

Parte III

Trabajo experimental y desarrollo de la investigación

Capítulo 6

Análisis experimental y resultados

El contexto de la presente investigación es la interrelación entre los criterios de usabilidad y el aprendizaje (véase Figura 1.2 en la página 5). El análisis experimental representa el procedimiento de rastreo o identificación de criterios y ha sido importante para la concepción y definición del modelo propuesto en el Capítulo 7. Así pues, el análisis experimental ha sido realizado considerando los enfoques de la usabilidad y del aprendizaje.

El proceso de concepción del modelo propuesto, se basa en el estudio taxonómico realizado que ha permitido determinar los fundamentos de dicho modelo. A continuación, se detalla el análisis taxonómico de la naturaleza de los test.

6.1 Naturaleza de los test: análisis taxonómico

El dominio que se considera en la presente tesis es el ámbito de los métodos y procesos de test que forman parte del ciclo de vida de desarrollo de aplicaciones multimedia. Según el contexto de la investigación (i.e. la interrelación entre la usabilidad del software educativo y el aprendizaje del usuario), las actividades de test tratadas observan la semántica y la sintaxis de los problemas y errores encontrados durante la ejecución de una aplicación multimedia.

En este sentido, las actividades de test representadas por la verificación, la validación y la evaluación de usabilidad, se basan en la naturaleza semántica, sintáctica e híbrida.

6.2 Meta-modelo

Usando los valores semánticos y sintácticos como punto de partida, se desarrolla el dominio a partir de una estrategia que considera el uso de un meta-modelo (véase Figura 6.1), a través del cual han sido determinados los elementos taxonómicos.

En este sentido, el meta-modelo ha permitido no sólo la clasificación y descomposición de los elementos taxonómicos, sino también la identificación de las condiciones (i.e. los criterios de evaluación de usabilidad) relacionadas con los test de verificación, validación y usabilidad.

De acuerdo con Raghunathan (1992, p. 321), un meta-modelo

“es la fuente de conocimiento primaria usada para identificar res-

tricciones apropiadas y relaciones de dependencia en un problema”.

Esta estrategia ha permitido organizar las características ergonómicas (i.e. de usabilidad) y del aprendizaje, ya sean deterministas, estocásticas o intuitivas, asociadas al entorno multimedia. De esta manera, se establecen las relaciones de dependencia entre los elementos del dominio de la naturaleza de los test, permitiendo el diseño de su taxonomía.

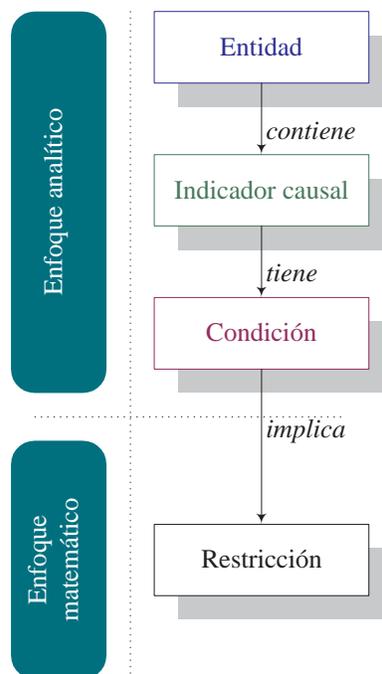


Figura 6.1: Meta-modelo del dominio de la naturaleza de los test.

El meta-modelo ha sido organizado como una jerarquía y consiste en dos enfoques (analítico y matemático) y cuatro niveles (entidad, agentes causales, condiciones y restricciones).

Por una parte, se utiliza el enfoque analítico para definir el árbol de la taxonomía del dominio de la naturaleza de los test. En este enfoque

se identifican las **entidades** (primer nivel) que contiene los **indicadores causales** (segundo nivel). Éstos, a su vez, tienen **condiciones** (tercer nivel), las cuales implican **restricciones** identificadas en el enfoque matemático que representan el cuarto nivel del meta-modelo.

Por otra parte, se utiliza el enfoque matemático para determinar los valores de las restricciones que serán usadas en el modelo matemático, cuya función objetivo será la maximización del aprendizaje según los criterios de usabilidad propuestos. Se debe llevar a cabo la adquisición de los coeficientes de dicho modelo a través de técnicas avanzadas de análisis estadísticos (e.g. el análisis de componentes principales (Aluja-Banet y Morineau, 1999) y/o la aproximación parcial de los cuadrados mínimos (Tenenhaus, 1998)). Además, se debe identificar, a partir de los datos, cual es el mejor método (e.g. métodos de investigación operativa) para diseñar el modelo matemático más adecuado. Sin embargo, el contexto de la presente tesis comprende solamente el enfoque analítico del meta-modelo. Por lo tanto, el enfoque matemático será una de las actividades futuras de investigación.

El meta-modelo permite diseñar, de forma conceptual, el dominio de tema determinado considerando sus restricciones y relaciones de dependencia. De esta manera, el meta-modelo es la base para el modelo propuesto. La asociación entre ellos considera los siguientes aspectos:

- El dominio del meta-modelo es la naturaleza de los test de aplicaciones multimedia, en la cual se aplica el modelo propuesto.
- El análisis de la naturaleza de los test ha permitido el diseño de la estructura y de los componentes del modelo propuesto.

- El nivel **entidad** del meta-modelo representa los principios semánticos, sintácticos e híbridos utilizados en la evaluación de una aplicación multimedia usada en EFD.
- En el modelo propuesto las entidades están implícitamente representadas por los dos principios.
- Los **indicadores causales** representan una especificación de la interrelación entre los ítems de interés y agentes del modelo propuesto (véase Tabla 7.2, página 241).
- A través de los **indicadores causales** se definen las guías de procedimiento para la identificación de las **condiciones**.
- Los **indicadores causales** se basan en la siguiente pregunta: “¿A través de qué se interrelacionan los ítems de interés y los agentes?”
- Las **condiciones** representan los criterios de evaluación del modelo propuesto. Estas no son ilimitadas y varían según los objetivos y requerimientos predeterminados de las aplicaciones multimedia.
- Las **condiciones** se basan en las siguientes preguntas: “¿Cómo un ítem de interés influye o se influye por un criterio de evaluación respecto a un agente?” y “¿Si existe un cambio en el ítem de interés, hay la posibilidad de cambios en el criterio de evaluación respecto a un agente y vice-versa?”
- Las **restricciones** representan las limitaciones que poseen las **condiciones** y pueden ser medidas cuantativamente.

La metodología científica, en general, no es lineal. Los procesos de cada método de investigación no son exclusivamente caracterizados por los procedimientos del tipo “*top-down*”, sino que se caracterizan por sus iteraciones. Además, la construcción final del meta-modelo y de la taxonomía está asociada a la identificación de los análisis del trabajo empírico.

6.3 Taxonomía propuesta

En esta investigación, el interés principal en actividades de test para evaluar aplicaciones multimedia no sólo pone atención en el control de calidad, sino también en la influencia de la usabilidad en el aprendizaje del usuario.

A partir de las consideraciones de Bloom (1956), en las que el autor distingue los términos clasificación y taxonomía, se establece el término taxonomía como la estructura jerárquica para organizar el dominio de la naturaleza de los test. A continuación se presentan los argumentos que caracterizan una taxonomía:

- Una taxonomía tiene determinadas reglas estructurales que permiten mantener la consistencia de la misma.
- En una taxonomía, debe existir una correspondencia entre el orden de los términos y el orden real de los fenómenos representados por los términos.
- El esquema taxonómico no puede tener muchos elementos arbitrarios.
- “Se valida a través de la demostración de su consistencia con las visiones

teóricas a partir de los resultados de investigación del campo que se intenta ordenar” (p. 17).

Ante estos argumentos, la taxonomía propuesta consiste en:

- Tres reglas estructurales basadas en los problemas de usabilidad de sistemas interactivos:
 1. La organización taxonómica se basa en los niveles jerárquicos de especialización declarados en el meta-modelo.
 2. La determinación de los indicadores causales y las condiciones depende de su grado de pertinencia respecto al contexto de la investigación (i.e. la influencia de la usabilidad en el aprendizaje).
 3. La representación de la taxonomía en forma de árbol para garantizar la unicidad de las condiciones.
- Una correspondencia entre el orden de representación de los elementos del meta-modelo y el orden observado en los sucesos reales.
- Un esquema taxonómico que evita elementos arbitrarios¹.
- Algunos criterios de validación basados en los resultados de la investigación de la literatura especializada y del resultado del cuestionario (véase Secciones 6.5 y 6.6.1).

En la Figura 6.2, se presenta el árbol taxonómico resultante.

¹Durante el proceso de definición de la taxonomía propuesta, ha sido necesario arbitrar dónde algunos elementos ambiguos deberían ser clasificados. Consecuentemente, el criterio de pertinencia ha sido usado para ordenar dichos elementos. Es decir, si un elemento es más pertinente a la entidad *A* que a la entidad *B*, entonces se incluye este elemento en la entidad *A*.

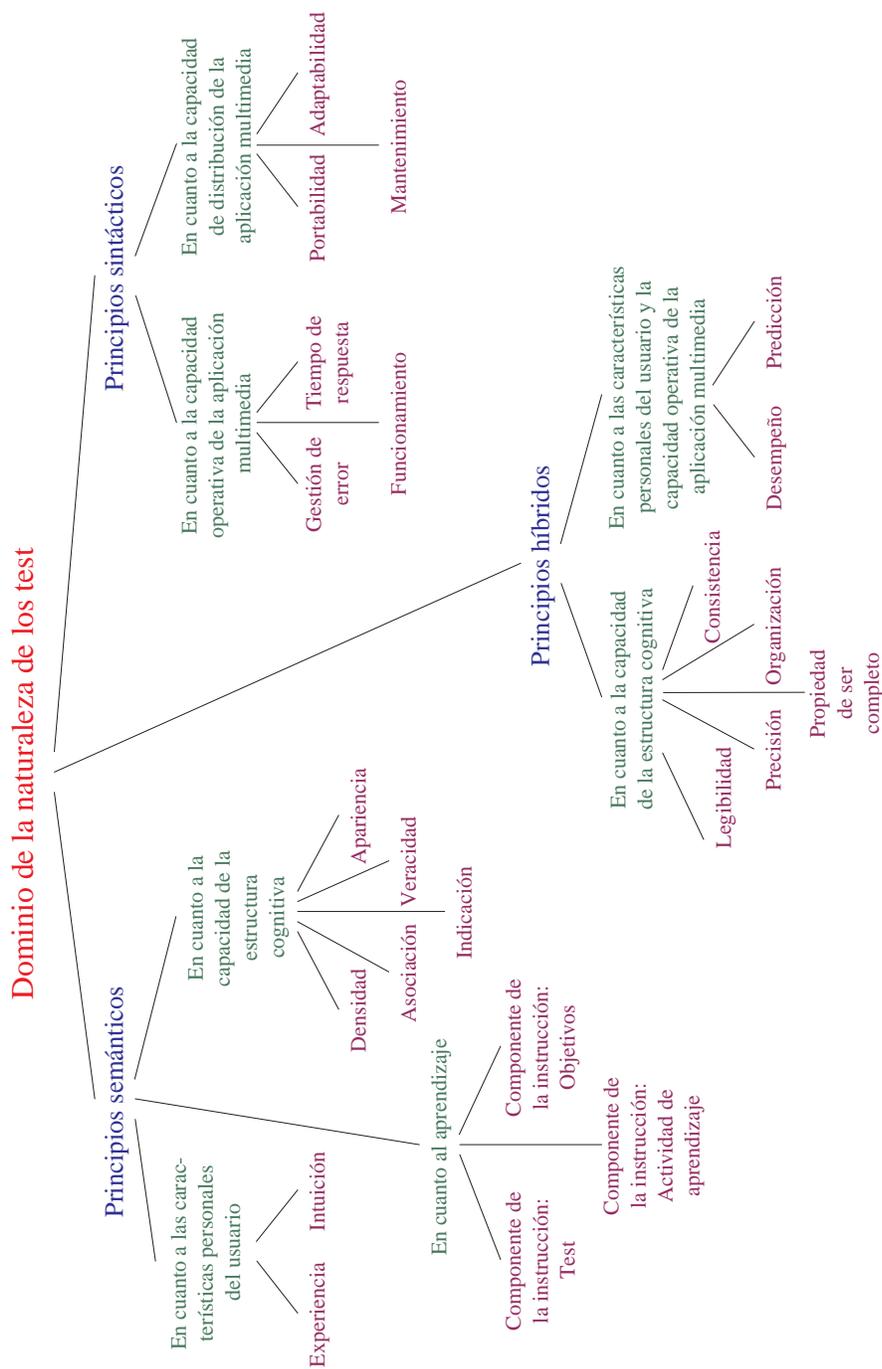


Figura 6.2: Árbol taxonómico del dominio de la naturaleza de los test.

6.3.1 Entidades

Una entidad representa un grupo estructural básico de elementos similares identificados en el dominio de la naturaleza de los test de aplicaciones multimedia (i.e. sistemas interactivos multimedia). La determinación de las entidades para dicho dominio considera los orígenes de influencia que podrían afectar la usabilidad de la aplicación y, por consiguiente, el aprendizaje del usuario. Las entidades son:

- **Principios semánticos:** La palabra semántica, de acuerdo con algunos diccionarios (D.R.A.E., 1992; Oxford, 1995; Aurélio, 1986), es el estudio del significado de los signos, palabras, y lenguajes y de sus combinaciones. Siendo así, los principios semánticos se relacionan con los aspectos psicomotrices (actividades mentales y motrices) asociados a los cognitivos.

En la interacción hombre-ordenador (*Human-Computer Interaction - HCI*) se identifican diversos indicadores causales y, consecuentemente, las condiciones que permiten mejorar la interfaz entre el usuario y el ordenador desde la perspectiva semántica.

- **Principios sintácticos:** De acuerdo con los diccionarios D.R.A.E. (1992), Oxford (1995) y Aurélio (1986), la palabra sintaxis significa el estudio de la coordinación y construcción gramatical para formar las oraciones y expresar conceptos.

Usando esta definición como punto de partida, se definen los test sintácticos como los procedimientos de evaluación, en los cuales se presta

atención a los problemas de índole técnica, tales como la deficiencia de los algoritmos utilizados y el mal funcionamiento de las operaciones.

- **Principios híbridos:** Estos principios son producto de los elementos de naturaleza semántica y sintáctica, determinados por la fuerte relación entre los principios anteriores.

Ante esto, se verifica que los test sintácticos poseen un carácter más específico. Es decir, las consideraciones observadas por el equipo responsable por aplicación de los test se caracterizan por tener el grado de abstracción más bajo, lo que implica en una evaluación objetiva. Por otra parte, las consideraciones observadas de los test semánticos se caracterizan por tener un grado de abstracción más alto, lo que implica en una evaluación interpretativa y subjetiva. En resumen, el grado de abstracción de un proceso de test aumenta cuando se aproxima a la parte semántica y disminuye cuando se aproxima a la parte sintáctica, de manera que el tipo de atención prestada para cada parte es distinto (véase Figura 6.3).

Como se ha comentado, los test de naturaleza semántica y sintáctica poseen una fuerte relación, la cual está representada por el área de intersección (i.e. principios híbridos) en la Figura 6.3. En esta intersección se pueden identificar características de ambas naturalezas como por ejemplo el desempeño del usuario al ejecutar tareas asignadas (test semánticos) y el desempeño de la aplicación durante el procesamiento de dichas tareas (test sintácticos).

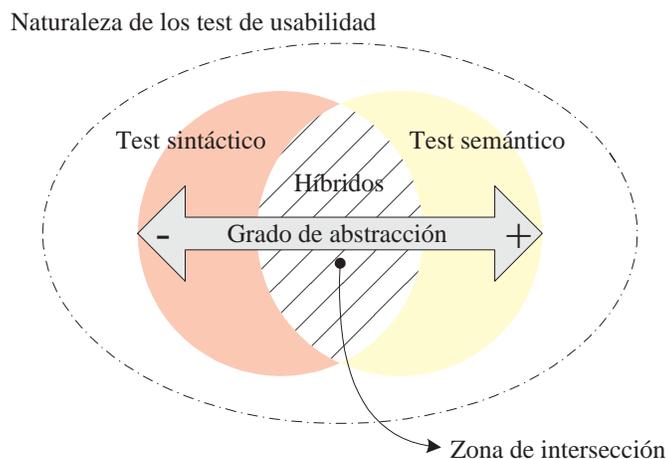


Figura 6.3: Grado de abstracción de la naturaleza de los test.

6.3.2 Indicadores causales

Considerando que los indicadores causales representan una especificación de la interrelación entre los ítems de interés y agentes del modelo propuesto, se determinan las siguientes instancias para este elemento del meta-modelo de la naturaleza de los test de aplicaciones multimedia:

- **En cuanto a las características personales del usuario:** Este indicador causal agrupa las condiciones relacionadas con el usuario. Considerando los principios semánticos, las condiciones **experiencia** e **intuición** son las características de los usuarios que pueden influir en el diseño de aplicaciones multimedia. Por otra parte, considerando los principios híbridos, el **desempeño** y la **predicción** del usuario determinan patrones de usabilidad y aprendizaje usados en el diseño de dichas aplicaciones.

- **En cuanto al aprendizaje:** Éste agrupa las condiciones semánticas que representan los tres componentes de la instrucción: **CI: objetivos**, **CI: test** y **CI: actividades de aprendizaje**.
- **En cuanto a la capacidad de la estructura cognitiva:** Este indicador, identificado en los principios semánticos e híbridos, agrupa las condiciones relacionadas con la forma en que se estructura el conocimiento para facilitar la transferencia de información. Desde el punto de vista semántico, las condiciones **densidad**, **asociación**, **indicación**, **veracidad** y **apariencia** forman parte de la capacidad de la estructura cognitiva. Desde el punto de vista híbrido, se identifican las condiciones **legibilidad**, **precisión**, **propiedad de ser completo**, **organización** y **consistencia**.
- **En cuanto a la capacidad operativa de la aplicación multimedia:** Este es un indicador causal que agrupa condiciones relacionadas con la operación de la aplicación multimedia. Sus características son sintácticas e híbridas. Desde la perspectiva sintáctica, las condiciones **gestión de error**, **funcionamiento** y **tiempo de respuesta** componen la capacidad operativa de la aplicación multimedia. Considerando los principios híbridos, las condiciones observadas son la **densidad** y la **predicción**.
- **En cuanto a la capacidad de distribución la aplicación multimedia:** Este indicador agrupa las condiciones sintácticas que permiten verificar el grado de facilidad de ejecución de una aplicación multimedia en otras plataformas. Las condiciones son: la **portabilidad**, el

mantenimiento y la adaptabilidad.

6.3.3 Condiciones

Las condiciones pueden ser definidas a partir de dos perspectivas. Desde la perspectiva del meta-modelo del dominio de la naturaleza de los test, las condiciones son una representación conceptual de las restricciones de uso y satisfacción del usuario. Desde la perspectiva del proceso de test aplicado, las condiciones son los criterios de evaluación de usabilidad, los cuales se detallarán en los Capítulos 7 y 8 (páginas 242 y 256, respectivamente).

La Figura 6.4 presenta una visión general del esquema taxonómico de la naturaleza de los test, la cual consta de los niveles del meta-modelo (i.e. entidad, indicador causal, condición y restricción) y las instancias² respecto a la naturaleza de los test.

²Como se ha comentado, el estudio sobre el enfoque matemático del meta-modelo está fuera del alcance de esta investigación. Por tanto, no se presentan las instancias del nivel restricción.

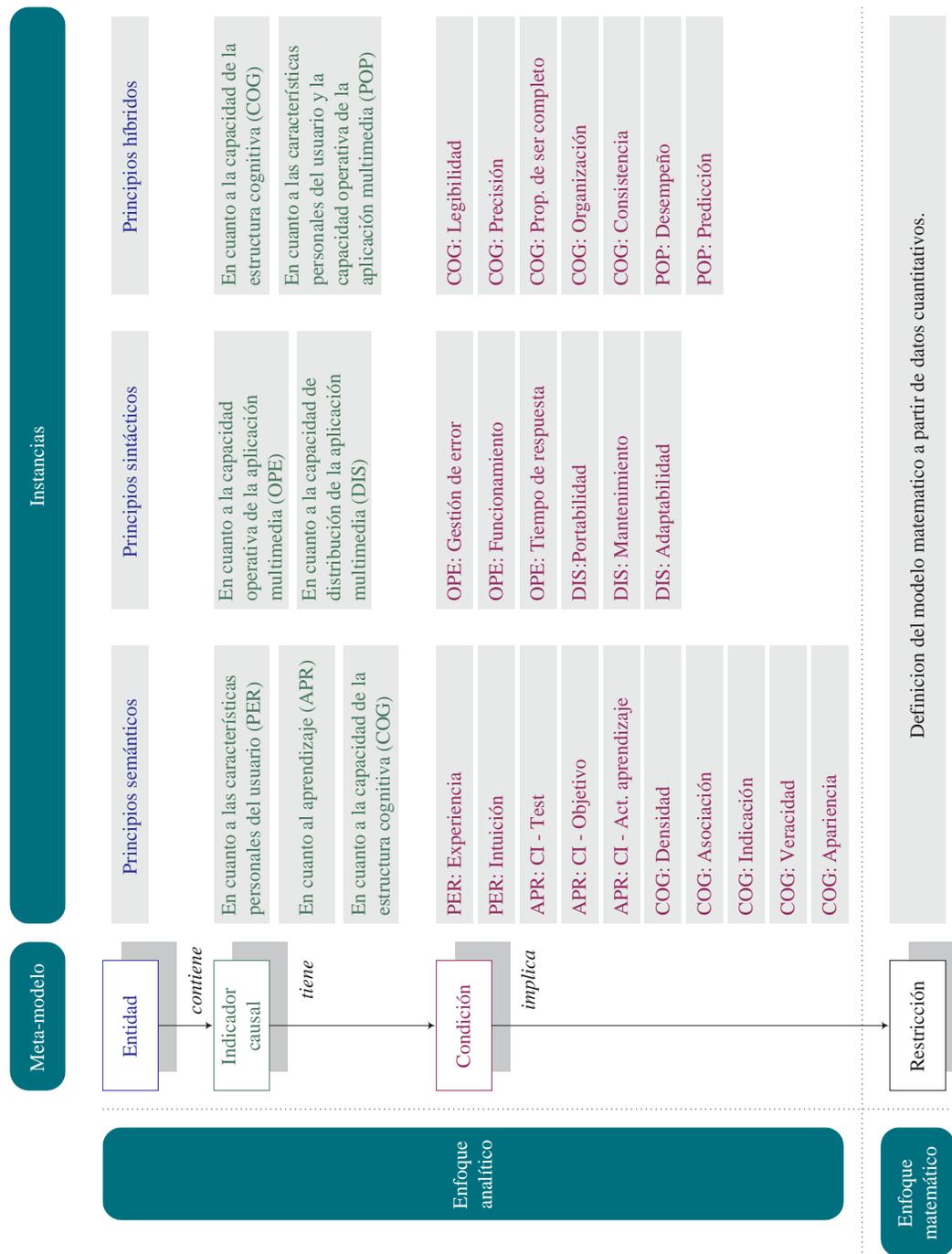


Figura 6.4: Visión general del esquema taxonómico de la naturaleza de los test.

6.4 Colecta y análisis de los datos

Después de la definición del problema y consecuentemente del diseño de la investigación, cuyo ámbito representa el estudio sobre la usabilidad de aplicaciones multimedia y su relación con el aprendizaje de los usuarios, se inicia la colecta de los datos. Este proceso se basa en los siguientes criterios de selección:

- Análisis de la literatura especializada.
- Refinamiento de los documentos considerando su importancia de acuerdo con la comunidad científica.
- Estudios de casos identificados en el entorno general y específico de la investigación.
- Aplicación de cuestionarios sobre usabilidad.

A partir de los datos colectados de acuerdo con los criterios de selección anteriormente definidos, se empieza la fase de análisis de datos. Dicha fase ha permitido que el modelo propuesto evolucionara debido a la influencia de algunos de los resultados obtenidos y a la influencia de nuevos aspectos definidos por los ámbitos de esta investigación, tales como los cambios de paradigmas del proceso enseñanza-aprendizaje, la introducción de nuevos conceptos, el acceso a nuevos datos respecto a la relación usuario-ordenador y el uso de nuevas tecnologías (e.g. software y hardware).

Los procesos comentados (i.e. la colecta y el análisis de datos) pertenecen al método de la teoría fundamentada en datos (*Grounded Theory*) presentada

en la Sección 2.1.2.2 del Capítulo 2. A continuación, se presentan los detalles del trabajo empírico de dichos procesos.

6.5 Análisis de la literatura especializada

Como se ha comentado, el grupo de criterios de evaluación de usabilidad propuesto en la presente tesis (véase Capítulos 7 y 8) se basa en el análisis de las propuestas identificadas en la literatura especializada. Los trabajos han sido seleccionados considerando su importancia para la presente investigación y la relevancia de sus autores.

El análisis consiste en la definición de grupos de criterios de evaluación, los cuales son equivalentes a las condiciones de la taxonomía de la naturaleza de los test (véase Sección 6.3). A partir de dicha definición, se verifica que las condiciones propuestas garantizan la representatividad de los criterios de evaluación de usabilidad identificados en la literatura (véase Tabla 6.1).

Tabla 6.1: Análisis comparativo de propuesta de criterios de evaluación de usabilidad.

Criterios de evaluación de usabilidad	Guillemette (1989)	Nielsen (1994a)	Garzotto et al. (1995)	Scapin y Bastien (1997)	Shneiderman (1998)	Catapan et al. (1999)	Crozat et al. (1999)	Nielsen (2000)	Krug (2001)	Condiciones propuestas en la taxonomía
Accesibilidad	✓		✓					✓		Funcionamiento
Acciones explícitas	✓			✓	✓	✓				Desempeño
Acciones mínimas	✓	✓	✓	✓	✓	✓				Desempeño
Agrupamiento por formato				✓		✓				Organización
Agrupamiento por localización				✓		✓				Organización
Apariencia					✓		✓	✓	✓	Apariencia
Asociación	✓						✓	✓		Asociación
Ayuda	✓	✓			✓			✓	✓	Gestión de error
Calidad de los mensajes de error		✓		✓	✓	✓		✓		Gestión de error
Compatibilidad	✓			✓	✓	✓		✓		Portabilidad
Concisión		✓		✓		✓	✓			Propiedad de ser completo
Consistencia	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Consistencia
Contraste							✓			Apariencia
Control de usuario	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	Desempeño
Corrección de los errores	✓	✓		✓		✓				Mantenimiento
Densidad de la información	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	Densidad
Densidad estructural	✓								✓	Densidad
Desempeño					✓			✓	✓	Desempeño
Experiencia del usuario				✓	✓	✓				Experiencia
Flexibilidad	✓	✓		✓	✓	✓		✓		Adaptabilidad
Fiabilidad	✓				✓		✓	✓	✓	Veracidad, Funcionamiento
Harmonía							✓			Consistencia
Indicación			✓		✓			✓	✓	Indicación
Intuición		✓							✓	Intuición
Legibilidad (clareza)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Legibilidad
Mantenimiento								✓	✓	Mantenimiento
Navegabilidad		✓	✓		✓			✓		Funcionamiento, Predicción, Indicación
Organización					✓			✓	✓	Organización
Predicción	✓	✓	✓							Predicción
Presteza				✓		✓				Desempeño, Tiempo de respuesta

Tabla 6.2: Análisis comparativo de propuesta de criterios de evaluación de usabilidad. (continuación)

Criterios de evaluación de usabilidad	Guillemette (1989)	Nielsen (1994a)	Carzotto et al. (1995)	Scapin y Bastien (1997)	Shneiderman (1998)	Catapan et al. (1999)	Crozat et al. (1999)	Nielsen (2000)	Krug (2001)	Condiciones propuestas en la taxonomía
Portabilidad								✓	✓	Portabilidad
Protección contra errores				✓		✓		✓		Gestión de error
Retroalimentación		✓		✓	✓	✓	✓			Gestión de error
Re-uso			✓							Mantenimiento, Adaptabilidad
Riqueza	✓	✓	✓		✓		✓			Propiedad de ser completo
Significado de códigos				✓		✓				Asociación
Tiempo de respuesta								✓		Tiempo de respuesta
Uniformidad				✓		✓	✓			Consistencia
Visibilidad	✓						✓			Apariencia, Legibilidad, Densidad

6.6 Cuestionarios aplicados

Además de los datos obtenidos del análisis de la literatura especializada, se hizo necesario la aplicación de dos cuestionarios.

Los cuestionarios han sido preparados considerando el análisis de la literatura especializada -en la que se incluye la propuesta de Pereira y Monguet (2000a; 2000b)- las características del ámbito de la EFD y el análisis de las versiones beta de las aplicaciones multimedia desarrolladas por el Laboratorio Multimedia (UPC).

Aunque tengan propósitos distintos, dichos cuestionarios, explicados a continuación, poseen estructuras semejantes y algunas preguntas son idénticas. Además, estos cuestionarios se basan, en parte, en:

- El *Questionnaire for User Interaction Satisfaction*³, desarrollado por Shneiderman (1998) y refinado por Chin, Diehl y Norman (1988).
- El *User Satisfaction Questionnaire Venus* presentado por Mayhew (1999).

6.6.1 Cuestionario general sobre usabilidad

El cuestionario general sobre usabilidad consta de dos partes. La primera consiste en la identificación del perfil del usuario (i.e. el usuario general y el usuario multimedia). La segunda parte consiste en la identificación de las características de las aplicaciones multimedia usadas en EFD.

6.6.1.1 Propósito

El propósito de este cuestionario es, por una parte, identificar el grado de fuerza de las condiciones propuestas en la taxonomía (i.e. los criterios de evaluación de usabilidad) y, por otra parte, validar los criterios de evaluación seleccionados.

6.6.1.2 Perfil del usuario general

La definición del perfil del usuario general se calcula considerando la primera parte del cuestionario (véase Cuestionario A.1, página 328), la cual consiste en cuatro ítems calificadores ($\mathcal{IC}_{P_{Usuario}}$): (1) la escolaridad del usuario, (2) la cantidad de horas diarias dedicadas por el usuario al uso de un ordenador, (3) el tipo de actividad que el usuario realiza con un ordenador y (4) los softwares que el usuario ha usado en los últimos seis meses. A través de la

³<http://www.lap.umd.edu/quis/>

Ecuación 6.1 se calcula el valor del perfil del usuario ($\mathcal{P}_{U_{suario}}$), con el cual se clasifica el usuario de acuerdo con la Tabla 6.3.

Tabla 6.3: Grupos de perfil de usuario.

Valor calculado	Grupos de perfil de usuario
(0, 1]	Experiencia nula
(1, 2]	Principiante
(2, 3]	Intermedio
(3, 4]	Avanzado
(4, 5]	Experto

$$\mathcal{P}_{U_{suario}} = \sum_{i=1}^4 w_i \cdot (\mathcal{IC}_{\mathcal{P}_{U_{suario}}})_i \quad (6.1)$$

Se multiplican los ítems calificadores ($(\mathcal{IC}_{\mathcal{P}_{U_{suario}}})_i$) por sus respectivos pesos (w_i), y se suman los productos resultantes para todos los ítems calificadores del perfil del usuario. A los pesos (w_i) de los ítems calificadores se les atribuyen arbitrariamente los valores $\{1, 1, 1, 2\}$ respectivamente.

Considerando que el cálculo del ítem calificador se da por la ecuación

$$\mathcal{IC}_{\mathcal{P}_{U_{suario}}} = (factor_i \cdot \mathcal{V}_{OpcionSeleccionada_i}) \quad (6.2)$$

donde $factor_i$ representa un factor asociativo al valor de la opción seleccionada ($\mathcal{V}_{OpcionSeleccionada_i}$) del ítem calificador. El usuario determina el valor de la opción seleccionada, la cual se determina por la respuesta del usuario. A

los factores asociativos de los valores de cada opción seleccionada de los ítems calificadores se les atribuyen los valores $\{\frac{1,0}{6}, \frac{1,0}{5}, \frac{1,0}{6}, \frac{1,0}{51}\}$ respectivamente.

Consecuentemente, expandiendo la Ecuación 6.1 se obtendría

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_{Usuario} = & 1 \cdot \left(\frac{1,0}{6}\right) \cdot \mathcal{V}_{Opcion.Seleccionada_1} + 1 \cdot \left(\frac{1,0}{5}\right) \cdot \mathcal{V}_{Opcion.Seleccionada_2} + \\ & 1 \cdot \left(\frac{1,0}{6}\right) \cdot \mathcal{V}_{Opcion.Seleccionada_3} + 2 \cdot \left(\frac{1,0}{51}\right) \cdot \mathcal{V}_{Opcion.Seleccionada_4} \end{aligned} \quad (6.3)$$

El valor de la opción seleccionada ($\mathcal{V}_{Opcion.Seleccionada}$) para los dos primeros ítems calificadores se atribuye directamente, es decir la opción seleccionada tiene un índice que varía de 1 a 6 (primer ítem calificador) y de 0 a 5 (segundo ítem calificador).

Para el tercer y cuarto ítems calificadores, se realizan sumas ponderadas, debido a que dichos ítems constan de múltiples respuestas. Se calcula el valor de la opción seleccionada ($\mathcal{V}_{Opcion.Seleccionada_3}$) para el tercer ítem calificador a través de la suma de los pesos ($Peso_{Opcion}$) de cada opción seleccionada (véase Ecuación 6.4).

$$\mathcal{V}_{Opcion.Seleccionada_3} = \sum_{Opcion=VERDAD} Peso_{Opcion} \quad (6.4)$$

La suma de los pesos ($Peso_{Opcion}$) se da si el usuario ha seleccionado una o más opciones del tercer ítem calificador. A los pesos ($Peso_{Opcion}$) de cada opción seleccionada (i.e. uso de un ordenador para trabajar, estudiar y/o entretenerse, o no usar el ordenador) se les atribuyen arbitrariamente los

valores $\{2, 3, 1, 0\}$ respectivamente.

En la Ecuación 6.5 se multiplican los pesos de cada subopción ($Peso_{SubOpcionSeleccionada_i}$) por la multiplicación entre el valor de la subopción seleccionada ($\mathcal{V}_{SubOpcionSeleccionada_i}$) y el factor asociativo de dicha subopción ($\frac{1,0}{3}$) que en este caso es fijo para todas las subopciones.

$$\mathcal{V}_{OpcionSeleccionada_4} = \sum_{i=1}^{20} \left(\frac{1,0}{3}\right) \cdot \mathcal{V}_{SubOpcionSeleccionada_i} \cdot Peso_{SubOpcionSeleccionada_i} \quad (6.5)$$

El valor de la subopción seleccionada ($\mathcal{V}_{SubOpcionSeleccionada_i}$) tiene un índice que varía de 0 a 3. A los pesos de cada subopción ($Peso_{SubOpcionSeleccionada_i}$) se les atribuyen arbitrariamente los valores $\{2, 4, 4, 2, 1, 1, 1, 1, 2, 5, 4, 5, 5, 3, 2, 2, 4, 1, 1, 1\}$ respectivamente.

Durante el proceso de entrada de datos, ha sido identificado que algunos cuestionarios no habían sido rellenados completamente. Por lo tanto, para garantizar la consistencia del valor del perfil del usuario, las siguientes condiciones han sido determinadas:

- Si no existía respuesta para el ítem calificador 1, pero el usuario contestó que se dedicaba una cantidad de horas al uso del ordenador y/o que como mínimo, usaba el ordenador para entretenerse (i.e. ítems calificadores 2 y 3, respectivamente), se le atribuyó el valor de la opción **estudios secundarios** (valor=3).
- Si no existía respuesta para el ítem calificador 2, pero el usuario contestó

que había usado más de tres software en los últimos seis meses, se le atribuyó el valor de la opción **entre 1 y 2 horas** (valor=2).

- Si no existía respuesta para el ítem calificador 3, pero el usuario contestó que se dedicaba una cantidad horas diarias al uso del ordenador y había usado algún tipo de software en los últimos seis meses, se realizó un análisis del tipo de software utilizado y se le atribuyó un valor de opción que varió entre **trabajar, estudiar** y/o **entretenerse**.
- Si no existía respuesta para el ítem calificador 4, se consideró el grado de experiencia del usuario **nulo**, debido a que sería imposible determinar los software usados en los últimos seis meses.

6.6.1.3 Perfil del usuario multimedia

El perfil del usuario multimedia consiste en la definición de un indicador de validación de la población seleccionada. Se calcula este perfil aplicando el mismo método usado para el cálculo del perfil del usuario general. No obstante, se establecen los siguientes cambios:

1. El factor asociativo del cuarto ítem calificador (i.e. los softwares que el usuario ha usado en los últimos seis meses) cambia de $\{\frac{1,0}{51}\}$ a $\{\frac{1,0}{34}\}$.
2. Se consideran sólo ocho de las veinte opciones de software (i.e. sistema operativo windows, sistema operativo macintosh, software de edición gráfica, CAD, sistemas autor, aplicaciones multimedia, navegadores y buscadores para Internet y juegos). De esta manera, los pesos de cada

subopción seleccionada ($\mathcal{V}_{SubOpcionSeleccionada_i}$) cambian de $\{2, 4, 4, 2, 1, 1, 1, 1, 2, 5, 4, 5, 5, 3, 2, 2, 4, 1, 1, 1\}$ a $\{4, 4, 5, 4, 5, 5, 3, 4\}$

3. Se sustituye la Ecuación 6.5 por la Ecuación 6.6.

$$\mathcal{V}_{OpcionSeleccionada_4} = \sum_{i=2,3,10,11,12,13,14,17} \left(\frac{1,0}{3} \cdot \mathcal{V}_{SubOpcionSeleccionada_i} \right) \cdot \text{Peso}_{SubOpcionSeleccionada_i} \quad (6.6)$$

Referente al análisis del perfil de usuario (véase Ecuaciones 6.1 y 6.1), se identifica una pequeña variación respecto a los perfiles de usuario general y usuario multimedia (véase Figura 6.5).

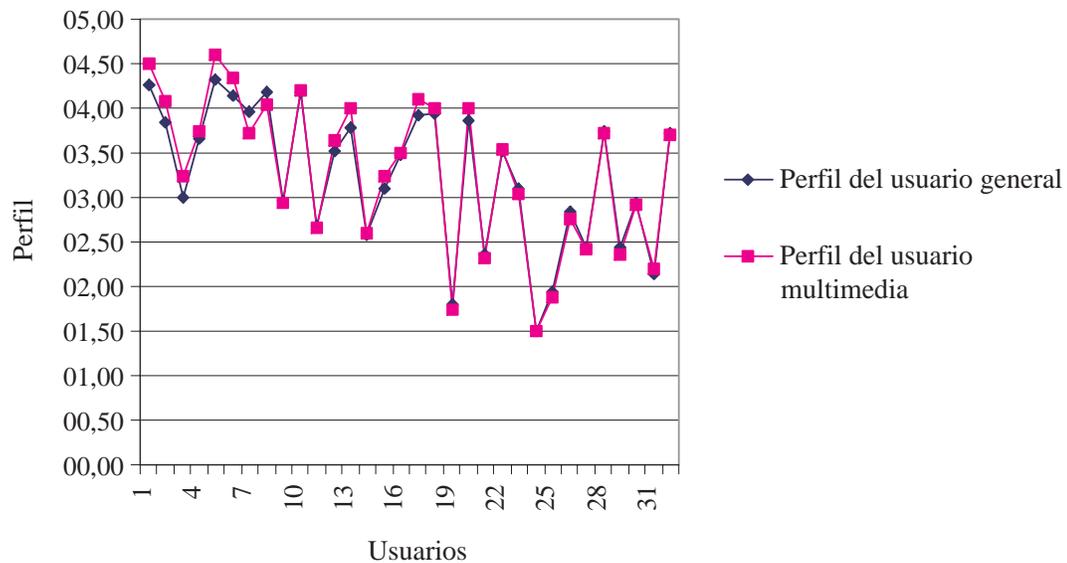


Figura 6.5: Perfiles general y multimedia del usuario.

Analizando la Figura 6.5, se observa que para el perfil de usuario general 59,37% de la población representa los usuarios avanzados y expertos, 31,25% representa los usuarios con nivel de experiencia intermedio y 9,38% representa los usuarios principiantes. No se ha observado usuarios con experiencia nula. Para el perfil de usuario multimedia, se observa que 62,50% representa los usuarios avanzados y expertos, 28,12% representa los usuarios con nivel de experiencia intermedio y 9,38% representa los usuarios principiantes. Igualmente, no se ha observado usuarios con experiencia nula. Ante esto, se puede decir que dicha variación valida la población seleccionada.

6.6.1.4 Características de las aplicaciones multimedia usadas en EFD

Las preguntas sobre las características de las aplicaciones multimedia usadas en EFD utilizan un lenguaje simple, a través del cual se ha sido posible representar, implícita o explícitamente, todas las condiciones de la taxonomía.

El formato de la escala de cuantificación de las preguntas se basa en la escala Likert de 5 puntos: 1= en desacuerdo, 2= parcialmente en desacuerdo, 3= indiferente, 4= parcialmente de acuerdo y 5= de acuerdo.

A partir de los resultados obtenidos se establece la media calculada como el parámetro de análisis para la validación de las condiciones propuestas en la taxonomía. En este sentido, se clasifican las preguntas como:

- Representativas: Aquellas que la media de las respuestas es mayor o igual a 4,00.
- Parcialmente representativas: Aquellas en que la media se sitúa entre

3,00 y 3,99.

- Poca representatividad: Aquellas en que la media es menor que 2,99.

En la Figura 6.6, se presenta una visión general de las medias de las respuestas de las preguntas sobre las características de las aplicaciones multimedia usadas en EFD.

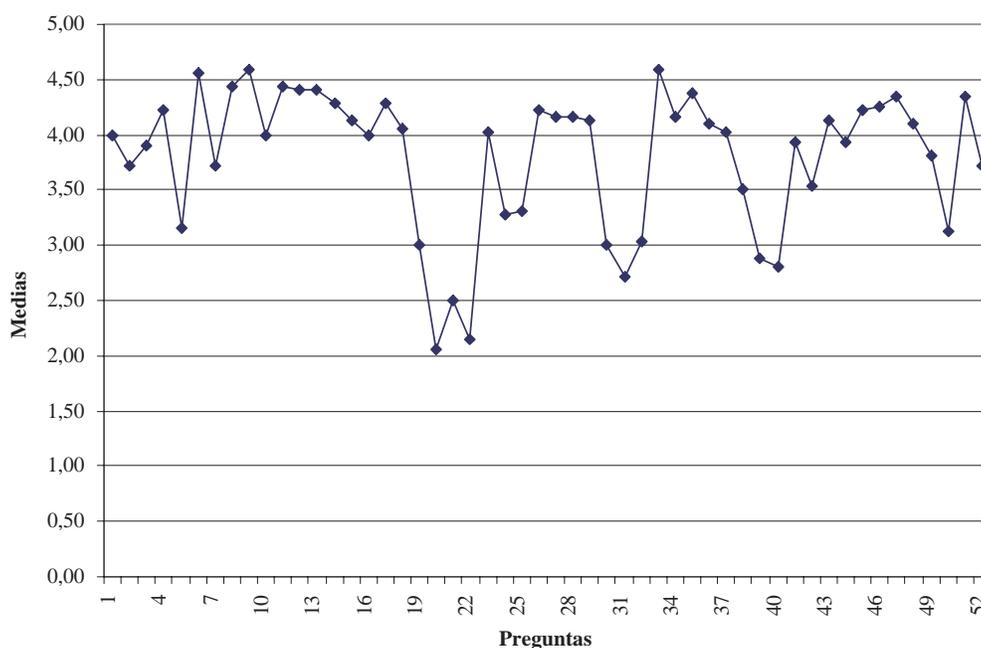


Figura 6.6: Medias de las respuestas de las preguntas.

Analizando la Figura 6.6, se verifica que:

- 57,69% de las preguntas (i.e. 30 de 52) han obtenido medias representativas. Dichas preguntas se relacionan con las condiciones: **asociación**, **CI: actividades de aprendizaje**, **CI: objetivos**, **CI: test**, **consistencia**, **densidad**, **desempeño**, **experiencia**, **funcionalidad**,

gestión de error, indicación, intuición, organización, portabilidad, predicción, tiempo de respuesta y veracidad.

- 30,77% de las preguntas (i.e. 16 de 52) han obtenido medias regulares (i.e. parcialmente representativas). Estas preguntas se relacionan con las condiciones: **apariencia, adaptabilidad, CI: actividades de aprendizaje, CI: test, consistencia, densidad, experiencia, gestión de error, legibilidad, mantenimiento, organización, precisión, propiedad de ser completo y veracidad.**
- 11,54% de las preguntas (i.e. 6 de 52) han obtenido medias con poca representatividad. Estas preguntas se relacionan con las condiciones: **apariencia, densidad, legibilidad y propiedad de ser completo.**

Como se ha observado, algunas de las condiciones aparecen en una o más preguntas. Esta característica ha permitido aumentar la representatividad de las condiciones.

A partir de estos resultados, se concluye que las condiciones propuestas en la taxonomía son válidas dentro del dominio de la naturaleza de los test. Así pues, dichas condiciones pasan a formar parte del modelo de test propuesto (véase Capítulos 7 y 8), en el cual éstas pasan a ser llamadas de criterios de evaluación.

6.6.2 Cuestionario específico sobre usabilidad

De la misma manera que el cuestionario anterior, el cuestionario específico sobre usabilidad consta de dos partes. La primera consiste en la identificación del perfil del usuario (i.e. el usuario general y el usuario multimedia).

La segunda parte consiste en la identificación de las características de ocho aplicaciones multimedia desarrolladas en el Laboratorio Multimedia (UPC) (véase Capítulo 2, página 40).

6.6.2.1 Propósito

Este cuestionario ha sido desarrollado con el objetivo de identificar las correlaciones entre los criterios de evaluación de usabilidad del modelo propuesto y el aprendizaje del usuario. Dichas correlaciones se caracterizan por un conjunto de estratificaciones extraídas de la base de datos de seguimiento académico.

Además, este cuestionario, como una actividad didáctica, permite identificar los elementos de motivación (Keller, 1983) relacionados con los problemas de naturaleza técnica del diseño de la instrucción. De esta manera, ha sido posible sugerir algunas recomendaciones para los prototipos y las próximas versiones.

6.6.2.2 Perfil del usuario

A partir de una población distinta de la usada en el cuestionario general de usabilidad, se realizan los procedimientos de cálculo de los perfiles de usuario que son los mismos usados en dicho cuestionario (véase Secciones 6.6.1.2 y 6.6.1.3).

En la Figura 6.7, se observa que, tanto para el perfil de usuario general como para el perfil multimedia, 61,54% de la población representa los usuarios avanzados y 38,46% representa los usuarios con nivel de experiencia intermedio. No se ha observado usuarios con experiencia nula en ninguno de

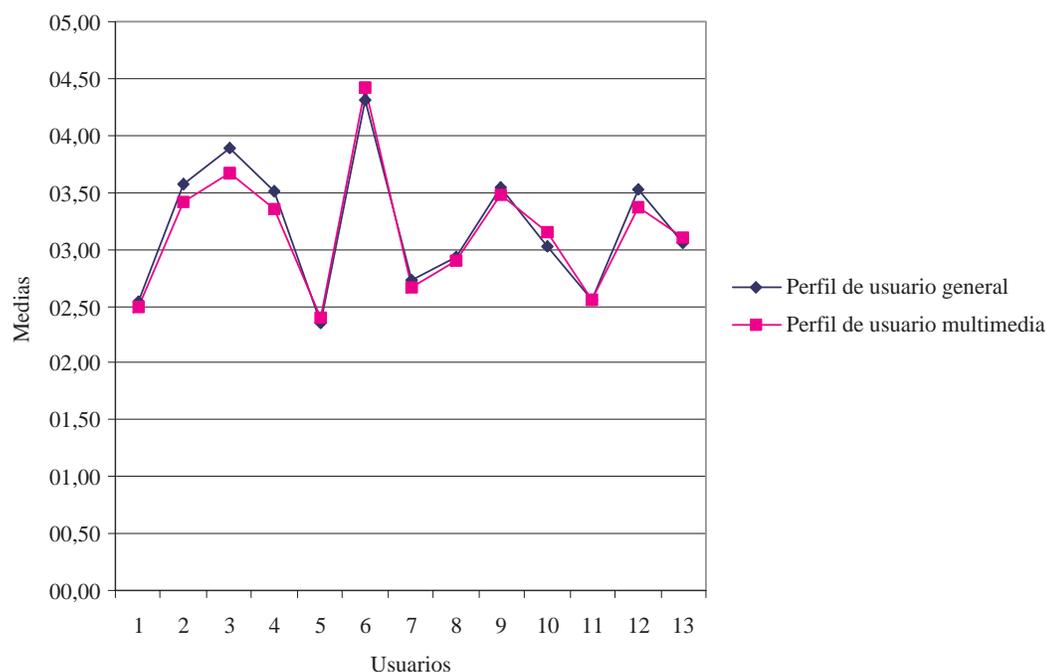


Figura 6.7: Perfiles general y multimedia del usuario.

los perfiles.

Cabe resaltar que a pesar de la muestra reducida de usuarios por cada aplicación multimedia analizada, se ha logrado identificar cerca de 75 a 85% de los problemas que los prototipos de dichas aplicaciones tenían.

6.6.2.3 Resultados y discusión

Usando la escala de Likert de 5 puntos como punto de partida, se obtienen las opiniones de los usuarios sobre cada una de las ocho aplicaciones multimedia. Para ello, se consideran las medias calculadas (véase Figura 6.8) como parámetros de análisis, a través de las cuales ha sido posible determinar el grado de aceptación de cada una de las aplicaciones.

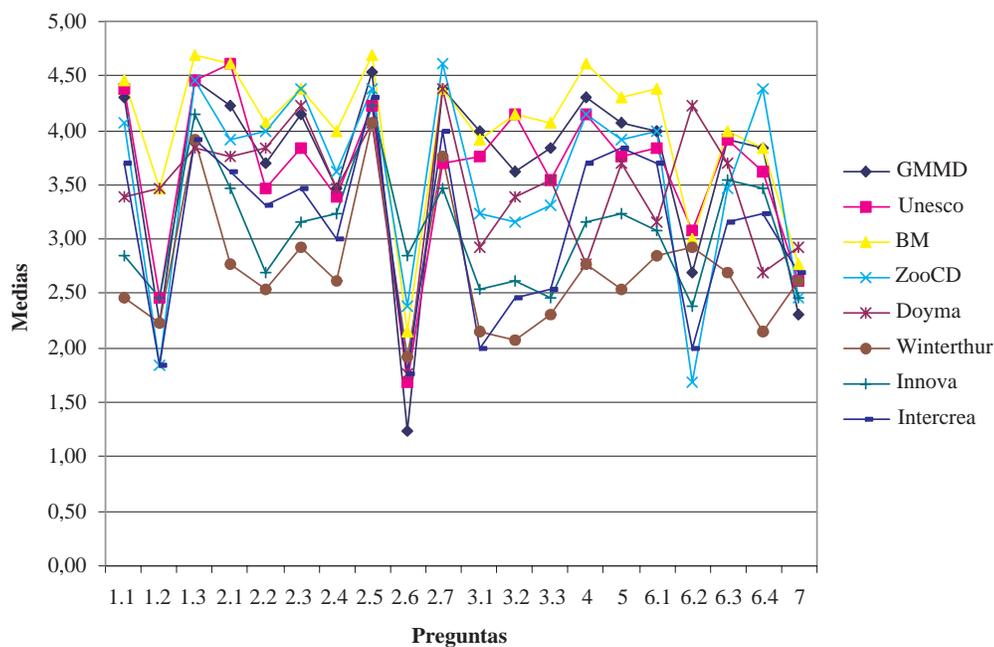


Figura 6.8: Medias de las respuestas de las preguntas.

Analizando la Figura 6.8, se constata que las aplicaciones mantienen una línea homogénea respecto a sus características ergonómicas, debido a que los modelos de contenido usados son básicamente los mismos. En este sentido, se observa que la mayoría de las medias son superiores a 3,0, es decir, la mayoría de los usuarios están parcial o completamente de acuerdo con las características indicadas.

No obstante, se observa que las preguntas 1.2, 2.6 y 6.2 han tenido un comportamiento al contrario de las demás, debido a la estructuración de las preguntas. En este sentido las medias bajas significan que los usuarios evalúan de forma positiva estas características de la aplicación.

Por otra parte, se identifica que, según la aplicación, algunas preguntas han obtenido medias que se alejan del comportamiento general (i.e. las

preguntas 1.1, 1.2, 3.1, 3.2, 6.2 y 6.4). Estas preguntas se relacionan con la organización, la densidad de la estructura y del contenido, el sistema de ayuda al usuario y con la comprensión del contenido. Ante estos resultados, este cuestionario ha permitido que algunas recomendaciones (e.g. algunos cambios en el sistema de edición y la simplificación de algunos modelos de contenido) fuesen propuestas.

6.7 Identificación de los problemas de usabilidad

De acuerdo con Humphrey (1989), los errores encontrados en sistemas informáticos pueden ser clasificados como errores, defectos, *bugs*, fallos y problemas. En la Tabla 6.4, se presenta un resumen de las definiciones de cada tipo de error según el autor.

Tabla 6.4: Resumen de las definiciones de cada tipo de error. Fuente: Humphrey (1989).

Categoría	Ítems medidos	Causas
Errores	Acciones humanas	Equivocación del programador
Defectos	Propiedades de programa	Errores
<i>Bugs</i>	Mal funcionamiento del programa	Defectos del programa
Fallos	Mal funcionamiento del sistemas	Bugs y otros problemas de mal funcionamiento
Problemas	Percepciones humanas	Fallos, errores humanos, conceptos humanos erróneos

Analizando la Tabla 6.4, se observa que existe una relación de dependencia secuencial, es decir, cuando existe un error en la aplicación, éste implica

defectos que, a su vez, genera *bugs* y de esta manera sucesivamente hasta los problemas de percepción humana.

Usando las definiciones de Humphrey como punto de partida, se enfatizan dos tipos de errores identificados durante los procedimientos de test (i.e. verificación, validación y usabilidad): los errores de programación y los problemas de usabilidad.

En este sentido, se identifican errores de programación, los cuales no pueden ser clasificados como problemas de usabilidad, aunque pueden causar problemas en la usabilidad. Estos errores son detectados como resultado de los test de verificación y validación. Además, se identifican los problemas de usabilidad, los cuales son detectados como resultado de los test de usabilidad. Estos problemas se relacionan con los escenarios de uso de una aplicación multimedia.

Los resultados obtenidos de los test de verificación, validación y usabilidad han permitido identificar los grupos de problemas más significativos encontrados en las versiones preliminares (i.e. prototipos *Cero*, α (alfa), β (beta)) de las aplicaciones multimedia desarrolladas por el Laboratorio Multimedia (UPC). En la Figura 6.9 se presenta un resumen de la cantidad de problemas y errores identificados en relación a los criterios de evaluación de usabilidad (i.e. las condiciones del meta-modelo).

Estos resultados indican que los problemas más significativos detectados (i.e. aquellos que tienen incidencias superiores a 100): **funcionamiento, densidad, apariencia, consistencia, organización, indicación, propiedad de ser completo y precisión**. No obstante, se identifican algunas incidencias de los problemas de **tiempo de respuesta, asociación y legi-**

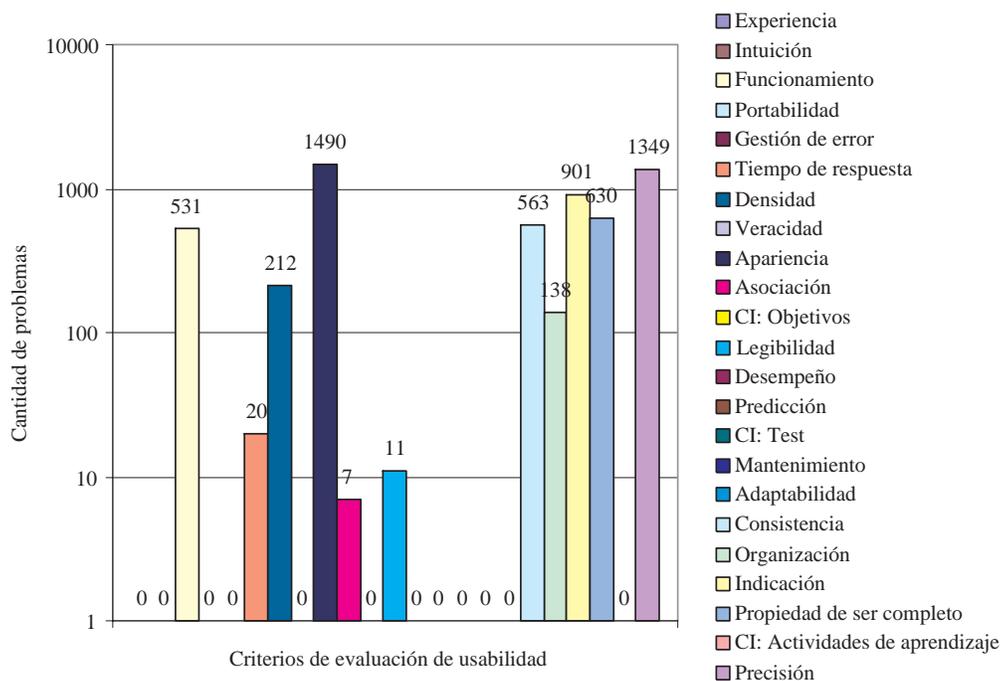


Figura 6.9: Cantidad de problemas por criterio de evaluación de usabilidad.

bilidad.

Por otra parte, no se han observado incidencias de problemas para los criterios -**experiencia, intuición, portabilidad, gestión de error, veracidad, CI: objetivos, desempeño, predicción, CI: test, mantenimiento, adaptabilidad, y CI: actividades de aprendizaje**- debido a que éstos satisfacen a los requerimiento predeterminados en la fase de concepción y diseño de las aplicaciones multimedia.

De esta manera, ha sido posible establecer una correlación entre los criterios de evaluación de usabilidad y sus incidencias respecto a los procesos generales del ciclo de vida de las aplicaciones multimedia desarrolladas por el Laboratorio Multimedia (UPC) (véase Tabla 6.5).

Tabla 6.5: Correlaciones entre los procesos generales del ciclo de vida de las aplicaciones multimedia desarrolladas por el Laboratorio Multimedia (UPC) y los criterios de evaluación de usabilidad. (*)

Criterios de evaluación de usabilidad	Fase previa	Fase Inicial	Fase Intermedia	Fase Final
Apariencia		2	4	
Asociación		1, 2, 3	4, 8	11
Consistencia	0	1, 2	4, 5	11
Densidad	0	2	5, 8	11
Indicación		1, 2	4	
Legibilidad	0	2, 3	4, 5, 8	11
Organización	0	2, 3	4, 8	11
Precisión		1, 2	4, 5, 8	11
Predicción	0	3		
Propiedad de ser completo	0	2, 3	4, 5, 8	11
Funcionamiento	0	3	4, 5, 8	11, 12
Tiempo de respuesta			5, 8	9

(*) Para mejor comprensión de la tabla, se sugiere la consulta a la Tabla 7.3, página 246.

En el que se ocupa el análisis de la cantidad de problemas respecto a las aplicaciones multimedia, se han realizado los procedimientos de test a 16 aplicaciones multimedia. Sin embargo, en la presente tesis se consideran los datos de las ocho aplicaciones comentadas en el Capítulo 2 (página 40). En la Figura 6.10 se presenta un resumen de la cantidad de problemas encontrados en los prototipos de dichas aplicaciones.

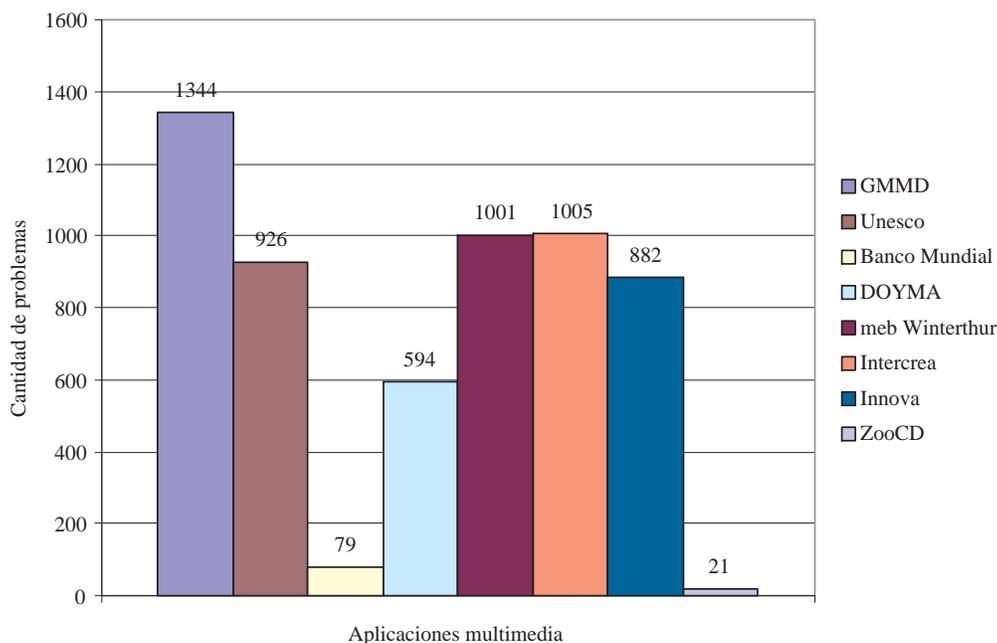


Figura 6.10: Cantidad de problemas por aplicación multimedia.

Aunque estas aplicaciones se basan en los modelos de contenido presentados en el Capítulo 3 (página 78), se identifican pequeños cambios en el contexto de desarrollo de dichas aplicaciones (véase Tabla 6.6)

Analizando la Tabla 6.6, se observa que los contextos de desarrollo han cambiado a partir de la necesidad de reducir los costes y el tiempo de producción y la cantidad de problemas encontrados en los prototipos de las aplicaciones multimedia. Las herramientas descritas a continuación, caracterizan los tipos de sistema de edición utilizados en el desarrollo de dichos prototipos.

- El *Authorware*: Es un tipo de sistema autor y ha sido usado para desarrollar la aplicación “GMMD” (1ª edición). Este tipo de sistema de edición ha aumentado el coste y el tiempo de producción de la aplicación.

Tabla 6.6: Contexto de edición de las aplicaciones multimedia.

Producto	Equipo de desarrollo	Tipo de código	Coste	Tiempo de desarrollo
GMMD (1ª edición)	3 tipos: 1. Autor 2. Integrador 3. Gestor	- Abierto para el editor - Cerrado para el usuario	Superior a la previsión	5 días: - 5 páginas A4 de contenido - 8 horas al día
GMMD (2ª edición)		- Parcialmente abierto para el editor - Parcialmente abierto para el usuario	Similar a la previsión	2 días: - 5 páginas A4 de contenido - 8 horas al día
Banco Mundial		- Parcialmente cerrado para el editor - Cerrado para el usuario	Similar a la previsión	1 días: - 5 páginas A4 de contenido - 8 horas al día
Unesco		- Parcialmente cerrado para el editor - Cerrado para el usuario	Superior a la previsión *	1 días: - 5 páginas A4 de contenido - 8 horas al día
Innova		- Abierto para el editor - Abierto para el usuario	Superior a la previsión	2 días: - 5 páginas A4 de contenido - 8 horas al día
meb Winterthur		- Abierto para el editor - Abierto para el usuario	Similar a la previsión	2 días: - 5 páginas A4 de contenido - 8 horas al día
Doyma		- Abierto para el editor - Cerrado para el usuario	Inferior a la previsión	2 días: - 5 páginas A4 de contenido - 8 horas al día
Intercrea		- Abierto para el editor - Cerrado para el usuario	Superior a la previsión *	5 días: - 5 páginas A4 de contenido - 8 horas al día
Zoo CD		- Abierto para el editor - Cerrado para el usuario	Inferior a la previsión	2 días: - 5 páginas A4 de contenido - 8 horas al día

* El trabajo de ajuste de los gráficos ha consumido aproximadamente 60% del tiempo dedicado. Así pues se identifica un coste superior a la previsión.

Sin embargo, una versión avanzada de este sistema de ha reducido los costes y el tiempo de producción de las aplicaciones “Banco Mundial” y “Unesco”.

- El sistema *html*: Es un sistema basado en páginas WEB que ha permitido reducir los costes y el tiempo de producción y facilitar la impresión de los materiales educativos⁴. Las aplicaciones desarrolladas con este sistema han sido: “GMMD” (2ª edición), “Innova”, “*meb* Winterthur”.
- El *Flash*: Es un sistema que permite la producción de gráficos interactivos y animaciones que pueden ser accedidas vía WEB. Desde el punto de vista de la producción, las aplicaciones desarrolladas con este sistema -“Doyma”, “Intercrea” y “Zoo CD han tenido un coste inferior a la previsión inicial, excepto la aplicación “Intecrea” debido al trabajo de ajuste de los gráficos.

Los cambios propuestos en el contexto de desarrollo de las aplicaciones, han permitido realizar algunos análisis experimentales con el objetivo de identificar el tipo de sistema de edición más adecuado para los materiales didácticos de contenido multimedia. No obstante, se verifica que la cantidad de problemas encontrados está relacionada principalmente con el tamaño del contenido y los ajustes de gráficos, de manera que, en general, no se ha identificado una correlación muy fuerte entre los tipos de sistema de edición y la cantidad de problemas.

⁴La impresión de los materiales educativos se caracteriza como uno de los requerimientos determinados por los usuarios (i.e. alumnos) de las aplicaciones multimedia.

6.7.1 Estrategia de análisis

Las aplicaciones multimedia desarrolladas en el Laboratorio Multimedia (UPC) han sido diseñadas considerando un módulo automático de adquisición de datos del usuario, el cual permite la realización del seguimiento académico de los usuarios.

Ante esto, se define una estrategia de análisis de datos presentada por Pereira, Fábregas y Monguet (2001). Ésta consiste en determinar algunos parámetros de test a partir de

- Los datos de seguimiento académico de usuario. Se utilizan los datos de seguimiento del curso *meb* Winterthur, ya que han sido realizadas tres ediciones en las que el Laboratorio Multimedia (UPC) es el máximo responsable académico⁵, lo que ha facilitado la obtención de los datos de seguimiento académico de los alumnos. De esta manera, han sido permitido y se permiten realizar implementaciones empíricas de los avances de la presente investigación.
- Los datos obtenidos de la aplicación del modelo de test propuesto (véase Capítulos 7 y 8).
- Los resultados de un cuestionario⁶ basado parcialmente en el cuestionario específico de usabilidad (véase Sección 6.6.2). El curso *meb*

⁵Otras aplicaciones multimedia desarrolladas por el Laboratorio Multimedia (UPC) (e.g. Graduado Multimedia - GMMD y *Medi Ambient i Tecnologia. Educació Ambiental a l'Enginyeria*) también han sido preparadas con un módulo de adquisición automática de datos de seguimiento. No obstante, éstas son gestionadas por otras instituciones y departamentos y, por tanto, no ha sido posible realizar el seguimiento de los alumnos.

⁶<http://www.meb-winterthur.com/aula/scripts/enquesta/enquesta.htm>

Winterthur consta de un cuestionario que recoge la opinión de los alumnos del curso sobre la calidad de dicho curso. El cuestionario consiste en una implementación práctica de las investigaciones realizadas por el Laboratorio Multimedia (UPC) y se divide en dos partes. La primera busca identificar la relación entre el alumno y sus estudios, mientras que la segunda procura identificar la opinión del alumno respecto a los elementos humano-técnico-pedagógicos del curso, en los cuales se identifica los aspectos ergonómicos (i.e. usabilidad).

Vale resaltar que aunque el curso *meb* Winterthur está en formato WEB, los modelos de contenido multimedia poseen estructuras estándares y, consecuentemente, los resultados del análisis de la mayoría de los criterios de evaluación de usabilidad pueden ser generalizados a las aplicaciones en formato CD-ROM.

Usando la estrategia de análisis de datos de usabilidad como punto de partida, se construye una tabla de datos con los siguientes atributos:

- Media de la cantidad de veces que el alumno ha realizado el test.
- Media de las notas de los estudiantes.
- Atributo de usabilidad: Claridad de la exposición.
- Atributo de usabilidad: Suficiencia de los contenidos.
- Atributo de usabilidad: Homogeneidad de los contenidos.
- Atributo de usabilidad: Estructuración y organización.
- Cantidad de problemas encontrados durante los procedimientos de test.

En la Figura 6.11, se presentan la tabla de datos de la estrategia de análisis de usabilidad y los resultados obtenidos.

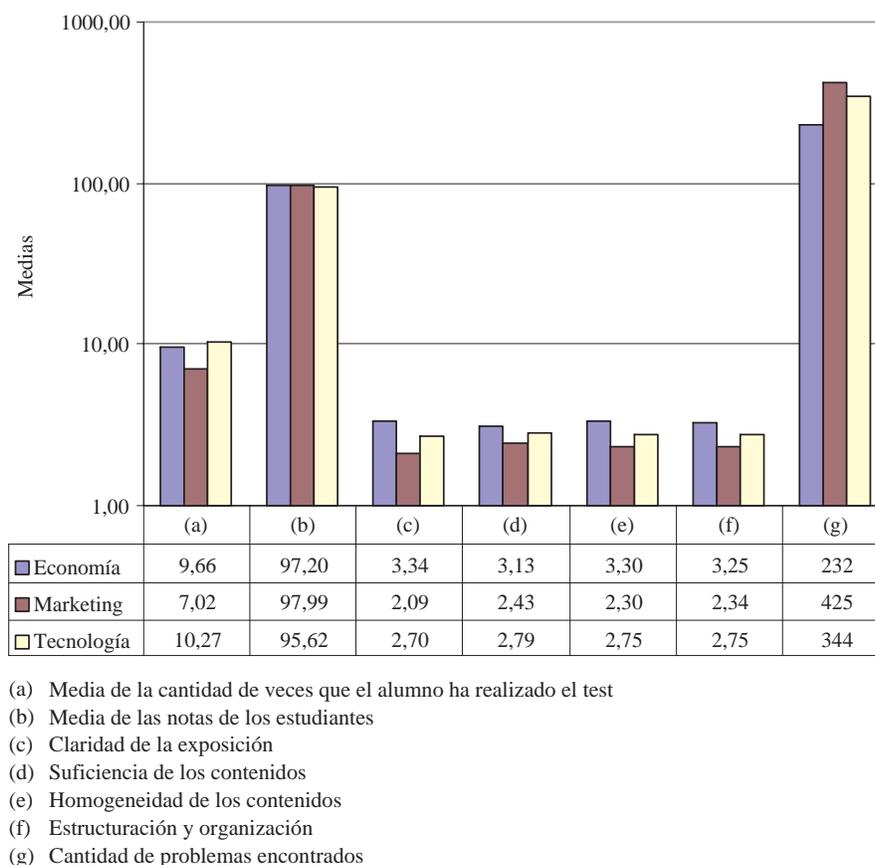


Figura 6.11: Tabla de datos de la estrategia de análisis de usabilidad.

Usando el análisis de las correlaciones entre los atributos de la tabla de datos presentada en la Figura 6.11 como punto de partida, se presentan algunas consideraciones sobre los resultados obtenidos:

1. Considerando que la metodología de evaluación de los alumnos permite que los estudiantes contesten a las evaluaciones cuantas veces lo deseen, el módulo de adquisición de datos guarda las medias de las

notas obtenidas y la cantidad de veces que el alumno ha contestado la evaluación (Alpiste-Penalba, 2002). Consecuentemente, se observa que las medias de aprovechamiento de los alumnos son muy altas. En este sentido, se recomienda que se guarde la nota de la primera evaluación realizada, lo que permitirá aumentar la precisión del desempeño académico del alumno.

2. Considerando que la mayoría de los problemas identificados en los prototipos han sido resueltos, no se han identificado correlaciones entre éstos y el desempeño académico de los alumnos. Por lo tanto, si esta correlación es positiva, se recomienda la realización de los procedimientos de test cuantas veces sean necesarios hasta que dichos problemas sean resueltos.

3. En general, las asignaturas del curso *meb* Winterthur poseen una coherencia muy fuerte entre sí. A partir del análisis de correlación de Pearson, se ha identificado que algunas correlaciones -entre los aspectos ergonómicos y la cantidad de problemas identificados en los prototipos de dicho curso- son significantes a los niveles 0,05 y 0,01. Así pues, se determinan ocho relaciones entre los atributos de la tabla de datos (i.e. los aspectos ergonómicos y la cantidad de problemas identificados):
 - R1: ("Claridad de la exposición"; "Suficiencia de los contenidos").
 - R2: ("Claridad de la exposición"; "Homogeneidad de los contenidos").
 - R3: ("Claridad de la exposición"; "Estructura y organización").
 - R4: ("Suficiencia de los contenidos"; "Homogeneidad de los contenidos").

- Posicionamiento de la pantalla.

- Asociación

- Elemento A no está de acuerdo con elemento B.
- Sin asociación entre el elemento y su significado.

- Consistencia

- Problemas con la tipología de la zona activa.
- Elementos estructurales de misma naturaleza con distintos tamaños.
- Título de ventana del hipertexto está equivocado.
- Título del menú y del texto.
- Elemento estructural equivocado.
- Formato de título está distinto.
- Títulos de los apartados están distintos de las opciones del índice.
- Texto de título equivocado.
- Elemento o expresión no estandarizada.
- Elemento no debería existir.
- Esquema de color equivocado.
- Estilo equivocado.
- Estilo de puntuación.
- Carga en otra ventana.

- Densidad

- Párrafo muy grande.
- Elemento estructural excedente.
- Problemas de espaciamento.
- Demasiada información.
- Tiempo de presentación.
- Información innecesaria.

- Funcionamiento

- El hipertexto no funciona.
- Presentación de información indebida.
- La actividad de aprendizaje no funciona.
- No se elimina elemento.
- No se abre el archivo.
- Menú no funciona.
- El cursor del ratón no funciona adecuadamente.
- Problemas con la navegación.
- Animación no funciona.
- No hay opciones seleccionables.
- Carga de programa no funciona.
- Link o zona activa no funciona.
- No toda la figura es seleccionable.

- Actividad de interacción no funciona correctamente.
- Problemas con la web.
- Falta archivo “.EXE”.
- Ventana colgada.
- Sin conexión.
- Desactivar elemento.

- **Indicación**

- Problemas de referencia.
- Elementos de información con la topología equivocada.
- Falta de percepción de los elementos.
- Problemas con cursor del ratón.
- Falta icono básico de interacción.
- Indicación de las opciones.
- Zonas activas con color distinto.
- Problemas con el elemento de navegación.
- Referencia en el texto.

- **Legibilidad**

- No se identifica claramente el elemento.

- **Organización**

- Organización de párrafos.
- Problemas de alineación.
- Organización de elementos.
- Alineación de los ítems.
- Símbolo de ítem.
- Organización de los códigos.
- Insertar marco.

- **Precisión**

- El hipertexto A abre la ventana del hipertexto B.
- Mensaje innecesario.
- Problemas de sintaxis.
- Elemento equivocado.
- Posicionamiento de elementos.
- Puntuación.
- Toda la pantalla debe estar activa.
- Problemas de semántica.
- Información equivocada.
- Elemento no debería estar seleccionable.
- Párrafo repetido.
- Idioma equivocado.
- Posicionamiento de la aplicación.
- Relación guión-aplicación.
- Ajustar la zona activa.

- Propiedad de ser completo
 - Ventana del hipertexto sin contenido.
 - Apartado incipiente.
 - Falta elemento estructural.
 - Falta información.
 - Ventana pequeña: no se puede ver todo el texto.

- Tiempo de respuesta
 - Velocidad en la visualización.
 - Tiempo de carga de elemento.

Ante esto, la definición de grupos de indicadores a partir de cada criterio de evaluación de usabilidad consiste en una actividad importante de identificación de variables cuantitativas que permitirán el diseño del modelo matemático del dominio de la naturaleza de los test⁷.

⁷Como se ha comentado, se propone el estudio sobre el enfoque matemático del meta-modelo como una actividad de investigación futura ya que ésta está fuera del alcance de esta investigación.