivos (objetos). Evidentemente no todos ellos están ligados a elementos puramente del lenguaje, ya que las simulaciones, por ejemplo, se realizan casi siempre mediante gestos y las estructuras se suelen representar por los dibujos.

Este modelo ha sido utilizado en varias oportunidades para analizar el proceso de evolución del diseño a partir de las especificaciones iniciales (Takeda, 1996), (Mulet, 2003). Sin embargo, una de los inconvenientes del modelo tiene que ver con el estilo de representación del proceso que se hace demasiado complejo para comprenderlo una vez elaborado.

Sin embargo este modelo se caracteriza por ser del tipo descriptivo (explica cómo se hace el diseño), en contraste con los dos anteriores que son del tipo cognitivo (explica cómo se comporta el diseñador). Incluso la propuesta de (Takeda, 1990) se orienta a su aplicación para desarrollar un modelo computacional (explicar cómo lo haría un ordenador). Por ello su enfoque resulta más apropiado para esta investigación y es, entonces, el que se utiliza aquí aunque con algunas simplificaciones.

7.3 Procesamiento de datos experimentales

En esta sección se expone las etapas de procesamiento de la información suministrada por los protocolos capturados durante cada una de las veinte sesiones experimentales desarrolladas.

Como quedó claro en el capítulo 6, los datos recogidos durante el experimento provienen de cuatro fuentes diferentes: el vídeo, la captura de pantalla, los dibujos y el archivo del respectivo software. Esta información se constituye en la materia prima que debe ser procesada para poder realizar los análisis posteriores. El procesamiento de la información se realiza en las siguientes etapas:

7.3.1 Sincronización de las fuentes

Dado que las fuentes tienen diferentes formatos, se requiere en primer lugar hacer una sincronización de tal manera que los eventos sucedidos puedan enmarcarse en la misma escala de tiempo para todas las fuentes. Esto permitirá recopilar en cada momento del proceso toda la información disponible.

7.3.2 Transcripción y codificación del protocolo de diseño

La transcripción del protocolo se realiza utilizando como elemento auxiliar una base de datos diseñada específicamente para este fin. La unidad básica tomada para este propósito se denominará a partir de ahora «acción de diseño» o sencillamente acción, y su concepto es equivalente al «movimiento de diseño» de Goldschmidt (1996): un paso, acto u operación que transforma la actual situación de diseño con respecto a la anterior.

La información que define cada acción de diseño y que se extrae en este proceso de transcripción del protocolo es la siguiente:

- Tiempo. En minutos y segundos en el que ocurre la acción. La sesión se ha dividido en periodos de cinco minutos para facilitar la representación de los resultados y su procesamiento posterior.
- Descripción. Aquí se introducen los detalles de la acción.
- Código de la acción. Se han establecido una serie de códigos genéricos para identificar las diferentes acciones desarrolladas durante la sesión, mostrados en la Tabla 7.1, con el fin de facilitar su posterior procesamiento.

Tabla 7.1 Código de acciones genéricas

| Código | Acción |
|---------------|--|
| 1 | Lectura de problema asignado y/o de guía del programa. |
| 2 | Manipulación de cajas |
| 3 | Hablar: Explica sus ideas o comentarios sobre el programa. |
| 4 | Dibujar / escribir sobre el papel |
| 5 | Pensar. |
| 6 | Navegar en el programa |
| 7 | Escribir / Editar en el programa o en el papel |
| 8 | Leer descripciones hechas en el ordenador o dibujos |
| 9 | Otras acciones solicitadas por el programa |
| 10 | Otras acciones no clasificadas |

- **Módulo.** Corresponde a la herramienta o técnica del software en el que el participante se encuentra cuando realiza la acción (para acciones de la 6 a la 9). Se identifica con un número, de acuerdo con lo especificado en la Tabla 7.2, seguido de la letra inicial del nombre del programa. Así, por ejemplo, el módulo «Resources» de Creax, se codifica como 4-C.

Tabla 7.2 Identificación de los módulos de cada programa

| Código | Axon Idea Processor | Brainstorming Toolbox | CREAX | ThoughtPath |
|---------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------|
| 1 | Mind Map | Introduccion Screen | Problem Description | Describe |
| 2 | Links y otros modificadores | What Problem | Redefinition | Wish |
| 3 | Pads explicativos | Random Word | Relator (System model) | Idea |
| 4 | Analizer | Random Picture | Resources | Solution |
| 5 | Checklists | False rules | Constrains | Trigger |
| 6 | Generator | SCAMPER | Idealiy | |
| 7 | Random Words | Juego de Rol | Contradictions | |
| 8 | Questions | | Principles | |
| 9 | | | Trends of evolution | |
| 10 | | | Knowledge | |

Una vez se ha terminado la transcripción, se genera una tabla con todos los datos ingresados de manera que se dispone de toda la información recogida durante la sesión experimental y es posible determinar momento a momento qué tipo de acción realizaba,

en qué módulo del programa se encontraba, qué tipo de resultado obtuvo y cuánto tiempo dedico a esa acción.

7.3.3 Representación gráfica

Aunque con algunas modificaciones, la representación que se utiliza en esta investigación se basa en la propuesta de Mulet, Vidal y Gómez-Senent (2002), la cual incorpora una escala de tiempo para mostrar sobre ella los diferentes elementos del modelo (funciones, modificadores y estructuras). Con el fin de simplificar su representación, los modificadores solamente se aplican (gráficamente) en la función que lo origina, aunque aquellos también modifiquen las otras funciones derivadas.

La Figura 7.1 muestra un ejemplo de la representación gráfica correspondiente al caso B-3 (Brainstorming toolbox, tercera repetición).

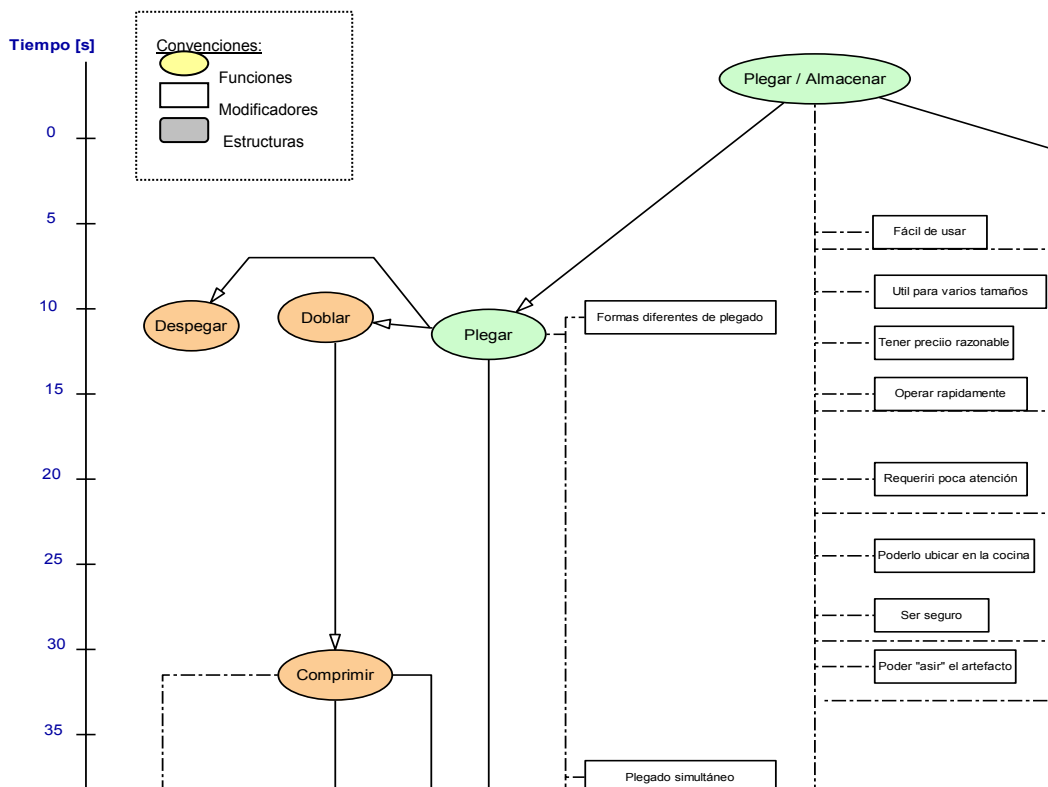


Figura 7.1 Ejemplo de representación gráfica de los elementos FBS para el caso B-3

Las elipses representan funciones, los rectángulos modificadores funcionales y los cuadrados con esquinas redondeadas corresponden a estructuras (soluciones). La

relación entre modificadores y funciones está señalada por las líneas de trazos, mientras que las descomposiciones funcionales se marcan con flechas.

Aunque la representación gráfica del proceso es muy ilustrativa de lo ocurrido, no es muy útil para fines de procesamiento de la información. Por ello no se realizó sino para dos de los veinte casos. A partir de ella se detectó la necesidad de elaborar una herramienta adicional que facilitara el procesamiento del modelo construido con base en la información transcrita y codificada.

7.4 Datos derivados de la transcripción y codificación

Los datos del proceso que han sido transcritos como se comentó, permiten la obtención de los siguientes resultados para cada sesión:

7.4.1 Tiempo dedicado a cada acción de diseño

Se ha dicho ya que las acciones se codificaron en diez tipos diferentes (véase Tabla 7.1) y que el registro de cada acción contiene además de su descripción, el tiempo y el módulo del programa donde tiene lugar. Así es sencillo determinar para cada módulo del programa, qué acciones ejecuto el participante y durante cuánto tiempo. La Figura 7.2 muestra un ejemplo del tiempo dedicado en cada módulo por cada acción de diseño. El módulo señalado con "0" indica las acciones realizadas fuera del software.

El procesamiento de estos datos permite la construcción de gráficas de diferentes tipos y posibilita la comparación y la ejecución de estadísticas.

| Actividades | MODULOS DEL PROGRAMA THOUGHTPATH | | | | | | TOTAL |
|--------------|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 | 0:07:14 | | | | | | 0:07:14 |
| 2 | 0:04:58 | | | | | | 0:04:58 |
| 3 | 0:03:11 | | 0:00:19 | 0:01:03 | 0:00:45 | 0:01:04 | 0:06:22 |
| 4 | | | | | | | 0:00:00 |
| 5 | | | | | | | 0:00:00 |
| 6 | 0:01:02 | | | 0:00:47 | | 0:01:44 | 0:03:33 |
| 7 | | 0:09:02 | 0:03:18 | 0:13:30 | | | 0:25:50 |
| 8 | | 0:01:03 | 0:00:57 | 0:02:19 | | | 0:04:19 |
| 9 | | | | | | | 0:00:00 |
| 10 | 0:01:33 | | | | | | 0:01:33 |
| Total | 0:17:58 | 0:10:05 | 0:04:34 | 0:17:39 | 0:00:45 | 0:02:48 | 0:53:49 |

Figura 7.2 Ejemplo del tiempo dedicado a cada acción de diseño, caso T-1, 1ª parte

7.4.2 Cantidad y origen de ideas

Los datos codificados mediante el modelo FBS permiten identificar cada idea con alguno de los elementos de tal modelo y además asociarla con el origen detectado. De esta manera es posible determinar cuántas funciones, modificadores funcionales y estructuras se generaron, en qué momento y a partir de qué origen. Esta información será altamente relevante para lograr identificar los módulos más productivos en términos de cantidades (tanto absolutas, como relativas al tiempo, es decir, nº de ideas/minuto). Así se puede construir gráficas como la mostrada en la Figura 7.3, que facilitan la interpretación y la comparación de resultados.

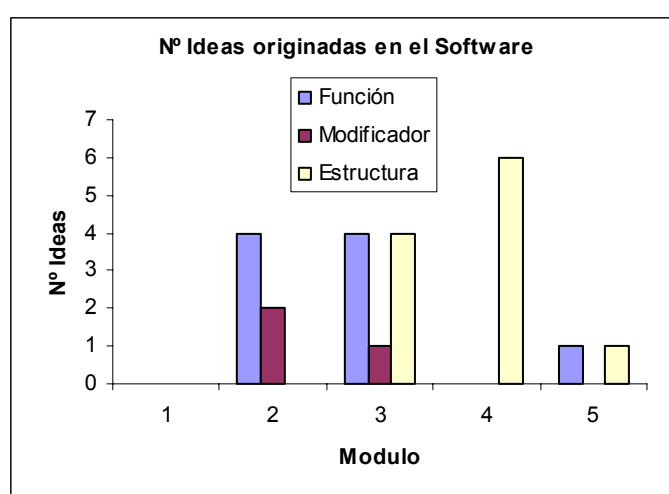


Figura 7.3 Ejemplo de gráfica del número de ideas por módulo de software (caso T-1)

7.5 Interrelación de las ideas

El modelo que se ha utilizado para identificar las ideas¹⁹ ha sido el FBS. Tal modelo, además de permitir la caracterización de funciones, modificadores y estructuras, permite identificar las interrelaciones que se construyen durante la ejecución del diseño, esto es, la evolución que tiene el proceso.

Ya se ha dicho que la representación gráfica de la evolución propuesta por Takeda (1996) resulta compleja de comprender (aunque su elaboración es sencilla). Una de las alternativas empleada actualmente en investigación de diseño para establecer las interrelaciones entre conceptos es la denominada «linkografía» propuesta por

¹⁹ Se asimila aquí el concepto de «idea» a los diferentes componentes del modelo FBS (funciones, modificadores y estructuras). Es decir, cuando se habla de idea no se hace referencia exclusivamente a la idea de solución del problema de diseño (estructura), sino a los otros dos elementos que configuran la evolución de tal solución, es decir, el objetivo o función y la ponderación o calificación de la función, esto es, los modificadores funcionales.

Goldschmidt (1990, 1996). Se sustenta en establecer los enlaces o relaciones (links) entre los diferentes movimientos de diseño que tienen lugar durante el proceso y luego expresar el conjunto de relaciones en forma gráfica mediante un esquema matricial modificado. El proceso implica por un lado dividir la sesión en unidades de diseño, caracterizada por la temática desarrollada. Luego, a cada unidad de diseño se hace una identificación de los movimientos de diseño (acciones) y se determina finalmente si existe entre ellos algún tipo de relación. Argumenta la autora de esta propuesta que la proporción de relaciones con respecto al número de movimientos en una unidad de diseño es un indicador de la productividad del proceso (Goldschmidt, 1996).

Este concepto de productividad se utilizará para procesar los resultados en esta investigación, pero no se aplicará exactamente el modelo del linkografía por dos razones principales. En primer lugar el modelo hace énfasis en la estructura del proceso y por ello las acciones de diseño no se clasifican sino que se utilizan indistintamente. En el caso de esta investigación se ha realizado una clasificación de acuerdo con el modelo FBS. En segundo lugar, el procesamiento de la gran cantidad de información recolectada durante las veinte repeticiones realizadas es poco viable.

La alternativa que aquí se utiliza es una simplificación de la propuesta de Takeda (1996) y consiste básicamente en considerar a las funciones como eje de la estructura del proceso, alrededor de las cuales se construyen las relaciones, ya sea con otras funciones (mediante las diferentes formas de subdivisión antes explicadas), con los modificadores o con las alternativas de solución (estructuras).

Evidentemente, la revisión de la transcripción de las diferentes sesiones de diseño demuestra que la evolución parte de las funciones. Ellas se van transformando mediante la definición de sub-funciones, se van calificando a través de los modificadores funcionales y van dando lugar a las estructuras que son, finalmente, las que desarrollan la actividad funcional.

De acuerdo con esta propuesta, no se tendrá en cuenta todas las acciones (movimientos) de diseño, sino solamente aquellos que se han identificado durante la transcripción como elementos FBS y el proceso seguido es el que se explica a continuación.

Las funciones se enumeran cronológicamente y se hace un análisis de la dependencia o interrelación de la función n con respecto a las funciones anteriores (1 a $n-1$). Tal interrelación se identifica por la derivación, la causalidad o el reforzamiento, tal como propone el modelo original. Si no existiese ninguna relación, se identificará como función iniciadora i .

Una vez establecidas las relaciones entre funciones se procede a identificar las relaciones entre éstas con los modificadores funcionales, lo cual se hace aplicando el sentido común, ya que los modificadores se descubren precisamente por la aplicación de un adjetivo o un adverbio a determinada función.

Las estructuras se han subdivido en dos categorías, en dependencia del grado de detalle de su descripción. La primera corresponde a un concepto global de solución y la segunda es una solución con un grado de detalle más elaborado. Por ejemplo, la estructura «*prensa manual de palanca*» es un concepto global de solución, mientras que la estructura «*bisagra lateral que permita abrir la tapa del molde de la prensa*» es una estructura más detallada, y corresponderá a la segunda categoría. Así, la estructura básica se asocia con la función principal que desarrolle, mientras que la estructura detallada se asocia con solución básica correspondiente.

La Figura 7.4 muestra una porción de una tabla típica que se genera bajo las consideraciones expuestas, donde se aprecia que a este nivel ya no se consideran todas las acciones transcritas originalmente, sino solamente los elementos FBS que resultaron de aquellas acciones (movimientos de diseño).

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|--|---------------------------|--|-------------|-----------|---------------|-----------------|----------------|
| 1 | CUADRO DE DATOS PROVENIENTE DEL ANALISIS FBS | | | | | | | |
| 2 | Caso: C-4 | | | | | | | |
| 3 | Resumen: | | | | | | | |
| 4 | 1. Cantidades: | | | | | | | |
| 5 | | Nº Funciones | | 10 | | | | |
| 6 | | Nº Modificadores | | 9 | | | | |
| 7 | | Nº Estructuras básicas | | 7 | | | | |
| 8 | | Nº Estructuras detalladas | | 6 | | | | |
| 9 | | | Total: | 32 | | | | |
| 10 | 2. Validez: | | | | | | | |
| 11 | | Válidas | | 27 | | | | |
| 12 | | No-evolucionadas: | | 5 | | | | |
| 13 | | No-relacionadas: | | 0 | | | | |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | Tiempo | Periodo | Descripción | Tipo | Nº | Origen | Relación | validez |
| 16 | 0:01:16 | 1 | Almacenar cajas de tetrabrick | F | 1 | 1 | i | v |
| 17 | 0:01:20 | 1 | Almacenar en un mínimo espacio | MF | 1 | 1 | 1 | v |
| 18 | 0:05:36 | 2 | Plegar tetrabricks | F | 2 | 1 | i | v |
| 19 | 0:16:20 | 4 | Estirar la caja por prensado | F | 3 | 5,4 | 2 | v |
| 20 | 0:16:21 | 4 | Empaquetar (atar, liar) la caja | F | 4 | 5,4 | 2 | v |
| 21 | 0:16:28 | 4 | Tira (brida)de plastico (para empaquetar) | ED | 1 | 5,4 | 4 | v |
| 22 | 0:16:29 | 4 | Prensa manual para estirar | E | 1 | 5,4 | 3 | v |
| 23 | 0:16:29 | 4 | Soltar las pestañas | F | 5 | 5,4 | 3 | n |
| 24 | 0:16:30 | 4 | Soltar pestañas manualmente. | MF | 2 | 5,4 | 5 | v |
| 25 | 0:17:09 | 4 | util para varios tamaños | MF | 3 | 3 | 1 | v |
| 26 | 0:17:23 | 4 | Miniprensa | ED | 2 | 5,5 | 2 | v |
| 27 | 0:19:38 | 4 | Aplanado y almacenamiento integrados en el mismo recipiente. | MF | 4 | 5,4 | 1 | v |
| 28 | 0:21:52 | 5 | Facil de operar | MF | 5 | 1 | 2 | v |
| 29 | 0:21:53 | 5 | No requerir mucho esfuerzo | MF | 6 | 1 | 2 | v |
| 30 | 0:22:34 | 5 | Palanca para disminuir fuerza requerida | ED | 3 | 5,5 | 2 | v |

Figura 7.4 Ejemplo del cuadro de datos FBS para el caso C-4

En ella está la información sobre el momento en el que ocurre la acción que genera el elemento FBS respectivo, el período (cada período es de 5 minutos), la descripción del elemento, con su respectivo código (F, para funciones, MF para modificadores funcionales, E para estructuras básicas y ED para estructuras de detalle).

Además se asocia cada elemento FBS con la fuente que origina la acción respectiva, codificada de acuerdo con la Tabla 7.3. Esta información es importante para determinar si el software ayuda o no en la generación de ideas. También se encuentra codificada la relación que existe entre elementos, mediante el número de la función que los origina. Cuando no es originada por ninguna función anterior se codifica con una *i*.

Tabla 7.3 Códigos de los orígenes de ideas

| Código | Origen |
|---------------|---|
| 1 | Enunciado del problema (en forma directa) |
| 2 | Experiencias pasadas evocadas |
| 3 | Manipulación de cajas de tetrabrik |
| 4 | Dibujo previamente elaborado |
| 5 | Módulo del programa (especificar cual) |
| 6 | No detectable. |

7.6 Validez de las ideas

Un elemento importante para el análisis es el grado de validez de las ideas (elementos FBS) generadas, lo que se constituye en un indicador de la eficiencia de la sesión de diseño en términos de las ideas generadas (en forma cuantitativa). Si las ideas son todas válidas y se encuentran interrelacionadas o evolucionadas, el proceso en su conjunto se entenderá como más eficiente. Es de anotar que la eficiencia también debe considerar otra serie de características tales como el tipo de idea, los principios físicos detrás de ella, etc., que serán valoradas mediante la aplicación del modelo de comparación que se explicará más adelante.

Así, teniendo en cuenta las limitaciones expuestas, la validez de las ideas ha sido evaluada con base en tres criterios:

- Ideas válidas. Son aquellas que aportan a la solución del problema propuesto, plegar/almacenar cajas de tetrabrik. Se caracterizan por tener algún grado de

desarrollo y especificación que permita ser considerada como una contribución a la conceptualización de una estructura de solución.

- Ideas no evolucionadas: Las que se proponen en un momento determinado pero que no continúan su desarrollo. Quedan como ideas puntuales sueltas, sin continuidad.
- Ideas no relacionadas: Son las que no dan ningún tipo de aporte evidente a la solución del problema de diseño.

Los datos obtenidos durante las 20 sesiones experimentales son presentados en archivos de Excel en el Anexo 4.

7.7 Adecuación del modelo de Shah y Vargas

De acuerdo con el modelo de Shah y Vargas (2003), tal como se comentó en el capítulo 5, se puede establecer una métrica de la efectividad creativa de métodos de diseño a partir de la valoración de las cuatro características básicas de la creatividad, aquí denominadas «índices de creatividad»: flexibilidad, originalidad, fluidez y elaboración. La originalidad y la flexibilidad se determinarán con base en el modelo original de Shah y Vargas (2003), con algunas modificaciones necesarias para su aplicación en esta investigación, mientras que la fluidez y la elaboración se valorarán con base en criterios un tanto diferentes, propuestos como aportes propios, adecuados a la presente investigación y que pretenden complementar en forma adecuada a los dos primeros mencionados.

Se asimilará aquí el concepto de novedad de Shah al de originalidad de la idea y el de variedad, al de flexibilidad. El índice de fluidez hace referencia a la cantidad de ideas generadas y el de elaboración hace referencia al grado de complejidad con el que el diseñador desarrolla sus ideas.

7.7.1 Índice de originalidad

La propuesta se basa sencillamente en recolectar todas ideas propuestas, por todos los participantes, con todos los métodos que se estén probando, identificando en ellos las principales funciones y los atributos claves que debe cumplir el producto.

Para cada atributo es posible encontrar las diferentes formas en las que se puede satisfacer (tipo de movimiento, mecanismo de control, propulsión, por ejemplo). Por ejemplo, para el atributo «tipo de movimiento», se podría utilizar: rotación, deslizamiento, vuelo, oscilación, etc. Se hace entonces un recuento de todas las ideas propuestas para cada forma identificada y la que resulte menos frecuente, se considerará la más

novedosa, frente a aquellas que aparecen con más frecuencia y que por lo tanto son más «comunes». Esta manera de medir la originalidad en forma comparativa entre todas las ideas es, por lo tanto, una medición relativa al conjunto de ideas generadas por todos los participantes. Este criterio para valorar la novedad es el mismo mencionado anteriormente (Guilford, 1987).

La ecuación (7.1) permite cuantificar la originalidad:

$$N_1 = \sum_{j=1}^m f_j \sum_{k=1}^n S_{1,jk} P_k \quad (7.1)$$

donde:

- N_1 = originalidad para la idea 1 con m funciones o atributos y n etapas.
- f_j = peso asignado de acuerdo con la importancia de cada función.
- p_k = peso asignado a la etapa de desarrollo del producto (conceptual o de detalle).
- $S_{1,jk}$ = función que relaciona cantidad de ideas con cantidad de soluciones

$$S_{1,jk} = \frac{T_{jk} - C_{jk}}{T_{jk}} \cdot 10 \quad (7.2)$$

donde:

- T_{jk} = número total de ideas producidas por función (o atributo clave) j y etapa k ;
- C_{jk} = cantidad de soluciones para esa función. El número 10 normaliza la expresión.

Este modelo es aplicable a la evaluación de un producto en concreto. De hecho, Shah y Vargas (2003) muestran la aplicación del modelo en un ejercicio en el que se requirió la elaboración de un artefacto que se desplazara la mayor distancia posible utilizando como medio de propulsión un volumen determinado de aire comprimido. Cada participante presentó al final un único artefacto para competir.

El modelo originalmente propuesto debe, por lo tanto, ser modificado para adecuarlo a las particularidades de la presente investigación. El procedimiento empleado es el siguiente:

- Contar todas las ideas generadas por los participantes.
- Establecer la frecuencia con la que se repite cada una de las ideas.
- Calificar la originalidad de cada idea con la siguiente expresión:

$$O_{ki} = \frac{T_k - f_{ki}}{T_k} \quad (7.1)$$

donde:

O_{ki} = Originalidad de la idea i

k = Tipo de elemento: función, modificador o estructura.

T = Número total de ideas del tipo k .

f_i = frecuencia de repetición de la idea i .

La originalidad de la idea se pondera, dando mayor peso a las estructuras básicas, teniendo en cuenta que éstas son, finalmente, conceptos de solución. Ellas tendrán un peso del 50%. Las funciones seguirán en el orden de importancia, asignándoseles un peso del 35% y los modificadores tendrán el 15% restante.

El valor de la originalidad en un período determinado será la suma ponderada de la originalidad de todas las ideas generadas en ese período.

$$\text{originalidad del periodo } j = C_{2j} = \sum_k w_k \cdot \sum_i O_{jki} \quad (7.2)$$

donde:

w_k = peso de cada tipo de elemento k (0,5 estructuras, 0,3 funciones y 0,2 modificadores).

O_{jki} = originalidad de la idea i del tipo de elemento k en el período j

7.7.2 Índice de flexibilidad

La medición de la *flexibilidad* en el desarrollo de productos, es entendida, en el modelo (Shah y Vargas, 2003), como la utilización de diferentes principios de solución para la generación de alternativas. El uso de uno o varios principios físicos diferentes para resolver una función puede hacer que dos ideas sean muy diferentes. Tal como lo indican Shah y Vargas (2003, p.127) «desde un punto de vista de la ciencia cognitiva, la variedad en la generación de ideas es una medida del número de categorías de las ideas que uno puede imaginar. La medición de la variedad es una indicación de las múltiples perspectivas que uno puede utilizar para resolver un problema». Bajo esta consideración, la variedad de Shah se asimila a la flexibilidad, ya que el uso de principios físicos diferentes implica necesariamente la exploración más amplia y profunda del espacio de solución.

El procedimiento implica agrupar las ideas bajo los diferentes principios físicos utilizados para satisfacer las funciones requeridas, así como de los principios de trabajo (es decir, las formas en que un principio físico puede aplicarse), de las estructuras básicas (formas generales que concretan los principios de trabajo en artefactos) y de los detalles de las estructuras (detalles específicos de las soluciones ideadas).

Se trata, entonces, de categorizar el origen conceptual de las ideas en cuatro niveles diferentes. El mayor nivel corresponde a los diferentes principios físicos utilizados para desarrollar las propuestas; evidentemente ideas que utilicen principios físicos diferentes serán ideas conceptualmente diferentes. El segundo nivel tiene que ver con los diversos principios de trabajo en los que puede desarrollarse un concepto aunque comparta el mismo principio físico. En el tercer nivel las ideas ya se concretan en estructuras básicas, mientras que en el cuarto nivel se precisan detalles de tales estructuras. Con este tipo de categorías se construye lo que Shah y Vargas (2003) llaman «árbol genealógico», como el mostrado en la Figura 7.5.

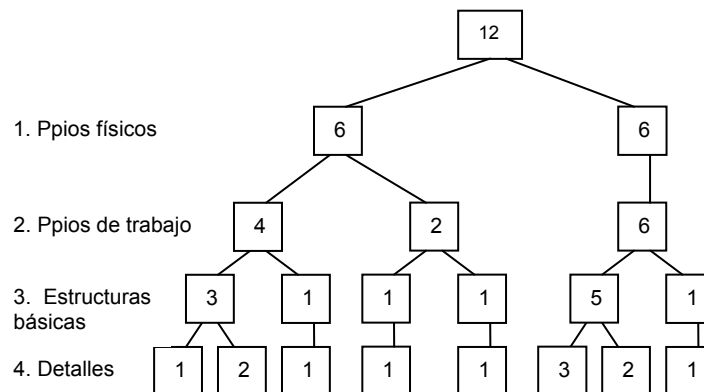


Figura 7.5 Árbol genealógico de un conjunto de ideas.

Fuente: Shah y Vargas (2003)

Es claro que una mayor flexibilidad está asociada particularmente a las etapas superiores, en donde se establecen verdaderas diferencias entre los conceptos generados en el proceso. Por ello, la calificación de este criterio será mayor en aquellos niveles. Se propone valorar así: 10 puntos para principios físicos, 6 para principios de trabajo, 3 para estructuras generales y 1 para detalles. Con esta escala se garantiza que los niveles superiores siempre puntúen más alto que los siguientes.

La ecuación (7.5) permite calcular la flexibilidad total.

$$Flexibilidad = \sum_{j=1}^m f_j \sum_{k=1}^4 S_k b_k / n \quad (7.5)$$

donde:

m = número de funciones requeridas por el problema.

k = 1, ..., 4 es el subíndice de los diferentes niveles del árbol

f_j = peso asignado a cada función (asumiendo que tienen diferente grado de importancia)

S_k = 10, 6, 3, 1. Calificación del grado de flexibilidad de cada nivel

b_k = número de ramas del nivel k

n = número total de ideas para la respectiva función

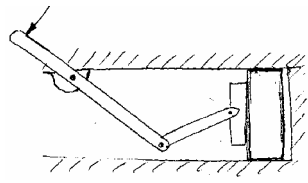
El objetivo es elaborar para cada caso de estudio una estructura que muestre el proceso de evolución funcional organizado bajo la visión de los principios utilizados. Para tal propósito se ha partido de la identificación de los principios físicos y de trabajo que han propuesto los participantes, mediante una revisión del conjunto completo de soluciones generadas durante todas las sesiones. Se encontraron los principios que se muestran en la Tabla 7.4, identificando 12 principios físicos y 35 principios de trabajo.

La construcción del árbol genealógico se comprenderá mejor si se ilustra con un ejemplo, basado en las estructuras básicas para desarrollar la función de «plegar» propuestas por uno de los participantes y que se muestran en la Figura 7.6.

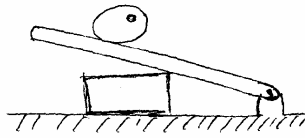
En estas propuestas predomina un principio físico (compresión por fuerza externa) desarrollado en cinco de ellas (1, 2, 3, 4, 6) y solamente la propuesta 5 incluye un principio diferente (laminación). Por lo tanto, aunque son seis estructuras básicas diferentes, solamente desarrollan dos principios físicos. En cuanto a los principios de trabajo, se aprecia que las propuestas 1 y 4 usan el mismo principio de presión mediante sistema de palancas. El 2 usa la acción de una leva, el 3 utiliza presión de aire, el 5 usa rodillos de laminación y el 6 un émbolo deslizante operado por peso. Así, en total, son cinco principios de trabajo.

Tabla 7.4 Principios físicos y de trabajo desarrollados durante la fase experimental

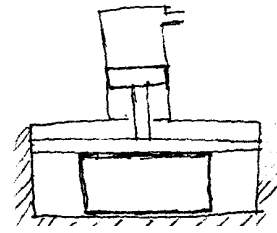
| Principio Físico | Principio de trabajo |
|--|--|
| 1 Compresión por fuerza externa | Mecanismo de barras auxiliares Prensado con punzón formador Presión hidráulica Presión mecánica por barras articuladas Presión mecánica por elemento giratorio (leva) Presión mecánica por mandíbula Presión mecánica por muelle Presión mecánica por palanca simple Presión mecánica por palanca simple y perforación Presión mecánica tipo troquel: plancha deslizante Presión neumática Presión por tornillo sin-fin |
| 2 Colapsado por vacío | Succión de aire interno |
| 3 Estirado por fuerza de tensión externa. | Herramienta auxiliar estática (fija) |
| 4 Almacenamiento en deposito | Almacenamiento en contenedor estándar Contenedor especial Recipiente simple para almacenamiento Contenedor con mecanismo interno Contenedor integrado al sistema de plegado |
| 5 Apilamiento | Apilado externo (sin contenedor) Contenedor integrado con sistema de atado Forrado de cajas |
| 6 Laminación | Tren de laminación por rodillos |
| 7 Desarmado de cajas | Herramienta auxiliar manual simple Agente químico aplicado a la cola o pegamento Herramienta auxiliar estática (fija) Sin artefactos Elemento facilitador de plegado, integrado a la caja |
| 8 Corte | Corte por uso de cuchillas móviles Corte por uso de cuchillas estáticas |
| 9 Disminución de resistencia mecánica de la caja | Uso de materiales menos resistentes |
| 10 Cambio de forma de la caja | Forma con valor añadido, para reutilizar empaque Forma menos resistente al plegado |
| 11 Destrucción de caja | Desmenuzado mecánico de la caja |
| 12 Cambio de material de la caja | Uso de material menos duradero |



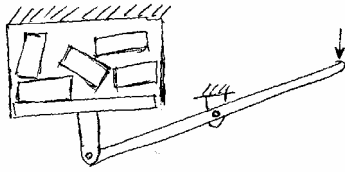
1. Prensa mecánica de palanca de desplazamiento horizontal.



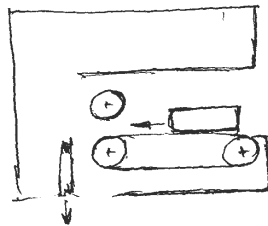
2. Sistema de leva para presionar, accionado con motor eléctrico.



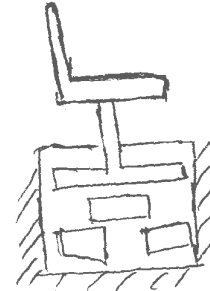
3. Sistema neumático para presionar.



4. Prensa de palanca de desplazamiento vertical de abajo hacia arriba.



5. Rodillos de laminación.



6. Sistema de prensado con peso de una persona sentada en una silla-embolo.

Figura 7.6 Ejemplo de estructuras para cumplir la función de plegado

El mismo participante desarrolla algunas de estas estructuras con detalles específicos. Un ejemplo, que no se muestra en la figura, fue la propuesta de utilizar una barra o rodillo para garantizar que la aplicación de la fuerza de la prensa mecánica (estructura 1), fuese sobre el centro del envase. Otro ejemplo fue la especificación de la capacidad y la forma del contenedor de envases, o la necesidad de tener una bolsa plástica.

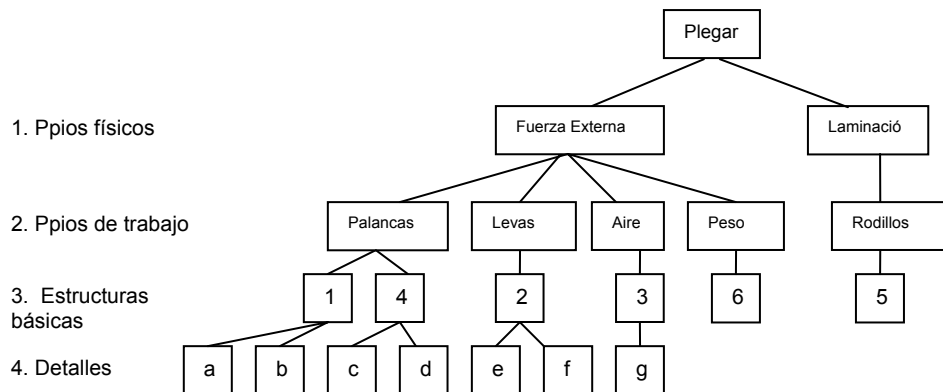


Figura 7.7 Árbol genealógico del modelo de Shah y Vargas (2003) aplicado un conjunto de ideas

En total fueron 7 estructuras de detalle, las cuales desarrollan los mismos principios que las estructuras básicas correspondientes. Así, es posible construir un árbol como el que se muestra en la Figura 7.6.

Clasificadas las estructuras e identificados los principios que representan, se procede a determinar la flexibilidad total del participante mediante la ecuación propuesta por Shah (2003, p118), interpretada de la siguiente manera:

$$Flexibilidad\ total = \sum_{j=1}^m f_j \left(\sum_{k=1}^4 S_k b_k \right) / n_j \quad (7.6)$$

donde:

$m = 2$ (el problema requiere cumplir dos funciones básicas: almacenar y plegar)

$k = 1, \dots, 4$ es el subíndice de los diferentes niveles del árbol

$f_j =$ peso asignado a cada función: 30% para almacenar y 70% para plegar

$S_k = 10, 6, 3, 1$. Calificación del grado de flexibilidad de cada nivel.

$b_k =$ número de elementos del nivel k

$n_j =$ número total de estructuras básicas para la función j .

Para el ejemplo que se está presentando, la aplicación de la ecuación (7.6) es como sigue:

$$\begin{aligned} Flexibilidad\ total &= 0,7(10 \cdot 2 + 6 \cdot 5 + 3 \cdot 6 + 1 \cdot 7) / 6 + 0,3(10 \cdot 1 + 6 \cdot 2 + 3 \cdot 2 + 1 \cdot 3) / 2 \\ &= 13,4 \end{aligned}$$

Aplicando este mismo procedimiento a todos los participantes de la sesión experimental, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 7.5.

Sin embargo, como se quiere analizar el comportamiento durante todo el proceso, es necesario distribuir este índice global de flexibilidad a lo largo del proceso. La distribución se hace partiendo del hecho de que los elementos en los que se ha clasificado el proceso de desarrollo del producto (funciones, modificadores y estructuras) se pueden asociar naturalmente a los diferentes niveles del modelo Shah (2003).

Tabla 7.5 Flexibilidad total calculada para cada participante de la sesión experimental

| Participante | Nº Ppios físicos | Nº Ppios trabajo | Estructuras Básicas | Estructuras de detalle | Función Ppal. | Flexibilidad Total |
|--------------|------------------|------------------|---------------------|------------------------|---------------|--------------------|
| A-1 | 4 | 5 | 7 | 5 | Plegar | 15,300 |
| | 1 | 1 | 1 | 0 | Almacenar | |
| A-2 | 4 | 6 | 6 | 2 | Plegar | 14,500 |
| | 1 | 1 | 2 | 0 | Almacenar | |
| A-3 | 2 | 3 | 5 | 7 | Plegar | 14,100 |
| | 1 | 1 | 1 | 0 | Almacenar | |
| A-4 | 1 | 2 | 2 | 2 | Plegar | 14,400 |
| | 1 | 3 | 3 | 2 | Almacenar | |
| B-1 | 4 | 5 | 5 | 2 | Plegar | 16,980 |
| | 1 | 2 | 2 | 4 | Almacenar | |
| B-2 | 4 | 8 | 8 | 3 | Plegar | 16,813 |
| | 2 | 3 | 2 | 1 | Almacenar | |
| B-3 | 2 | 5 | 6 | 6 | Plegar | 14,633 |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | Almacenar | |
| B-4 | 2 | 2 | 3 | 2 | Plegar | 16,033 |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | Almacenar | |
| C-1 | 1 | 3 | 3 | 3 | Plegar | 15,033 |
| | 1 | 1 | 1 | 0 | Almacenar | |
| C-2 | 2 | 4 | 6 | 9 | Plegar | 14,283 |
| | 2 | 2 | 2 | 2 | Almacenar | |
| C-3 | 1 | 2 | 2 | 0 | Plegar | 13,250 |
| | 1 | 1 | 2 | 1 | Almacenar | |
| C-4 | 2 | 2 | 3 | 4 | Plegar | 14,850 |
| | 2 | 4 | 4 | 2 | Almacenar | |
| T-1 | 2 | 3 | 4 | 4 | Plegar | 14,400 |
| | 1 | 2 | 2 | 5 | Almacenar | |
| T-2 | 2 | 3 | 5 | 2 | Plegar | 7,700 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | Almacenar | |
| T-3 | 1 | 2 | 2 | 2 | Plegar | 14,300 |
| | 1 | 3 | 3 | 1 | Almacenar | |
| T-4 | 2 | 3 | 3 | 4 | Plegar | 16,500 |
| | 2 | 2 | 3 | 5 | Almacenar | |
| S-1 | 2 | 3 | 6 | 7 | Plegar | 13,650 |
| | 1 | 1 | 1 | 2 | Almacenar | |
| S-2 | 1 | 3 | 3 | 2 | Plegar | 13,400 |
| | 1 | 3 | 3 | 6 | Almacenar | |
| S-3 | 3 | 4 | 6 | 5 | Plegar | 13,633 |
| | 1 | 2 | 2 | 3 | Almacenar | |
| S-4 | 2 | 5 | 6 | 7 | Plegar | 13,400 |
| | 1 | 2 | 2 | 3 | Almacenar | |

Las estructuras (básicas y detalladas) corresponden directamente a los últimos dos niveles del árbol genealógico, mientras que las funciones y sus modificadores, también se pueden asociar a cada uno de los niveles (físicos, de trabajo, estructura básica y detalles). En el caso anterior, por ejemplo, la función «laminar» está asociada al principio físico laminación y el modificador funcional «accionar de arriba hacia abajo la palanca de la prensa» está asociado a la estructura básica número 4 (Figura 7.6).

Al realizar esta asociación, cada uno de los elementos FBS estará ubicado en alguno de los cuatro niveles comentados.

Una vez realizada esta asociación se procede a distribuir el valor hallado de la flexibilidad global entre todos los elementos de la sesión. Para ello se procede de la siguiente manera:

Repartir el valor calculado de la flexibilidad total en cada nivel de acuerdo a las proporciones establecidas en el modelo original (10, 6, 3 y 1 punto), es decir: 50% para el nivel de principios físicos, 30% para el nivel de principios de trabajo, 15% para estructuras básicas y 5% para detalles de las estructuras. De esta manera, para el participante del ejemplo que obtuvo una flexibilidad de 13,4 puntos: 6,7 corresponde a principios físicos; 4,02 a principios de trabajo; 2,01 a estructuras básicas y 0,67 a estructuras de detalle.

En cada nivel, repartir la proporción correspondiente entre los diferentes elementos del proceso, teniendo en cuenta la ponderación de cada uno de ellos: 50% para las estructuras, como elementos definitivos del diseño, 30% para las funciones y 20% para los modificadores. Entonces, por ejemplo, si en el nivel de estructuras básicas hay asociadas 4 funciones y 5 modificadores, los 2,01 puntos correspondientes a ese nivel se deberán repartir así: 1,005 puntos (50%) entre las seis estructuras básicas, por lo que cada una tendrá 0,1675 puntos; 0,603 puntos (30%) entre las 4 funciones, esto es, 0,1508 puntos para cada una; 0,402 puntos (20%) entre los 5 modificadores, lo que da 0,0804 para cada uno.

Una vez que se ha asignado el puntaje a cada elemento FBS se tendrá el valor total para cada período del proceso ya que se sabe en qué momento se propuso la idea correspondiente. Este se obtiene al sumar las flexibilidades de todos los elementos presentes en el respectivo período. Esto es:

$$\text{flexibilidad del periodo } j = C_{1j} = \sum_i flex_{ji} \quad (7.7)$$

donde:

$flex_{ij}$ = flexibilidad del elemento i en el período j

7.7.3 Índice de fluidez

Se entiende por fluidez la facilidad para generar gran número de ideas durante la sesión experimental. Por ello, esta característica se determina sencillamente como la suma ponderada de todos los elementos generados en el período j . Esto es:

$$Fluidez\ del\ periodo\ j = C_{3j} = \sum_k w_k \cdot N_{jk} \quad (7.8)$$

donde:

w_k = es el peso de cada tipo de elemento k (0,5 estructuras, 0,3 funciones y 0,2 modificadores).

N_{jk} = Número de ideas del tipo k en el período j .

7.7.4 Índice de elaboración

Este índice relaciona el nivel de detalle, de desarrollo o complejidad con el que se describe o se elaboran las ideas. Es lógico definir el grado de elaboración de una función de acuerdo con la cantidad de sus modificadores funcionales, teniendo en cuenta que aquellos precisamente lo que hacen es ampliar y calificar la función aludida. Se propone, por lo tanto, medir el grado de elaboración de una función como el cociente del número de modificadores que la afectan (MF_i) y el número total de modificadores en toda la sesión (MF_T). Éste será considerado como el «peso» de la función bajo el criterio de elaboración. Esto es:

$$w_{Fi} = \frac{MF_i}{MF_T} \quad (7.9)$$

Y la elaboración de todas las funciones desarrolladas en un período j , será la suma ponderada por el grado de elaboración de cada función, así:

$$C_{Fj} = \sum_{i=1}^n w_{Fi} \cdot N_{MFji} \quad (7.10)$$

donde:

n = número total de funciones del período j .

N_{MFij} = número de modificadores de la función i en el período j .

En forma similar, la elaboración de las estructuras básicas se medirá de acuerdo con la cantidad de estructuras de detalle desarrolladas, de la siguiente manera:

$$C_{Ej} = \sum_{l=1}^m w_l \cdot N_{EDjl} \quad (7.11)$$

donde:

m = número total de estructuras básicas del período j .

N_{EDjl} = número de detalles de la estructura l en el período j .

w_l = peso de detalles de la estructura l , que se calcula como el cociente entre el número de detalles de la estructura l (en todos los periodos) y el número total de detalles de todas las estructuras.

La elaboración total por cada período será la suma de la elaboración de las funciones y de las estructuras. Esto es:

$$\text{Elaboración del periodo } j = C_{4j} = C_{Fj} + C_{Ej} \quad (7.12)$$

De esta manera se define numéricamente los cuatro índices que permitirán la valoración de la creatividad, y por lo tanto, de la efectividad de cada software evaluado durante cada periodo en el que se ha subdividido cada una de las sesiones experimentales.

Los valores máximos obtenidos de cada índice para cada programa, se muestran en la Tabla 7.6.

Tabla 7.6 Valores máximos obtenidos para cada índice de calidad creativa

| Programa | Flexibilidad | Originalidad | Fluidez | Elaboración |
|---------------|--------------|--------------|---------|-------------|
| Creatriz | 4,84 | 1,39 | 2,20 | 2,00 |
| Thoughtpath | 6,04 | 1,73 | 2,00 | 3,11 |
| Axon | 4,96 | 2,06 | 2,90 | 2,81 |
| Brainstorming | 5,24 | 1,60 | 2,30 | 2,77 |
| Sin-Software | 5,16 | 1,78 | 2,60 | 3,34 |

7.7.5 Creatividad global

Poder determinar un único valor para la creatividad no es una tarea sencilla. Cada uno de los índices propuestos hasta aquí, son independientes entres sí y utilizan escalas de valoración diferentes. Por ello no se puede definir una forma racional de combinarlos para calificar globalmente la creatividad.

Aún así, y solamente para efectos de comparación entre los programas evaluados, se puede proponer la valoración global de la creatividad como la suma ponderada de los índices descritos. Para ello se propone aplicar la expresión siguiente:

$$c = \sum_{i=1}^4 \frac{\text{índice}_i w_i}{vf_i} \quad (7.13)$$

donde:

c : Creatividad total

índice_i : Índice de creatividad i (i = originalidad, flexibilidad, fluidez y elaboración).

vf_i : Valor máximo posible (de frontera) del índice de creatividad i

w_i : Peso del índice de creatividad i .

Para su aplicación, se supondrá que el valor máximo posible o de frontera de cada índice (vf_i), será equivalente al máximo obtenido, según se presenta en el capítulo 8. Con ello básicamente lo que se busca es uniformizar la escalas de valoración de los diferentes índices. También se asumirá que el peso de cada índice es el mismo, es decir, cada índice de creatividad tiene el mismo nivel de importancia para la valoración total.

Con estas consideraciones, el valor máximo posible de la creatividad global será de 4, y la ecuación (7.13) se puede re-escribir como:

$$c = \frac{\text{flexibilidad}}{16,98} + \frac{\text{originalidad}}{9,82} + \frac{\text{fluidez}}{14,00} + \frac{\text{elaboración}}{14,67} \quad (7.14)$$

Y, en términos de porcentaje:

$$c[\%] = (c + 100) / 4 \quad (7.15)$$

7.8 Conclusiones del capítulo

Se describe en este capítulo la forma en que se ha procesado la información obtenida en las sesiones experimentales. Las etapas seguidas incluyen la transcripción del protocolo (verbal, visual, informático y gráfico) seguida por la codificación de las unidades elementales denominadas aquí «acciones de diseño» y la identificación de elementos FBS. Las funciones, los modificadores y las estructuras son, por lo tanto, los elementos básicos para el análisis de resultados. Ha sido posible establecer una forma de identificación y codificación de las interrelaciones de tales elementos que conduce a la graficación de su evolución en el tiempo, cuya unidad es el «período» de 5 minutos de duración.

Para lograr el propósito buscado de comparar objetivamente los resultados de la aplicación de cada software evaluado, fue necesario desarrollar un modelo de valoración. Tal modelo se sustenta conceptualmente en la propuesta de Takeda (1996) al considerar a la «función» como eje para la estructuración del proceso de diseño.

Para construir una representación del diseño de productos como proceso y no solo como resultado final, se ha realizado una adaptación al modelo propuesto originalmente por Shah y Vargas (2003), para la determinación de lo que aquí se ha denominado «índices de creatividad» referidas a la flexibilidad, novedad, elaboración y fluidez de las ideas desarrolladas por los participantes.

Se puede afirmar, entonces, que el modelo aquí desarrollado es una combinación de las siguientes propuestas:

- Takeda (1996), para identificar los elementos FBS y su evolución,
- Shah y Vargas (2003) que posibilita la definición de funciones de calificación de la creatividad.
- Aportes propios del investigador, para combinar en forma adecuada los conceptos de los dos autores anteriores, y definir una nueva manera de representar el proceso de diseño bajo criterios de creatividad.

Además se integran en el modelo otros elementos importantes basados en las experiencias similares de Mulet (2003), de Goldsmith (1996) y de Suwa (1998), entre otros, quienes han desarrollado investigaciones con temáticas afines a la presente. Entre otros aspectos, han aplicado modelo FBS y han presentado alternativas para la codificación de datos experimentales y para la representación del proceso de evolución

funcional, de tal manera que sus experiencias han sido útiles en esta etapa de la investigación.

Como resultado de la integración y adecuación de los criterios expuestos por estos autores y por el aporte propio, ha sido posible el desarrollo de un modelo de procesamiento y valoración de estudios de protocolo de diseño no exclusivamente verbales, lo cual se puede considerar como un aporte valioso de esta investigación.

Todos los archivos generados en la implementación del modelo para cada participante se encuentran en el CD3 que se anexa.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de este modelo serán sujeto de presentación del próximo capítulo.