



**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA INFORMÁTICA**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INFORMÁTICA INTERACTIVA Y MULTIMEDIA**

*Curso Académico 2012/2013*

**Trabajo Fin de Máster**

**“En busca de principios gráficos para  
visualizaciones en la técnica de diseño de  
Programación Dinámica”**

**Autora: Belén Sáenz Rubio**

**Tutor: Ángel Velázquez Iturbide**

En primer lugar, quiero agradecer a Ángel mi tutor de proyecto, por la ayuda y confianza que me ha brindado en todo momento así como a Celeste por su dedicación y orientación cuando he necesitado de su colaboración.

Gracias a mi familia y amigos que son un apoyo incondicional en todos los proyectos que emprendo en mi vida y con quienes sé que siempre puedo contar. Y especialmente a Miguel, por estar en todo momento ahí, darme ánimos y ayudarme para poder finalizar este proyecto. Muchas gracias a todos de corazón.

## RESUMEN

Los alumnos de informática, en un primer momento, presentan dificultades a la hora de enfrentarse a los algoritmos o programas, tanto en su diseño como a la hora de entender su comportamiento. Los estudiantes se apoyan en ilustraciones estáticas de libros de texto así como en los dibujos que realizan los profesores en la pizarra para explicar el comportamiento de los diferentes algoritmos.

Las visualizaciones y las animaciones de algoritmos ayudan a los alumnos a crear modelos mentales de la información que las ilustraciones quieren transmitir, lo que les permite poder entender su funcionamiento de una manera más fácil.

Aunque parecen claras las bondades de las visualizaciones de algoritmos y éstas se hayan empleado en las últimas décadas ampliamente en el campo de la docencia, la tendencia en cuanto a las cuestiones docentes se han enfocado hacia otros ámbitos, como en la eficacia educativa, la implicación del alumno o el elevado coste de desarrollo por cada una de las visualizaciones que se desea generar. Todo esto ha hecho que se perdiera la atención en las propias visualizaciones, quedando relegadas.

Si nos centramos en las visualizaciones en sí, la primera pregunta que surge es la de qué características deben tener las visualizaciones de algoritmos. En la literatura existente se pueden encontrar recomendaciones sobre los sistemas de visualizaciones de algoritmos o recomendaciones de diferentes elementos del diseño gráfico, como por ejemplo el uso del color. Sin embargo, no existen principios claros para el diseño de visualizaciones de algoritmos con fines docentes.

Por esta razón, en este proyecto se realiza un estudio sobre las características de las ilustraciones aplicadas en el marco de la técnica de programación dinámica, presentes en un conjunto de libros de prestigio de algoritmia. Se describe la metodología seguida y el análisis de las ilustraciones que se ha llevado a cabo. Este proyecto, es un primer paso en el proceso de identificación y formulación de principios de diseño para la visualización de algoritmos.

# ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Introducción</b> .....                                    | <b>10</b> |
| 1.1 Motivación .....  | 10        |
| 1.2 Objetivo.....   | 12        |
| 1.3 Estructura de la memoria .....                              | 13        |
| <b>2. Recogida y análisis de figuras</b> .....                  | <b>15</b> |
| 2.1 Recogida de ilustraciones.....                              | 15        |
| 2.2 Proceso de Análisis .....                                   | 16        |
| <b>3. Categorías de catalogación</b> .....                      | <b>19</b> |
| 3.1 Criterios de catalogación.....                              | 19        |
| 3.2 Categoría Objetivo – Enunciado .....                        | 23        |
| 3.2.1 Ilustración – Grafo Multietapa.....                       | 23        |
| 3.2.2 Ilustración – Mochila 0 / 1.....                          | 25        |
| 3.3 Categoría Objetivo – Diseño.....                            | 28        |
| 3.3.1 Ilustración – Árbol óptimo de búsqueda binaria.....       | 28        |
| 3.3.2 Ilustración – Multiplicación encadenada de matrices ..... | 29        |
| 3.4 Categoría Objetivo - Ejecución.....                         | 31        |
| 3.4.1 Ilustración – Subsecuencia común más larga (SCML).....    | 31        |
| 3.4.2 Ilustración – Búsqueda de caminos mínimos .....           | 33        |
| 3.4.3 Ilustración – Cálculo de coeficientes binomiales .....    | 36        |
| 3.5 Otros ejemplos de catalogación.....                         | 37        |
| 3.5.1 Ilustración – Apareamiento ARN .....                      | 37        |
| 3.5.2 Ilustración – Árbol óptimo de búsqueda binaria.....       | 38        |
| 3.5.3 Ilustración – M vigilantes .....                          | 39        |
| <b>4. Análisis de figuras</b> .....                             | <b>40</b> |
| 4.1 Datos generales .....                                       | 40        |
| 4.2 Objetivo de las ilustraciones .....                         | 42        |
| 4.3 Generalidad de las ilustraciones.....                       | 45        |
| 4.4 Representación Gráfica .....                                | 46        |
| 4.4.1 Representación y completitud del estado .....             | 46        |
| 4.4.2 Representación y Completitud del tiempo.....              | 48        |
| 4.4.3 Atributos de representación .....                         | 49        |
| 4.5 Autores y elementos en la visualización .....               | 50        |
| 4.6 Resumen de resultados obtenidos .....                       | 55        |
| <b>5. Conclusiones</b> .....                                    | <b>59</b> |

|                 |   |           |
|-----------------|---|-----------|
| 5.1             | Análisis de la consecución de objetivos.....                                    | 59        |
| 5.2             | Futuros proyectos .....   | 61        |
| 5.3             | Conclusiones personales .....   | 63        |
| <b>6.</b>       | <b>Bibliografía.....</b>  | <b>65</b> |
| <b>Anexo A:</b> | <b>Caso práctico .....</b>  | <b>67</b> |
| 1.              | Enunciado del cuestionario .....  | 67        |
| 2.              | Respuestas.....   | 77        |
| 3.              | Análisis de resultados.....   | 78        |
| 4.              | Conclusión .....  | 85        |
| <b>Anexo B:</b> | <b>Tabla de Catalogación.....</b>   | <b>86</b> |
|                 | Parte 1: Clase de problema, Objetivo, Subobjetivo y Generalidad.....            | 87        |
|                 | Parte 2: Representación gráfica, Completitud y Atributos de representación..... | 92        |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2-1: Tabla del Informe Técnico con datos recopilados de la clase de problema cadenas  | 16 |
| Figura 2-2: Fases del proceso de análisis de las ilustraciones.....                          | 18 |
| Figura 3-1: Enunciado de clase problema grafo multietapa.....                                | 24 |
| Figura 3-2: Grafo de clase problema grafo multietapa.....                                    | 24 |
| Figura 3-3: Enunciado de clase problema mochila 0/1 .....                                    | 26 |
| Figura 3-4: Ejemplo de llenado de mochila de clase problema mochila 0/1.....                 | 26 |
| Figura 3-5: Árbol de clase problema árbol óptimo de búsqueda binaria .....                   | 28 |
| Figura 3-6: Tabla valores de clase problema multiplicación encadenada de matrices.....       | 30 |
| Figura 3-7: Tabla valores de clase problema subsecuencia común más larga .....               | 32 |
| Figura 3-8: Grafo y tablas ambas de clase problema búsqueda de caminos mínimos .....         | 34 |
| Figura 3-9: Llamadas recursivas de clase problema cálculo de coeficientes binomiales.....    | 36 |
| Figura 3-10: Ilustración de clase problema apareamiento ARN .....                            | 37 |
| Figura 3-11: Tablas de clase problema árbol óptimo de búsqueda binaria .....                 | 38 |
| Figura 3-12: Ilustración de clase problema m vigilantes .....                                | 39 |
| Figura A-1: Respuestas de cuestionario del campus de Móstoles.....                           | 77 |
| Figura A-2: Respuestas de cuestionario del campus de Vicálvaro.....                          | 77 |
| Figura A-3: Gráfico de sectores de la variable satisfacción .....                            | 79 |
| Figura A-4: Gráfico de barras de variable satisfacción .....                                 | 80 |
| Figura A-5: Gráficos de sectores de la variable satisfacción por tipo de visualización ..... | 82 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 3-1: Evolución de la categoría clase de problema.....                                      | 20 |
| Tabla 3-2: Atributos de la categoría subobjetivo .....   | 21 |
| Tabla 3-3: Atributos de la categoría representación gráfica.....                                 | 22 |
| Tabla 3-4: Tabla resumen de clase problema grafo multietapa.....                                 | 24 |
| Tabla 3-5: Tabla resumen de clase problema mochila 0/1 .....                                     | 27 |
| Tabla 3-6: Tabla resumen de clase problema árbol óptimo de búsqueda binaria.....                 | 28 |
| Tabla 3-7: Tabla resumen de clase problema multiplicación encadenada de matrices .....           | 30 |
| Tabla 3-8: Tabla resumen de clase problema subsecuencia común más larga.....                     | 32 |
| Tabla 3-9: Tabla resumen de clase problema búsqueda de caminos mínimos .....                     | 35 |
| Tabla 3-10: Tabla resumen de clase problema cálculo de coeficientes binomiales .....             | 36 |
| Tabla 3-11: Tabla resumen de clase problema apareamiento ARN .....                               | 38 |
| Tabla 3-12: Tabla resumen de clase problema árbol óptimo de búsqueda binaria.....                | 39 |
| Tabla 3-13: Tabla resumen de clase problema m vigilantes .....                                   | 39 |
| Tabla 4-1: Evolución de la categoría clase de problema.....                                      | 40 |
| Tabla 4-2: Datos básicos del análisis de ilustraciones .....                                     | 41 |
| Tabla 4-3: Objetivo de visualización por clase de problema .....                                 | 42 |
| Tabla 4-4: Subobjetivo de visualización por objetivo.....  | 43 |
| Tabla 4-5: Subobjetivo de visualización por clase de problema .....                              | 44 |
| Tabla 4-6: Objetivo de visualización por autor .....   | 44 |
| Tabla 4-7: Representación gráfica del estado por objetivo de visualización .....                 | 45 |
| Tabla 4-8: Objetivo de visualización por completitud de la representación gráfica del estado ..  | 45 |
| Tabla 4-9: Generalidad de la visualización por objetivo.....                                     | 46 |
| Tabla 4-10: Generalidad de la visualización por Autor .....                                      | 46 |
| Tabla 4-11: Representación gráfica del estado por clase de problema .....                        | 47 |
| Tabla 4-12: Completitud de la representación gráfica del estado por clase de problema .....      | 47 |
| Tabla 4-13: Completitud de la representación gráfica del estado por autor .....                  | 48 |
| Tabla 4-14: Elementos en la representación del estado simplificado.....                          | 48 |
| Tabla 4-15: Representación gráfica del tiempo frente a clase de problema.....                    | 49 |
| Tabla 4-16: Completitud de la representación gráfica del tiempo frente a clase de problema... 49 | 49 |
| Tabla 4-17: Atributos en representación gráfica de estado de tablas / matrices.....              | 50 |
| Tabla 4-18: Atributos de representación en representación gráfica de estado de árboles .....     | 50 |
| Tabla 4-19: Ilustraciones por autor y clase de problema.....                                     | 51 |
| Tabla 4-20: Ilustraciones por representación gráfica del estado y autor .....                    | 51 |
| Tabla 4-21: Elementos de visualizaciones de la repr. gráfica del estado Tabla por autor.....     | 53 |
| Tabla 4-22: Elementos de visualizaciones de la repr. gráfica del estado Árbol por autor .....    | 53 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 4-23: Elementos de visualizaciones de la repr. gráfica del estado Grafo por autor .....  | 54 |
| Tabla 4-24: Elementos de visualizaciones de la repr. gráfica del estado Matriz por autor ..... | 55 |
| Tabla A-1: Tabla de estadísticos .....   | 79 |
| Tabla A-2: Tabla de frecuencias de la variable satisfacción .....                              | 79 |
| Tabla A-3: Tabla de contingencia visualización - satisfacción .....                            | 81 |
| Tabla A-4: Tabla de pruebas de chi-cuadrado.....   | 84 |
| Tabla A-5: Tabla de pruebas de medidas simétricas .....  | 84 |
| Tabla B-1: Tabla de Catalogación – Parte 1.....  | 91 |
| Tabla B-2: Tabla de Catalogación – Parte 2.....  | 96 |





---

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Motivación

La dificultad que presenta la algoritmia en la educación, tanto en lo referente a su enseñanza por parte de los profesores, como en su comprensión por parte de los alumnos, es un hecho que evidencia la existencia de una insuficiencia en este entorno. Entre las posibles soluciones para paliar este vacío, destaca la línea de investigación dedicada a la visualización y animación de algoritmos.

La visualización de algoritmos consiste en la visualización de abstracciones de alto nivel que describen el software. Esta puede darse en forma estática, representada generalmente por medio de organigramas, mientras que la visualización dinámica es lo que se denomina animación de algoritmos [15].

Las primeras aportaciones en el campo de la visualización de algoritmos se orientaron hacia una naturaleza más técnica, sin embargo en los últimos diez años el interés se ha centrado en otros aspectos dirigidos a la docencia. Las cuestiones docentes varían desde la eficacia educativa, la implicación del alumno o la generación de animaciones, en cualquier caso se han dejado de lado las propias visualizaciones en sí.

Centrándonos más en el aspecto de la visualización, podemos recurrir a la definición de Foley [16], quien explica el término de visualización como el mapeo de datos en representaciones que pueden ser percibidas. Los tipos de mapeo pueden ser visuales, auditivos, táctiles, etc. o una combinación de estos.

En aspectos generales, el objetivo de cualquier visualización es crear un modelo mental análogo al que sugiere la propia visualización. Los gráficos son herramientas que logran inducir modelos mentales a partir de las ideas abstractas que se han mapeado en una representación visual [17]. El ser humano recibe toda la información contenida en las

visualizaciones, por lo que cobran especial importancia las características de éstas, que si se presentan de forma adecuada, pueden mejorar la efectividad en el proceso de percepción.

En cuanto si una visualización es “adecuada”, Tufte [18] señala: “la excelencia gráfica es la que ofrece al usuario el más grande número de ideas en el más corto tiempo con el menor gasto en el más pequeño espacio”.

Una visualización de un algoritmo, sea producida por un sistema de software, incluida como ilustración de un libro o dibujada por el profesor en la pizarra, es un modelo conceptual presentado a los alumnos para transmitirles el algoritmo. Por lo tanto la visualización del algoritmo debe de representar de forma “adecuada” el comportamiento del mismo, para lo que debe satisfacer las propiedades de precisión, completitud y coherencia [19].

Cuando se quiere mostrar un nivel alto de abstracción, como es el caso de la visualización de algoritmos, es más costoso alcanzar un alto grado de “adecuación” en la visualización. Para ello se ha llevado a cabo en este proyecto un análisis de las visualizaciones propias de la técnica de programación dinámica.

El proceso a seguir está basado en la metodología de trabajo de Agrawala [20] formada por tres pasos: identificación de principios de diseño, implementación del sistema de visualización automática y evaluación del mismo.

Según Jeffreyy [21], los principios de diseño gráfico forman una base para la evaluación y selección de las técnicas de visualización. Algunos de ellos son evidentes, mientras que otros surgen a través de la experiencia. Agrawala contempla distintas estrategias a seguir, según la madurez del dominio: análisis de visualizaciones manuales, uso de trabajos previos en percepción y cognición, o realización de experimentos de percepción y cognición. En el caso de los algoritmos se han empleado “visualizaciones manuales” existentes en un conjunto de libros de texto de prestigio sobre algoritmia.

## 1.2 Objetivo

La meta a largo plazo del trabajo que se presenta en esta memoria consiste en identificar principios de diseño para visualizaciones de algoritmos. El objetivo de este trabajo fin de master se centra en analizar las características de las figuras empleadas en las visualizaciones de algoritmos, en concreto las que se emplean en la técnica de programación dinámica. Para alcanzar este objetivo se han establecido los siguientes hitos a lograr:

- **Selección bibliográfica de interés en el ámbito de la algoritmia:** Entre toda la bibliografía disponible se han seleccionado aquellos títulos considerados de mayor relevancia en el ámbito de la algoritmia.
- **Recopilación de ilustraciones de la técnica de programación dinámica:** Una vez seleccionado y acotado el ámbito de búsqueda, se recogen las ilustraciones que aparecen en los diferentes libros. Únicamente se recogen las ilustraciones en las que se trata la técnica de programación dinámica
- **Registro de información complementaria de las ilustraciones:** A la vez que se recopilan las diferentes figuras se registra información complementaria, como por ejemplo su localización en la bibliografía, o como el objetivo y la clase de problema que ilustran.
- **Elaboración de un informe técnico:** Para agrupar en un único documento toda la información recogida hasta el momento (ilustraciones, información complementaria asociada a cada ilustración) se elabora un informe técnico. En este informe se ordenan tanto las figuras como su información asociada según la clase de problema que ilustran.
- **Análisis inicial de las ilustraciones:** Se realiza un análisis inicial de todas las ilustraciones recopiladas, con el objetivo de identificar principios de visualización comunes que permitan establecer una categoría de catalogación.
- **Definición de categorías para la catalogación de las ilustraciones:** Tras un primer análisis se definen las principales categorías en las que puedan encajar las diferentes ilustraciones. Estas categorías se determinan para diferentes aspectos, referentes tanto al paradigma que representan como a los diferentes componentes visuales que lo forman.

- **Catalogación de las ilustraciones:** Se comienza un proceso de revisión de cada una de las ilustraciones para ser catalogadas en las diferentes categorías definidas previamente.
- **Análisis detallado de las ilustraciones:** Con todas las ilustraciones catalogadas en las diferentes categorías, se realiza un análisis profundo y detallado de las principales características de las visualizaciones. De este análisis se pueden extraer conclusiones que permiten alcanzar el objetivo marcado inicialmente.

### 1.3 Estructura de la memoria

En este apartado se detalla la estructura que sigue la memoria de este proyecto, en donde a través de los diferentes capítulos se presenta un estudio de las características de las ilustraciones de algoritmos, concretamente de los que emplean la técnica de diseño de programación dinámica presentes en diferentes libros de texto.

La estructura de la memoria es la siguiente:

- *Capítulo 1 – Introducción.* Este es el primer capítulo de la memoria en el que se pone en contexto el proyecto elaborado. Para ello, inicialmente se explica cuál es la motivación para llevar a cabo el proyecto, a continuación se indica el objetivo a alcanzar, así como los diferentes hitos en los que se divide este objetivo. Finalmente en el último apartado, en el que estamos actualmente, se detalla la estructura de la memoria donde se explica el contenido de cada capítulo.
- *Capítulo 2 - Recogida y análisis de figuras.* Este capítulo recoge en un primer apartado el proceso llevado a cabo en la recogida de las ilustraciones de la bibliografía seleccionada. También se indica la información complementaria recogida de las diferentes ilustraciones.  
Por otro lado, en un segundo apartado se detalla el análisis evolutivo realizado inicialmente. Este análisis es un proceso imprescindible para poder identificar las posibles categorías en las que se podrán catalogar las ilustraciones (Capítulo 3).
- *Capítulo 3 - Categorías de catalogación.* Inicialmente se describen las diferentes categorías definidas para la catalogación de las ilustraciones. Esta definición se acompaña de diferentes figuras como ejemplo de catalogación.

En este capítulo se dedican los tres primeros apartados para explicar de forma individual a través de ejemplos las categorías más relevantes para esta técnica de diseño y en un último apartado se recopilan un conjunto de ilustraciones con catalogaciones no vistas previamente.

- *Capítulo 4 - Análisis de figuras.* En este capítulo se lleva a cabo un análisis exhaustivo de la catalogación de las ilustraciones. Los resultados del análisis, se encuentran desglosados entre la parte dedicada al paradigma y la parte del estilo de las figuras (líneas, puntos, etc.)
- *Capítulo 5 – Conclusiones.* Este es el capítulo final, en donde se analiza la consecución de los hitos que conforman el objetivo del proyecto, se detallan las conclusiones extraídas del estudio de las diferentes ilustraciones y se trazan las líneas para posibles trabajos futuros.
- *Bibliografía:* Se encuentra toda la bibliografía a la que se hace referencia en el proyecto.
- *Anexo A - Caso práctico: Cuestionario sobre visualización de algoritmos en alumnos de la asignatura de DAA de GII.* Se incluye el cuestionario realizado a los alumnos durante el curso 2011-2012 sobre la visualización de algoritmos, concretamente de la técnica de diseño de divide y vencerás, así como el análisis de los resultados recogidos.
- *Anexo B – Tabla de catalogación.* Se adjunta la tabla de catalogación de las figuras analizadas.

---

## *Capítulo 2*

# **Recogida y análisis de figuras**

En este capítulo se presentan las primeras fases que forman parte del estudio realizado: la recogida de datos y un análisis preliminar. Como ya se indicaba en el Capítulo 1 - Introducción, este proceso se ha llevado a cabo siguiendo el método de trabajo de Agrawala.

### **2.1 Recogida de ilustraciones**

El primer paso a llevar a cabo para alcanzar el objetivo marcado, es la recogida de ilustraciones. Las ilustraciones se han recogido de diferentes libros de prestigio del ámbito del diseño y análisis de algoritmos. Esta selección está formada por un total de 14 libros, de los cuales más de la mitad están escritos en lengua inglesa (78,57%), aunque también ha parecido adecuado analizar varios libros en español.

La búsqueda de la bibliografía seleccionada se ha realizado principalmente en bibliotecas, o en departamentos especializados y el formato de los libros prácticamente en su totalidad es físico.

El proceso de búsqueda y recogida de ilustraciones en cada uno de los libros se ha realizado siguiendo los mismos pasos. Si un libro contenía un capítulo dedicado a la técnica de diseño de programación dinámica, se examinaba exhaustivamente. En caso contrario, se realizaba una búsqueda en el índice de términos, bien por el término de la técnica de diseño o bien por problemas o algoritmos representativos de la técnica como:

- Caminos mínimos (Algoritmos de Floyd y Warshall)
- Grafo multietapa (Multistage graph)
- Mochila 0/1
- Subsecuencia común más larga (SCML)

- Distancia de edición
- Multiplicación de matrices

Una vez localizadas las ilustraciones en los libros, se escanearon y recogió información de cada una de ellas. Con toda esta información (ilustraciones y datos de las mismas), se elaboró un Informe Técnico [22]. En el informe se recoge toda la información agrupada según la clase de problema que se trate. Para cada clase de problema, se reprodujo literalmente su enunciado y sus ilustraciones. También se recopiló la información bibliográfica asociada (p.ej. capítulo y página), nomenclatura relevante usada por el autor e información sobre las ilustraciones y su código fuente. Esta información se resume en diferentes tablas en el informe. En la Figura 2-1 pueden verse los datos recogidos en una de las tablas que aparecen en el informe técnico referente a la clase de problema cadenas.

| Libro  | Capítulo / Apartado                 | Visualización  | Implementación             | Nomenclatura  |
|--|-------------------------------------|--|----------------------------|---|
| P1 M. H. Alsuwaiyel, <i>Algorithms Design Techniques and Analysis</i>  | Capítulo 7 Apartado 2 (pág. 205)    | Tabla con resultado de ejemplo (Fig. 7.1 pág. 207)   | Pseudocódigo (pág. 207)    | <i>The longest common subsequence problem</i>         |
| P2 T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest y C. Stein, <i>Introduction to Algorithms</i>                           | Capítulo 15 Apartado 4 (pág. 390)   | Tabla con resultado de ejemplo (Fig. 15.8 pág. 395)  | Pseudocódigo (págs. 394/5) | <i>Longest common subsequence</i>                     |
| P3 R.C.T. Lee, S.S. Tseng, R.C. Chang e Y.T. Tsai, <i>Introducción al diseño y análisis de algoritmos</i>              | Capítulo 7 Apartado 2 (pág. 263)    | Método (Fig. 7.13 pág. 265)<br>Tabla con resultado (Fig. 7.2 pág. 66)                        | NO                         | <i>El problema de la subsecuencia común más larga</i> |
| P4 M. T. Goodrich y R. Tamassia, <i>Data Structures and Algorithms in Java</i>   | Capítulo 12 Apartado 3.3 (pág. 503) | Dos casos del algoritmo (Fig. 12.10 pág. 504)<br>Tabla de construcción (Fig. 12.11 pág. 506) | Pseudocódigo (pág. 505)    | <i>The longest common subsequence</i>                 |
| P5 S. Baase y A. Van Gelder, <i>Computer Algorithms: Introduction to Design and Analysis</i>                           | Capítulo 10 Apartado 5 (pág. 471)   | NO   | Pseudocódigo (pág. 474)    | <i>Separating sequences of words into lines</i>       |
| P6 N. Martí Oliet, Y. Ortega y J. A. Verdejo, <i>Estructuras de datos y métodos algorítmicos: ejercicios resueltos</i> | Capítulo 13 Apartado 13 (pág. 432)  | Esquema de tabla (Fig. 13.9 pág. 433)  | Pseudocódigo (pág. 434)    | <i>Transformar A en B</i>                             |
| P7 R.C.T. Lee, S.S. Tseng, R.C. Chang e Y.T. Tsai, <i>Introducción al diseño y análisis de algoritmos.</i>             | Capítulo 7 Apartado 2 (pág. 266)    | Tablas con resultados (Tablas 7.3 / 4 pág. 268)  | NO                         | <i>El problema de alineación de dos secuencias</i>    |

Figura 2-1: Tabla del Informe Técnico con datos recopilados de la clase de problema cadenas

## 2.2 Proceso de Análisis

Una vez concluida la recopilación de ilustraciones, comenzó el proceso de análisis de las figuras recogidas. Este proceso de análisis, es un proceso iterativo realizado en diferentes fases, en donde se lleva a cabo un análisis exhaustivo de cada una de las ilustraciones para identificar las características más destacables.



En una primera fase, con un par de rondas de análisis de la figuras, se identificó un conjunto inicial de categorías para la catalogación de las ilustraciones, así como características referentes a la generalidad de las ilustraciones o la completitud de éstas.

De esta primera fase se obtuvieron un conjunto de conclusiones preliminares. No obstante, las ilustraciones precisaban un análisis más detallado, y los resultados de este análisis previo permitían reconducir el proceso de análisis de las ilustraciones y poner foco y más nivel de detalle en las características más relevantes a analizar.

En una segunda fase, y con los resultados preliminares de la primera fase, tras otra nueva ronda de análisis se obtuvieron nuevos resultados. En este proceso se revisaron las categorías de problemas, reduciendo su número, y se analizaron las relaciones entre representaciones gráficas, clases de problemas y objetivos de las ilustraciones.

De forma paralela otros compañeros se encontraban realizando el mismo proceso aplicado a otras técnicas de diseño: divide y vencerás y vuelta atrás. Tras esta segunda fase de análisis, se pusieron en común los resultados obtenidos en los análisis de las diferentes técnicas, identificando tendencias comunes. También se identificaron los aspectos que se habían analizado para alguna técnica pero no para las otras.

Posteriormente en una tercera fase de análisis, se realizaron otras dos rondas en las que se refinaron y homogeneizaron los criterios de catalogación así como los resultados de los tres análisis de las diferentes técnicas. Con todo este proceso, dividido en 3 fases y realizando un total de 5 rondas de análisis, se obtiene como resultado un análisis exhaustivo y completo para las figuras recogidas que ilustran la técnica de diseño de programación dinámica y con un conjunto de categorías compatible con los análisis realizados para las técnicas de diseño de divide y vencerás y vuelta atrás.

En la Figura 2-2 se muestra el proceso de análisis llevado a cabo, en donde se reflejan las diferentes fases y rondas realizadas:

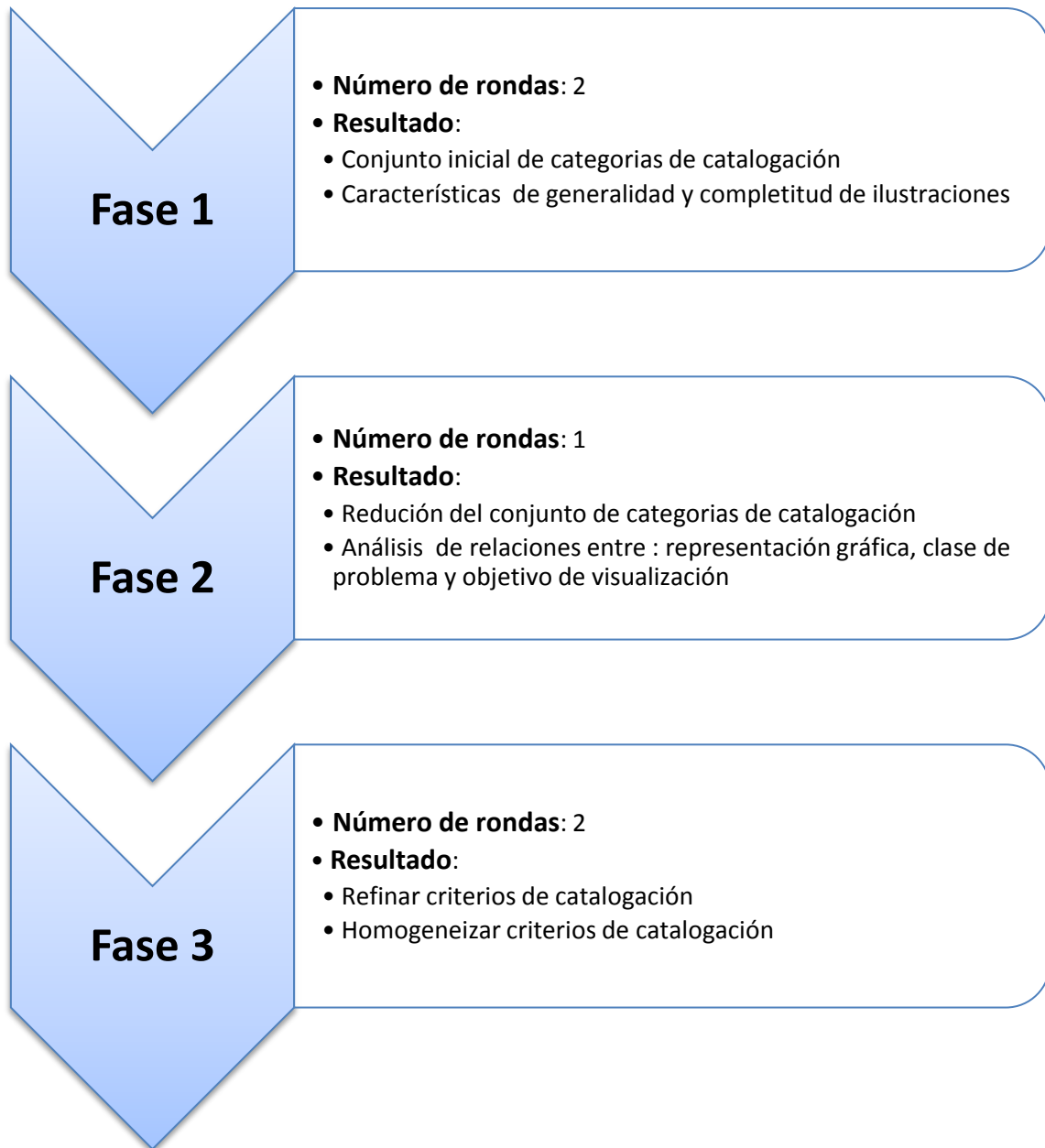


Figura 2-2: Fases del proceso de análisis de las ilustraciones

---

## *Capítulo 3*

# **Categorías de catalogación**

En este capítulo, en un primer apartado se explican los diferentes criterios empleados para la catalogación de las ilustraciones, así como su evolución y estado final tras las diferentes fases del proceso de análisis.

En los siguientes cuatro apartados se ven diferentes ejemplos de la catalogación de las ilustraciones más relevantes en la técnica de diseño de divide y vencerás.

### **3.1 Criterios de catalogación**

Inicialmente no se disponían de categorías para clasificar las ilustraciones, estas se han ido refinando al avanzar en el proceso de análisis de las ilustraciones en las diferentes fases y rondas descritas en el capítulo anterior. En este proceso evolutivo de afinamiento de las categorías se han seguido los principios de la grounded theory [23].

Una primera dificultad es la definición de ilustración, que es necesaria para su contabilidad. Se considera que una ilustración es lo que un autor ha considerado como tal, salvo que no sea relevante para el análisis (p.ej. si la figura contiene código fuente). Sin embargo, encontramos numerosas ilustraciones compuestas y, a la inversa, ilustraciones consecutivas muy parecidas. Se resolvió esta situación distinguiendo entre los conceptos de ilustración compuesta e ilustración simple.

Si una ilustración consta de varias partes con distinto formato u objetivo, se considera que es una ilustración compuesta y por tanto se parte en ilustraciones simples. A su vez, si varias ilustraciones consecutivas son muy parecidas, con el mismo formato y objetivo (p.ej. varios estados de una ejecución), se agrupan en una sola ilustración simple.

A continuación se definen el resto de los criterios de catalogación empleados:

- **Clase de problema.** En esta categoría se identifican las clases de problemas que agrupan de forma “razonable” los problemas encontrados (p.ej. problemas de grafos o matemáticos).

Esta categoría ha evolucionado en las diferentes rondas del proceso de análisis, en concreto en la segunda fase se redujo el número de problemas tras realizar nuevas agrupaciones. En la última fase se realizaron algunas modificaciones para homogeneizar esta categoría con las definidas en los análisis de las ilustraciones que se estaban llevando a cabo de forma paralela en las técnicas de diseño: divide y vencerás y vuelta atrás.

En la siguiente tabla (Tabla 3-1) se muestra la evolución que ha seguido esta categoría en las diferentes fases de análisis:

| Clasificación Inicial – Clase Problema | Clasificación Final – Clase Problema |
|--|--------------------------------------|
| 1 Árboles                              | 1 Árboles                            |
| 2 Cadenas                              | 2 Cadenas                            |
| 3 Caminos                              | 3 Decisión                           |
| 4 Coeficiente Binomial                 | 4 Grafo                              |
| 5 Grafo                                | 5 Matemáticos                        |
| 6 Matrices                             | 6 Optimización                       |
| 7 Monedas                              | 7 Redes                              |
| 8 Otros                                |                                      |
| 9 Planificación                        |                                      |
| 10 Sucesión Fibonacci                  |                                      |

**Tabla 3-1: Evolución de la categoría clase de problema**

- **Objetivo.** Esta categoría define la finalidad de representación de la ilustración.

La evolución de esta categoría ha hecho que fuera disminuyendo el número de sus posibles valores y se creara otra clasificación adicional, subobjetivo.

En la categoría de objetivo se distinguen los siguientes atributos:

- Enunciado: El objetivo de la visualización es ilustrar un enunciado o parte de él.
- Diseño: El objetivo de la visualización es ilustrar un croquis o plan.

- Ejecución: El objetivo de la visualización es ilustrar un proceso llevado a la práctica.

En la clasificación de subobjetivo se distinguen los siguientes atributos (Tabla 3-2):

| Categoría subobjetivo           |                       |                                  |
|---------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Definición                      | Dependencia celdas    | Estado final                     |
| Ecuaciones recursivas           | Formato tabla         | Estado final + Dependencias      |
| Entrada                         | Formato + Dependencia | Estado final + Secuencia óptima  |
| Entrada representación          | Propiedad auxiliar    | Estado final + Dep.+ Sec. óptima |
| Entrada/Salida                  |                       | Estados intermedios              |
| Entrada/Salida óptima           |                       |                                  |
| Entrada/Varias salidas posibles |                       |                                  |
| Salida                          |                       |                                  |
| Salida inválida                 |                       |                                  |
| Salida óptima                   |                       |                                  |
| Varias salidas posibles         |                       |                                  |

Tabla 3-2: Atributos de la categoría subobjetivo

- **Generalidad.** La categoría generalidad representa el nivel de detalle con el que se representa la ilustración.

El número de atributos de esta categoría ha aumentado en la última fase de análisis de las ilustraciones. Los diferentes atributos de esta categoría son:

- Concreta: El nivel de detalle de la ilustración es bajo. Se representa una figura con datos concretos aplicable únicamente al ejercicio que le acompaña.
- Genérica: El nivel de detalle de la ilustración es alto. Se representa una figura con datos genéricos aplicables a diferentes ejercicios.
- Semigenérica: El nivel de detalle de la ilustración es alto pero se representa la figura con datos concretos aplicable únicamente al ejercicio que le acompaña.

- **Representación gráfica.** La representación gráfica ha evolucionado en las fases del proceso de análisis, llegando en la última fase a dividirse en dos clasificaciones: representación del estado y representación del tiempo.

La representación del estado distingue todas las clases de representaciones necesarias (p.ej. vector, tabla, árbol etc.). Algunas son parecidas pero se diferencian en su diseño gráfico (p.ej. tabla y matriz).

La segunda clasificación, representación del tiempo, indica cómo la ilustración representa el paso del tiempo, si es que aplica.

A continuación se muestran los atributos que pueden tomar las representaciones gráficas en sus dos clasificaciones:

| Representación del estado | Representación del tiempo        |
|---------------------------|----------------------------------|
| Árbol (binario, n-ario)   | Un estado                        |
| Aritmética                | Dos estados                      |
| Cadena                    | Árbol búsqueda.                  |
| Fórmula química           | Árbol recursión                  |
| Grafo                     | Dependencias celdas              |
| Matriz                    | Dependencias óptimas             |
| Otros                     | Grafo dependencia                |
| Pila de control           | Otra representación con historia |
| Tabla                     | Secuencia de estados             |
| Vector                    | Solapamiento                     |
|                           | Unir E/S                         |

**Tabla 3-3: Atributos de la categoría representación gráfica**

Para el caso en el que se representa el tiempo en la figura, se realiza una clasificación según los atributos representados, que es propia de la técnica de diseño analizada. Para la técnica de programación dinámica, se distingue entre tablas que almacenan valores óptimos y tablas que almacenan las decisiones asociadas.

- **Complejidad.** Esta categoría indica el grado de integridad en la que se representa la ilustración. Se ha categorizado la complejidad de una ilustración según su representación gráfica, (representación de estado, representación del tiempo).

Una ilustración en la categoría completitud puede aparecer:

- Completa: Aparecen todos los elementos correspondientes a la figura.
  - Parcial: Sólo se representa una parte de la figura.
  - Simplificada: Se suprime parte de la información de la figura para sintetizarla.
- 
- **Elementos en la Visualización.** En el proceso de análisis se recogieron características de elementos de visualización que se emplean en las ilustraciones, como etiquetas numéricas / alfabéticas, formato de representación de las tablas, etc. Los atributos de esta categoría se han diseñado según los elementos de la representación del estado (Tabla, Grafo, Árbol, Matriz...).

## 3.2 Categoría Objetivo – Enunciado

En esta sección se explica la catalogación de dos de las ilustraciones seleccionadas entre las analizadas. Estas ilustraciones son un ejemplo de representación del enunciado del problema, por lo tanto clasificado en la categoría objetivo como enunciado.

### 3.2.1 Ilustración – Grafo Multietapa

La primera figura seleccionada es un grafo multietapa, en concreto la ilustración pertenece a un problema típico de la técnica de diseño de programación dinámica que consiste en calcular el coste mínimo de un camino.

A continuación se muestra el enunciado del problema (Figura 3-1), la ilustración seleccionada (Figura 3-2) y una tabla que recoge un resumen de la catalogación correspondiente a la ilustración (Tabla 3-4).

5.2 MULTISTAGE GRAPHS

A multistage graph  $G = (V, E)$  is a directed graph in which the vertices are partitioned into  $k \geq 2$  disjoint sets  $V_i, 1 \leq i \leq k$ . In addition, if  $\langle u, v \rangle$  is an edge in  $E$  then  $u \in V_i$  and  $v \in V_{i+1}$  for some  $i, 1 \leq i < k$ . The sets  $V_1$  and  $V_k$  are such that  $|V_1| = |V_k| = 1$ . Let  $s$  and  $t$  respectively be the vertex in  $V_1$  and  $V_k$ .  $s$  is the *source* and  $t$  the *sink*. Let  $c(i, j)$  be the cost of edge  $\langle i, j \rangle$ . The cost of a path from  $s$  to  $t$  is the sum of the costs of the edges on the path. The *multistage graph problem* is to find a minimum cost path from  $s$  to  $t$ . Each set  $V_i$  defines a stage in the graph. Because of the constraints on  $E$ , every path from  $s$  to  $t$  starts in stage 1, goes to stage 2, then to stage 3, then to stage 4 etc. and eventually terminates in stage  $k$ . Figure 5.1 shows a 5 stage graph. A minimum cost  $s$  to  $t$  path is indicated by the dark edges.

Figura 3-1: Enunciado de clase problema grafo multietapa

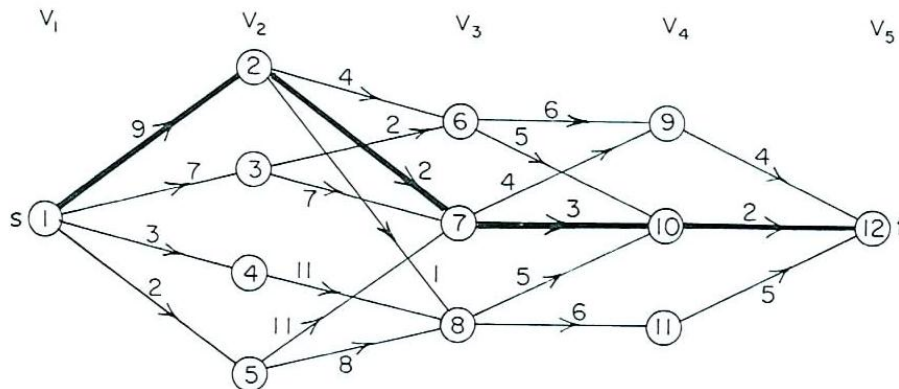


Figura 3-2: Grafo de clase problema grafo multietapa

Problema: Grafo Multietapa - N° figura 82

|                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Clase de Problema:</b> Grafo     | <b>Autor:</b> [7]                    |
| <b>Tipo de Ilustración:</b> Simple  |                                      |
| <b>Objetivo:</b> Enunciado          | Subobjetivo: Entrada / Salida óptima |
| <b>Generalidad:</b> Concreta        |                                      |
| <b>Representación Gráfica</b>       |                                      |
| Representación Estado: Gafo         | Completitud: Completa                |
| Representación Tiempo: Solapamiento |                                      |

Tabla 3-4: Tabla resumen de clase problema grafo multietapa

Se trata de una ilustración simple, que se ha catalogado dentro del grupo de ejercicios de Grafos. Como se ha comentado anteriormente, el objetivo de representación es ilustrar la explicación que se ofrece textualmente de lo que es un grafo multietapa.



En la ilustración figura la información de entrada- número de estados, posibilidad de dirigirse entre los diferentes caminos, pesos asociados a cada camino– que representa el grafo multietapa. También se representa la información de salida, que muestra la solución del problema indicando en cada etapa la opción a tomar para obtener el camino mínimo entre la posición inicial y final del grafo. Por todo ello, se ha catalogado el atributo de subobjetivo como entrada / salida.

En cuanto a la generalidad, se representa un grafo con cinco etapas, con un conjunto de caminos y pesos definidos, por lo que se trata de una imagen concreta.

La representación gráfica del estado se realiza a través del propio grafo, cuyo nivel de detalle aparece completo, se ilustra el grafo entero, con todos los elementos que lo forman en las diferentes etapas. En cuanto a la clasificación de representación del tiempo, es un ejemplo claro de solapamiento, en el que se puede ver cómo se solapa la información de salida (obtenida en un tiempo posterior), sobre la información de entrada.

A la hora de recoger la información referente a los elementos de visualización de la ilustración, en primer lugar se tiene presente que la imagen que se está representando es un grafo, para tener en cuenta datos como: la forma de representar los nodos, si hay etiquetas en los nodos, tipo de las etiquetas de los nodos, si hay etiquetas en el camino, tipo de las etiquetas del camino, la forma de representar las etapas, si hay etiquetas en las etapas, tipo de las etiquetas de las etapas, así como si se representa la solución y la forma en la que se representa la solución.

### **3.2.2 Ilustración – Mochila 0 / 1**

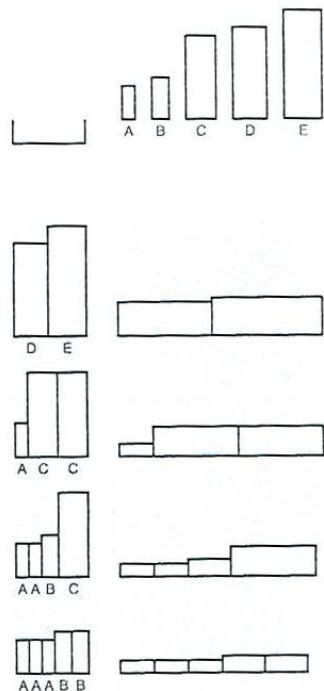
En este apartado se explica la catalogación de una de las ilustraciones analizadas para otro problema típico Mochila 0/1. Consiste en introducir objetos con un valor asociado en una mochila con una capacidad determinada, de tal forma que el valor de los objetos introducidos sea el máximo posible, sin superar la capacidad máxima de la mochila.

A continuación se muestra el enunciado del problema (Figura 3-3), la ilustración seleccionada (Figura 3-4) y una tabla que recoge el resumen de la catalogación correspondiente a la ilustración (Tabla 3-5).

For a more complicated example, consider the *knapsack problem*: A thief robbing a safe finds it filled with  $N$  types of items of varying size and value but has only a small knapsack of capacity  $M$  to use to carry the goods. The knapsack problem is to find the combination of items which the thief should choose for the knapsack in order to maximize the total value of all the stolen items. For example, with the item types depicted in Figure 5.16, a thief with a knapsack of size 17 can take five A's (but not six) for a total take of 20, or a D and an E for a total take of 24, or one of many other combinations. Our goal is to find an efficient algorithm that somehow finds the maximum among all the possibilities, given any set of items and knapsack capacity.

Figura 3-3: Enunciado de clase problema mochila 0/1

|      |   |   |    |    |    |
|------|---|---|----|----|----|
|      | 0 | 1 | 2  | 3  | 4  |
| item | A | B | C  | D  | E  |
| size | 3 | 4 | 7  | 8  | 9  |
| val  | 4 | 5 | 10 | 11 | 13 |



**Knapsack example**  
 An instance of the knapsack problem (top) consists of a knapsack capacity and a set of items of varying size (horizontal dimension) and value (vertical dimension). This figure shows four different ways to fill a knapsack of size 17, two of which lead to the highest possible total value of 24.

Figura 3-4: Ejemplo de llenado de mochila de clase problema mochila 0/1

Problema: Mochila 0/1 - N° figura 118

Clase de Problema: Optimización

Autor: [12]

Tipo de Ilustración: Simple

|                               |                                      |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Objetivo:</b> Enunciado    | Subobjetivo: Varias Salidas posibles |
| <b>Generalidad:</b> Concreta  |                                      |
| <b>Representación Gráfica</b> |                                      |
| Representación Estado: Otros  | Compleitud: Completa                 |
| Representación Tiempo: N/A    |                                      |

---

**Tabla 3-5: Tabla resumen de clase problema mochila 0/1**

Se trata de una ilustración simple, que se ha catalogado dentro del grupo de ejercicios de optimización. El objetivo de representación es ilustrar con un ejemplo el enunciado de este problema a través del ejemplo del llenado de la mochila.

En la ilustración se muestran diferentes combinaciones de elementos para llenar la mochila. Cada combinación tiene un conjunto de elementos con un valor asociado, igual a la suma de los valores de cada uno de los elementos introducidos en la mochila. En dos de estas combinaciones se llega a superar la capacidad de la mochila. Como se muestran diferentes formas de llenado de la mochila, estas pueden ser válidas o inválidas, por lo tanto, se ha catalogado el atributo de subobjetivo como varias salidas posibles.

Para explicar el llenado de la mochila se toma un conjunto de cinco tipos de elementos (A...E), cada uno de ellos con un valor y peso asociado. La mochila a llenar tiene una capacidad específica, por lo que se representa una ilustración concreta.

En este caso la representación gráfica del estado se realiza con cuerpos geométrico. Los elementos aparecen como rectángulos de diferentes tamaños según sus pesos. El nivel de detalle es completo, puesto que aparecen todos los elementos que se introducen en la mochila con su información asociada. En esta ilustración la categorización de representación del tiempo no aplica.

Las características a tener en cuenta en la ilustración para recoger los elementos de visualización, han sido la forma de representar la mochila, los elementos y los tipos de etiquetas asociadas a estos.

### 3.3 Categoría Objetivo – Diseño

En este apartado se detalla la catalogación que se ha realizado de las ilustraciones de dos problemas: Árbol de búsqueda binaria y Multiplicación encadenada de matrices.

Ambas ilustraciones son un croquis, en donde se explica el proceso a llevar a cabo en la búsqueda de la solución, cada una en su contexto, por lo tanto se han clasificado en la categoría objetivo de diseño.

#### 3.3.1 Ilustración – Árbol óptimo de búsqueda binaria

En este caso, el problema ilustra el número medio de búsquedas a realizar para obtener el Árbol binario de búsqueda óptimo.

A continuación se muestra la ilustración seleccionada (Figura 3-5) y la tabla en la que se recoge el resumen de la catalogación de la misma (Tabla 3-6).

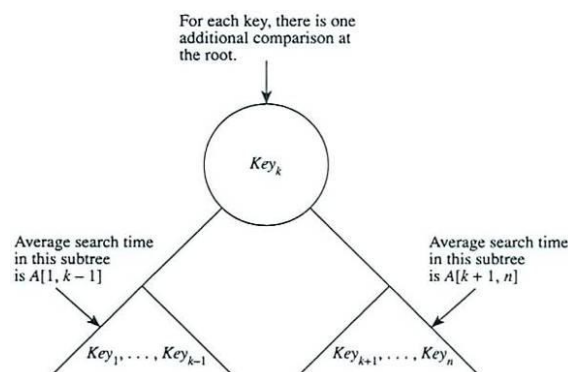


Figura 3-5: Árbol de clase problema árbol óptimo de búsqueda binaria

|   |   |
|---|---|
| Problema: Árbol óptimo de búsqueda binaria - N° figura 69 |   |
| <b>Clase de Problema:</b> Árboles                         | <b>Autor:</b> [8]                         |
| <b>Tipo de Ilustración:</b> Simple                        |   |
| <b>Objetivo:</b> Diseño                                   | <b>Subobjetivo:</b> Ecuaciones recursivas |
| <b>Generalidad:</b> Genérica                              |   |
| <b>Representación Gráfica</b>                             |   |
| Representación Estado: Árbol binario                      | Compleitud: Simplificada                  |

Tabla 3-6: Tabla resumen de clase problema árbol óptimo de búsqueda binaria

La ilustración se ha catalogado dentro de la clase de problemas de árboles, y es una ilustración simple.

El objetivo de esta ilustración es el diseño de las acciones recurrentes que se tienen que llevar a cabo para la obtención del árbol óptimo de búsqueda binaria, por lo que el subobjetivo se ha catalogado como ecuaciones recurrentes.

Esta ilustración para llevar a cabo su objetivo de diseño, emplea variables, lo que hace que se haya catalogado como genérica y la ilustración de este diseño sea aplicable a otros ejercicios de esa clase de problema. Cabe destacar que se han encontrado ilustraciones de otros autores prácticamente idénticas, como por ejemplo el número de figura analizada 51 de [13].

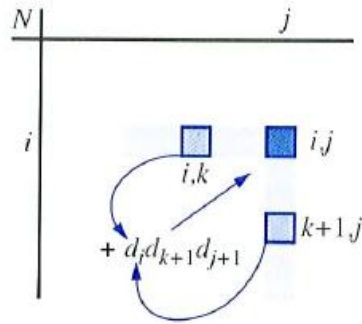
El estado en esta ilustración se representa como árbol binario, en este caso simplificado, puesto que se emplean elementos (triángulos, puntos suspensivos) para indicar elementos de las acciones recurrentes.

Los elementos de visualización que se han catalogado, son los elementos representativos en las ilustraciones de árboles: tipo de representación de nodos, etiquetas en los nodos, tipos de etiquetas, enlaces entre nodos... En este caso se representa el nodo raíz con un círculo y los subárboles con triángulos. Aparecen etiquetas en el interior de los nodos de tipo variable. Además se emplean textos explicativos en la propia ilustración.

### **3.3.2 Ilustración – Multiplicación encadenada de matrices**

Esta imagen es una de las ilustraciones típicas que se pueden encontrar entre las figuras que se han analizado, debido al uso que realiza la técnica de programación dinámica de las tablas.

En la Figura 3-6 se ilustra el modo en el que se deben ir calculando los diferentes números que forman la tabla y sus dependencias. A continuación de la figura, en la Tabla 3-7 se recogen los diferentes campos de su catalogación.



**Figura 3-6: Tabla valores de clase problema multiplicación encadenada de matrices**

Problema: Multiplicación encadenada de matrices – N° figura 112

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| <b>Clase de Problema:</b> Matemáticos     | <b>Autor:</b> [10]                 |
| <b>Tipo de Ilustración:</b> Simple        |                                    |
| <b>Objetivo:</b> Diseño                   | Subobjetivo: Formato + Dependencia |
| <b>Generalidad:</b> Genérica              |                                    |
| <b>Representación Gráfica</b>             |                                    |
| Representación Estado: Tabla              | Compleitud: Simplificada           |
| Representación Tiempo: Dependencia Celdas |                                    |
| Atributos de Representación: Valores      |                                    |

**Tabla 3-7: Tabla resumen de clase problema multiplicación encadenada de matrices**

Se trata de una ilustración simple y se ha catalogado dentro de la clase de problemas matemáticos.

Esta ilustración tiene como objetivo el diseño de las acciones a llevar a cabo para cumplimentar una celda de la tabla, así como indicar las dependencias de las celdas vecinas que intervienen en ese cálculo. Por ello, el subobjetivo en el que se ha catalogado la ilustración es el de formato + dependencia.

Al igual que la ilustración del apartado anterior, también se utilizan variables en el diseño, lo que hace que este diseño sea aplicable a otros ejercicios de esta clase de problemas. Está catalogada como genérica.

La representación gráfica del estado de esta ilustración se realiza mediante una tabla, que como se ha comentado anteriormente, es una estructura típica y por lo tanto aparece

con bastante frecuencia en el análisis de las ilustraciones que emplean la técnica de programación dinámica. Esta representación aparece simplificada, puesto que sólo se muestran algunos valores de las celdas e índices de la tabla.

Otro aspecto registrado de esta figura, es la representación del tiempo a través de la dependencia entre celdas.

Además, en los casos de la representación del estado a través de tablas también se ha catalogado los atributos que se almacenan en éstas. En particular en esta ilustración los atributos almacenados en la tabla se corresponden a los valores.

En cuanto a los elementos de visualización, se ha tenido en cuenta para su catalogación aspectos como: estructura de la tabla, índices de la tabla, etiquetas de valores, uso de flechas para reflejar dependencia o el uso del color.

### **3.4 Categoría Objetivo - Ejecución**

En este apartado se muestra la catalogación de tres figuras cuyo objetivo de visualización es el del propio proceso de ejecución. Se han seleccionado tres ilustraciones, cada una representa un tipo de ejercicio diferente: Subsecuencia común más larga (SCML), Búsqueda de caminos mínimos, Cálculo de coeficientes binomiales.

#### **3.4.1 Ilustración – Subsecuencia común más larga (SCML)**

La ilustración seleccionada pertenece a la categoría clase de problema cadenas. Entre los diferentes tipos de problemas que emplean cadenas de texto, se encuentra el de la subsecuencia común más larga, en donde dadas dos cadenas de caracteres se trata de calcular la subsecuencia más larga de elementos comunes.

En la Figura 3-7 se muestra la ilustración seleccionada y en la Tabla 3-8 se recoge el resumen de la catalogación de dicha ilustración.

|     |       | $j$   | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6 |
|-----|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| $i$ | $x_i$ | $y_j$ | $B$ | $D$ | $C$ | $A$ | $B$ | $A$ |   |
|     |       | 0     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
| 1   | $A$   | 0     | ↑   | ↑   | ↑   | ↖   | ←   | ↖   |   |
| 2   | $B$   | 0     | ↖   | ←   | ←   | ↑   | ↘   | ←   |   |
| 3   | $C$   | 0     | ↑   | ↑   | ↖   | ←   | ↑   | ↑   |   |
| 4   | $B$   | 0     | ↖   | ↑   | ↑   | ↑   | ↖   | ←   |   |
| 5   | $D$   | 0     | ↑   | ↘   | ↑   | ↑   | ↑   | ↑   |   |
| 6   | $A$   | 0     | ↑   | ↑   | ↑   | ↖   | ↑   | ↖   |   |
| 7   | $B$   | 0     | ↖   | ↑   | ↑   | ↑   | ↖   | ↑   |   |

Figura 3-7: Tabla valores de clase problema subsecuencia común más larga

Problema: Subsecuencia común más larga (SCML) - N° figura 2

**Clase de Problema:** Cadenas

**Autor:** [3]

**Tipo de Ilustración:** Simple

**Objetivo:** Ejecución

**Subobjetivo:** Estado final+dep.+sec. óptima

**Generalidad:** Concreta

**Representación Gráfica**

Representación Estado: Tabla

Completitud: Completa

Representación Tiempo: Dependencia Celdas

Atributos de Representación: Valores

Tabla 3-8: Tabla resumen de clase problema subsecuencia común más larga

Se trata de una ilustración simple, cuyo objetivo es mostrar la ejecución del cálculo en la búsqueda de la subsecuencia común más larga. En la ilustración se refleja el estado final de la ejecución, las dependencias de cálculo así como la secuencia óptima obtenida.

Esta ejecución se realiza sobre dos cadenas definidas tanto en contenido como longitud, por lo que se trata de una ilustración concreta.

La representación gráfica de esta ilustración es una de las más representativas cuando se analizan problemas que emplean la técnica de programación dinámica, el estado viene representado por una tabla, en este caso con todos los elementos y por tanto completa y



el tiempo está representado por la dependencia entre las celdas. Los atributos que se almacenan en la tabla se corresponden a los valores.

En cuanto a los elementos de visualización, se han tenido en cuenta para su catalogación aspectos como: estructura de la tabla, doble índice de la tabla, etiquetas de valores, uso de flechas para reflejar dependencia o el uso del sombreado para indicar la solución.

### **3.4.2 Ilustración – Búsqueda de caminos mínimos**

Esta ilustración representa la clase de problema búsqueda de caminos mínimos, en donde con cierta información de entrada, se realiza la búsqueda del camino mínimo entre el punto origen y el punto de destino.

A continuación, en la Figura 3-8 se muestra la figura seleccionada y en la Tabla 3-9 un resumen de la catalogación de dicha ilustración.

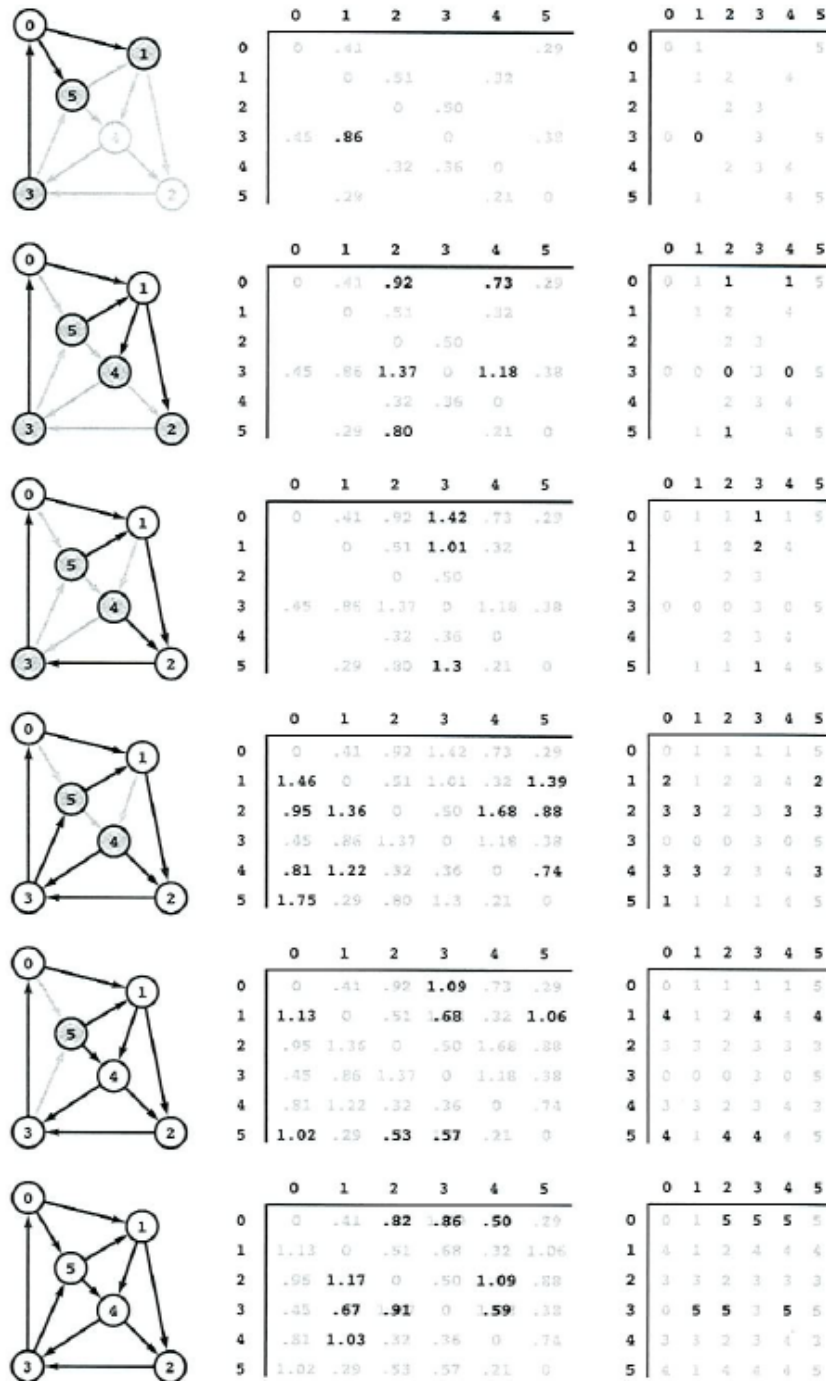


Figura 3-8: Grafo y tablas ambas de clase problema búsqueda de caminos mínimos

Problema: Búsqueda de caminos mínimos - N° figura 37 y 38

Clase de Problema: Grafo

Autor: [12]

Tipo de Ilustración: Compuesta (Se divide en Parte A y Parte B)

Objetivo: Ejecución

Subobjetivo: Estados Intermedios

Generalidad: Concreta

**Representación Gráfica – Parte A**

Representación Estado: Grafo                      Completitud: Completa  
 Representación Tiempo: Secuencia Estados

**Representación Gráfica – Parte B**

Representación Estado: Tabla                      Completitud: Completa  
 Representación Tiempo: Secuencia Estados  
 Atributos de Representación: Ambas (Valores y Decisiones)

---

**Tabla 3-9 Tabla resumen de clase problema búsqueda de caminos mínimos**

La ilustración se cataloga como clase de problema grafo y es un ejemplo claro de una ilustración compuesta. Para poder realizar el análisis de las ilustraciones, se han dividido en dos partes: Parte A-Grafo y Parte B-Tabla.

En la ilustración, ambas partes (Parte A-Grafo y Parte B-Tabla), tienen como objetivo representar la ejecución de la construcción del camino mínimo, para ello se muestran los estados intermedios en esta ejecución. Se trata de una ilustración concreta, puesto que la ejecución se realiza sobre un conjunto de datos (estados, caminos y pesos) determinados.

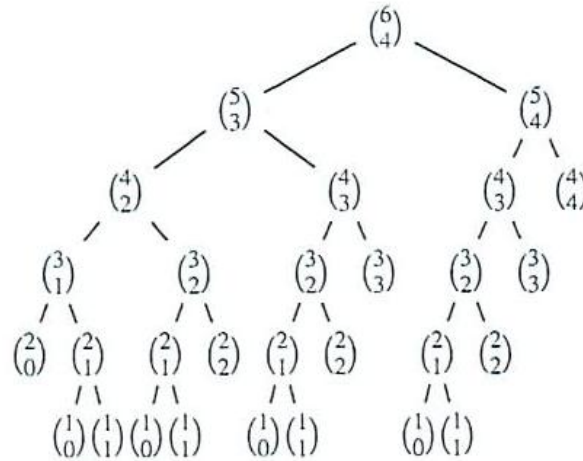
La representación gráfica del estado se muestra diferente en la Parte A y Parte B definidas en la ilustración. La representación del estado en la Parte A se realiza con un grafo dirigido, y en la Parte B con un conjunto de tablas. El nivel de detalle en ambos casos es completo, puesto que tanto el grafo como las tablas contienen todos sus elementos.

La representación del tiempo, se realiza en ambas Partes (A y B) a través de la secuencia de estados en donde los atributos de representación son tanto los valores como las decisiones.

Los elementos de visualización catalogados para la ilustración son diferentes para la Parte A y Parte B. Para cada parte se han recogido los elementos característicos de su representación gráfica, coincidiendo en el uso del sombreado para resaltar las partes optimizadas en cada paso.

**3.4.3 Ilustración – Cálculo de coeficientes binomiales**

En la Figura 3-9 se muestra la ilustración seleccionada en donde se pueden ver las llamadas recursivas necesarias para el cálculo del coeficiente binomial. A continuación de la figura en la Tabla 3-10 se recoge su catalogación correspondiente.



**Figura 3-9: Llamadas recursivas de clase problema cálculo de coeficientes binomiales**

|   |   |
|---|---|
| Problema: Cálculo de coeficientes binomiales - N° figura 48 |   |
| <b>Clase de Problema:</b> Matemático                        | <b>Autor:</b> [11]                        |
| <b>Tipo de Ilustración:</b> Simple                          |   |
| <b>Objetivo:</b> Ejecución                                  | <b>Subobjetivo:</b> Ecuaciones recursivas |
| <b>Generalidad:</b> Concreta                                |   |
| <b>Representación Gráfica</b>                               |   |
| Representación Estado: Aritmética                           | Complejidad: Completa                     |
| Representación Tiempo: Árbol recursión                      | Complejidad: Completa                     |
| Atributos de Representación: descendente                    |   |

**Tabla 3-10: Tabla resumen de clase problema cálculo de coeficientes binomiales**

Puesto que el objetivo de esta ilustración es la ejecución del cálculo de coeficientes binomiales, se ha catalogado dentro de la clase de problemas matemáticos.

Se trata de una ilustración simple, en donde se representa el cálculo recursivo para obtener el valor del coeficiente binomial, por lo que el subobjetivo de la ilustración se ha catalogado como ecuaciones recursivas.

La ejecución para el cálculo del coeficiente binomial se realiza sobre un conjunto de datos determinados, por lo que la ilustración se ha catalogado como concreta.

En cuanto a su representación gráfica, el estado se representa mediante un árbol binario en donde cada nodo es el propio número combinatorio, por lo que se ha catalogado como aritmética. La figura es completa y el tiempo se representa a través del árbol de recursión descendente.

### 3.5 Otros ejemplos de catalogación

En esta sección se han recopilado algunos ejemplos de catalogación que quedan fuera de lo visto en los apartados anteriores. Para cada ilustración seleccionada se muestra su figura, así como la tabla resumen de su catalogación.

#### 3.5.1 Ilustración – Apareamiento ARN

La Figura 3-10 pertenece al problema del apareamiento del máximo par de bases de ARN. Se muestran 3 casos considerados para calcular el número de pares básicos apareados en la estructura secundaria ( $S_{i,j}$ ) en una subcadena ( $R_{i,j}$ ). En la Tabla 3-11 se recoge la catalogación de esta ilustración.

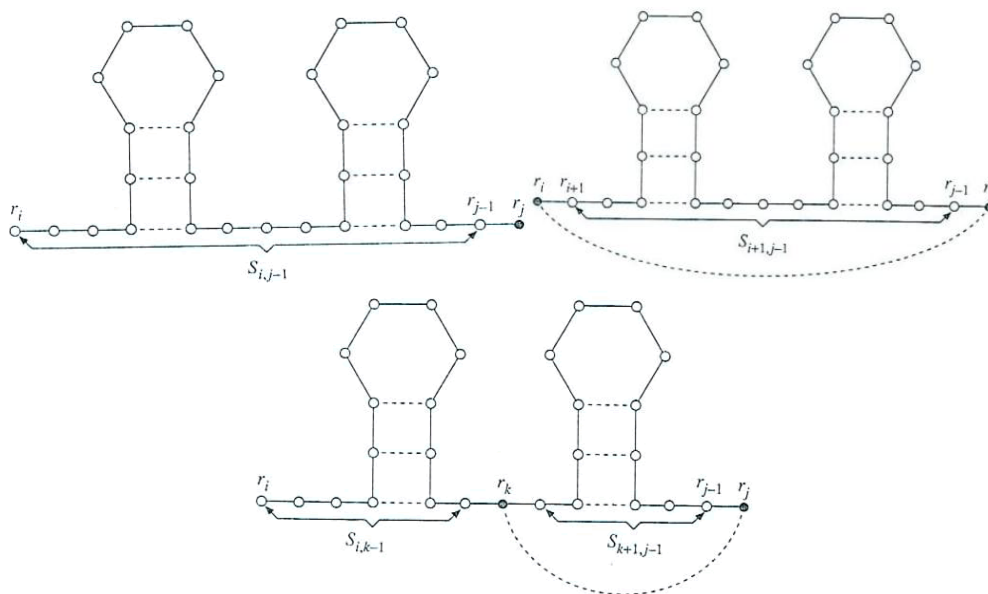


Figura 3-10: Ilustración de clase problema apareamiento ARN

Problema: Apareamiento ARN - N° figura 15

Clase de Problema: Cadenas

Autor: [4]

Tipo de Ilustración: Compuesta (se han unido 3 ilustraciones)

Objetivo: Diseño

Subobjetivo: Ecuaciones recursivas

**Generalidad:** Semigenérica

**Representación Gráfica**

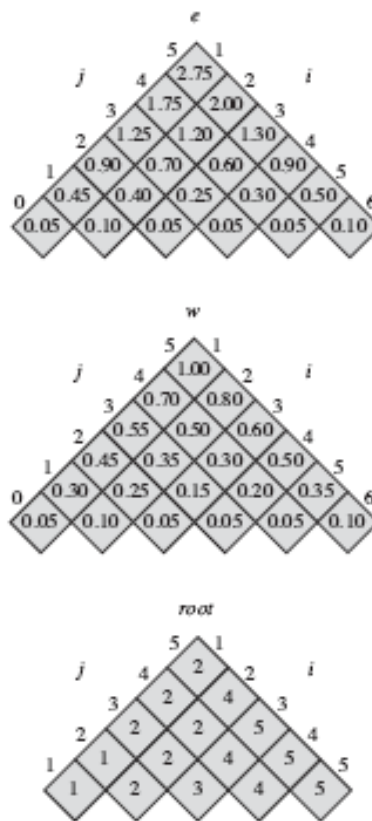
Representación Estado: Fórmula Química

Compleitud: Completa

**Tabla 3-11: Tabla resumen de clase problema apareamiento ARN**

**3.5.2 Ilustración – Árbol óptimo de búsqueda binaria**

La figura seleccionada pertenece al problema del árbol óptimo de búsqueda binaria. En la Figura 3-11 se muestran 3 tablas con los valores y las decisiones correspondientes. En este caso las tablas de la figura se representan rotadas. En la Tabla 3-12 se recoge la catalogación de esta ilustración.



**Figura 3-11 Tablas de clase problema árbol óptimo de búsqueda binaria**

Problema: Árbol óptimo de búsqueda binaria - N° figura 54

**Clase de Problema:** Árbol

**Autor:** [3]

**Tipo de Ilustración:** Simple

**Objetivo:** Ejecución

**Subobjetivo:** Estado Final

**Generalidad:** Concreta

**Representación Gráfica**

Representación Estado: Tabla

Compleitud: Completa

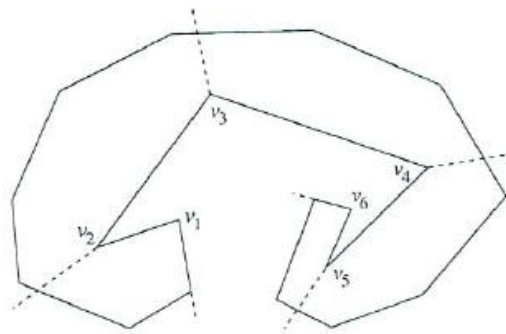
Representación Tiempo: Un estado

Atributos de Representación: Ambas (valores y decisiones)

**Tabla 3-12: Tabla resumen de clase problema árbol óptimo de búsqueda binaria**

**3.5.3 Ilustración – M vigilantes**

El problema de rutas de m-vigilantes para polígonos de una espiral consiste en encontrar las rutas para m vigilantes en un polígono simple, teniendo en cuenta que todo punto del polígono sea visto al menos por un vigilante desde alguna posición de la ruta. La Figura 3-12 muestra un polígono de seis vértices para el que se resuelve el problema de rutas de 3 vigilantes. En la Tabla 3-13 se recoge la catalogación de esta ilustración.



**Figura 3-12: Ilustración de clase problema m vigilantes**

Problema: M vigilantes - N° figura 93

**Clase de Problema:** Grafo

**Autor:** [4]

**Tipo de Ilustración:** Simple

**Objetivo:** Enunciado

Subobjetivo: Entrada

**Generalidad:** Concreta

**Representación Gráfica**

Representación Estado: Otros

Compleitud: Completa

**Tabla 3-13: Tabla resumen de clase problema m vigilantes**

---

## Capítulo 4

---

### Análisis de figuras

---

Una vez catalogadas las ilustraciones recopiladas, se ha procedido a analizar las diferentes figuras. A continuación se recoge la información extraída en diferentes apartados, donde se ven en más detalle los datos que se han obtenido de las principales categorías definidas para la catalogación de las ilustraciones.

#### 4.1 Datos generales

Para llevar a cabo este estudio se han consultado 14 obras bibliográficas, de las que se han podido recoger un total de 155 ilustraciones. Los problemas analizados se han clasificado finalmente en 7 clases de problemas. Esta clasificación inicialmente contaba con 10 clases de problemas, pero en las diferentes fases de análisis se han fusionado algunas de las clases y en otros casos se han creado nuevas clases de problema.

| Clasificación Inicial – Tipo Problema | Clasificación Actual – Tipo Problema |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Árboles                             | 1 Árboles                            |
| 2 Cadenas                             | 2 Cadenas                            |
| 3 Caminos                             | 3 Decisión                           |
| 4 Coeficiente Binomial                | 4 Grafo                              |
| 5 Grafo                               | 5 Matemáticos                        |
| 6 Matrices                            | 6 Optimización                       |
| 7 Monedas                             | 7 Redes                              |
| 8 Otros                               |                                      |
| 9 Planificación                       |                                      |
| 10 Sucesión Fibonacci                 |                                      |

**Tabla 4-1: Evolución de la categoría clase de problema**

Si bien se han recogido 155 ilustraciones de diferentes fuentes bibliográficas, entendiendo por ilustración lo que considera cada autor como tal, a la hora de llevar a cabo la catalogación de las ilustraciones aparecían numerosas ilustraciones compuestas y, a la inversa, ilustraciones consecutivas muy parecidas. Este aspecto, como ya se comentó anteriormente en el punto *3.1 Criterios de catalogación*, se resolvió distinguiendo entre los conceptos de ilustración compuesta e ilustración simple.



Para aplicar esta solución, por un lado se han separado aquellas ilustraciones compuestas que estaban formadas por diferentes representaciones gráficas, por ejemplo tabla y árbol. Y por otro lado, se han unido formando una misma ilustración, aquellas ilustraciones con representaciones consecutivas muy parecidas. Tras aplicar estos criterios, el número de figuras que forman parte de este análisis es de 146 ilustraciones.

Se han recopilado un total de 32 problemas distintos catalogados en 7 clases de problema con figuras analizadas. El mayor número de problemas diferentes se encuentra en la categoría clase de problema optimización, con 11 problemas distintos, seguido de cadenas con un 21,88 % de representación. Los tipos de problema catalogados como decisión y redes únicamente cuentan con un tipo de problema respectivamente.

Por otro lado, los problemas más representados, entendiendo como tal los tipos de problema de los que se han recogido más ilustraciones, son los de grafos seguidos por los de árboles, optimización y matemáticos. Los tipos de problemas menos representados son los de decisión y de redes. En un puesto intermedio (12,33%) se sitúan el tipo de problema de cadenas.

En la Tabla 4-2 se muestra un resumen con la información básica extraída.

| Nº Libros Consultados              | 14           |               |        |         |
|------------------------------------|--------------|---------------|--------|---------|
| Nº Ilustraciones recogidas         | 155          |               |        |         |
| Nº Ilustraciones analizadas        | 146          |               |        |         |
| Tipos Problemas analizados         | 7            |               |        |         |
| Nº Problemas distintos con figuras | 32           |               |        |         |
| Tipos de Problemas                 | Nº Problemas | Ilustraciones |        | Autores |
| 1 Árboles                          | 2            | 32            | 21,92% | 5       |
| 2 Cadenas                          | 7            | 18            | 12,33% | 7       |
| 3 Decisión                         | 1            | 1             | 0,68%  | 1       |
| 4 Grafo                            | 5            | 35            | 23,97% | 8       |
| 5 Matemáticos                      | 5            | 28            | 19,18% | 10      |
| 6 Optimización                     | 11           | 29            | 19,86% | 11      |
| 7 Redes                            | 1            | 3             | 2,05%  | 1       |
| Total                              | 32           | 146           | 100%   | 14      |

**Tabla 4-2: Datos básicos del análisis de ilustraciones**

## 4.2 Objetivo de las ilustraciones

En este apartado se representa mediante diferentes tablas el resultado de analizar las ilustraciones según el objetivo de visualización (enunciado, diseño, ejecución).

En la primera (Tabla 4-3) se refleja el tipo de objetivo frente a la clase de problema (árboles, cadenas, decisión, grafo, etc.). Puede observarse que aunque no existe gran diferencia entre las tres categorías de objetivos, predominan las ilustraciones cuyo objetivo es representar la ejecución (43,84%). En relación con los tipos de problemas, se puede observar, que en donde más se representa el objetivo ejecución es en los problemas matemáticos y el objetivo enunciado en los problemas de árboles y grafos.

| Objetivo  | Nº  | %     | Árboles | Cadenas | Decisión | Grafo | Matemat. | Opt. | Redes |
|-----------|-----|-------|---------|---------|----------|-------|----------|------|-------|
| Enunciado | 47  | 32,19 | 15      | 2       |          | 17    | 2        | 9    | 2     |
| Diseño    | 35  | 23,97 | 7       | 3       | 1        | 8     | 8        | 8    |       |
| Ejecución | 64  | 43,84 | 10      | 13      |          | 10    | 18       | 12   | 1     |
| Total     | 146 | 100   | 32      | 18      | 1        | 35    | 28       | 29   | 3     |

**Tabla 4-3: Objetivo de visualización por clase de problema**

Se ha realizado otro análisis teniendo en cuenta el subobjetivo de representación frente a su objetivo. De este análisis se obtiene que el objetivo enunciado se representa principalmente con las ilustraciones relacionadas con los subobjetivos de definición y entrada de datos. Por otro lado, el objetivo diseño se representa en mayor medida con ilustraciones relacionadas con los subobjetivos de formato de tabla + dependencia de celdas y ecuaciones recursivas. Y finalmente, el objetivo ejecución se representa en mayor medida con ilustraciones relacionadas con los subobjetivos de estado final + dependencia+ secuencia óptima y también ecuaciones recursivas. En la segunda tabla (Tabla 4-4) se recoge toda esta información.

| Subobjetivo           | Nº | %     | Enunciado | Diseño | Ejecución |
|-----------------------|----|-------|-----------|--------|-----------|
| Definición            | 15 | 10,27 | 14        | 1      |           |
| Dependencia celdas    | 1  | 0,68  |           | 1      |           |
| Ecuaciones recursivas | 36 | 24,66 |           | 14     | 22        |
| Entrada               | 13 | 8,9   | 13        |        |           |
| Entrada represent.    | 6  | 4,11  | 6         |        |           |
| Entrada /salida       | 4  | 2,74  | 4         |        |           |

|                                  |            |            |           |           |           |
|----------------------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Entrada/salida óptima            | 1          | 0,68       | 1         |           |           |
| Entrada/varias salidas posibles  | 2          | 1,37       | 2         |           |           |
| Estado final                     | 18         | 12,33      |           |           |           |
| Estado final + dep.+ sec. óptima | 2          | 1,37       |           |           | 18        |
| Estado final + dependencia       | 5          | 3,42       |           |           | 2         |
| Estado final + secuencia óptima  | 4          | 2,74       |           |           | 5         |
| Estados intermedios              | 9          | 6,16       |           |           | 4         |
| Formato tabla                    | 4          | 2,74       |           | 4         | 9         |
| Formato tabla + dependencia      | 14         | 9,59       |           | 14        |           |
| Propiedad auxiliar               | 1          | 0,68       |           | 1         |           |
| Salida                           | 1          | 0,68       | 1         |           |           |
| Salida inválida                  | 1          | 0,68       | 1         |           |           |
| Salida óptima                    | 3          | 2,05       | 1         |           | 2         |
| Varias sal. posibles             | 6          | 4,11       | 4         |           | 2         |
| <b>Total</b>                     | <b>146</b> | <b>100</b> | <b>47</b> | <b>35</b> | <b>64</b> |

**Tabla 4-4: Subobjetivo de visualización por objetivo**

En la tercera tabla (Tabla 4-5) se puede observar el uso de cada una de las categorías de subobjetivo según la clase de problema, en donde destaca la representación del subobjetivo definición en la clase de problema árboles y el subobjetivo ecuaciones recursivas en el tipo de problemas matemáticos.

| Subobjetivo                      | Nº | %     | Árboles | Cadenas | Decisión | Grafo | Matemat. | Opt. | Redes |
|----------------------------------|----|-------|---------|---------|----------|-------|----------|------|-------|
| Definición                       | 15 | 10,27 | 10      |         |          | 2     | 2        | 1    |       |
| Dependencia celdas               | 1  | 0,68  | 1       |         |          |       |          |      |       |
| Ecuaciones recursivas            | 36 | 24,66 | 8       | 3       |          | 7     | 10       | 8    |       |
| Entrada                          | 13 | 8,9   | 5       |         |          | 8     |          |      |       |
| Entrada represent.               | 6  | 4,11  |         |         |          | 5     |          | 1    |       |
| Entrada /salida                  | 4  | 2,74  |         | 2       |          | 2     |          |      |       |
| Entrada/salida óptima            | 1  | 0,68  |         |         |          | 1     |          |      |       |
| Entrada/varias salidas posibles  | 2  | 1,37  |         |         |          |       |          | 2    |       |
| Estado final                     | 18 | 12,33 | 2       | 3       |          | 2     | 5        | 5    | 1     |
| Estado final + dep.+ sec. óptima | 2  | 1,37  |         | 1       |          |       | 1        |      |       |
| Estado final + dependencia       | 5  | 3,42  | 1       | 2       |          |       | 2        |      |       |
| Estado final + secuencia óptima  | 4  | 2,74  |         | 4       |          |       |          |      |       |
| Estados intermedios              | 9  | 6,16  |         |         |          | 7     | 1        | 1    |       |

|                             |            |            |           |           |          |           |           |           |          |
|-----------------------------|------------|------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Formato tabla               | 4          | 2,74       | 1         |           |          |           | 1         | 2         |          |
| Formato tabla + dependencia | 14         | 9,59       |           | 2         | 1        | 1         | 6         | 4         |          |
| Propiedad auxiliar          | 1          | 0,68       | 1         |           |          |           |           |           |          |
| Salida                      | 1          | 0,68       |           |           |          |           |           | 1         |          |
| Salida inválida             | 1          | 0,68       |           |           |          |           |           | 1         |          |
| Salida óptima               | 3          | 2,05       | 2         |           |          |           |           | 1         |          |
| Varias sal. posibles        | 6          | 4,11       | 1         | 1         |          |           |           | 4         |          |
| <b>Total</b>                | <b>146</b> | <b>100</b> | <b>32</b> | <b>18</b> | <b>1</b> | <b>35</b> | <b>28</b> | <b>29</b> | <b>3</b> |

**Tabla 4-5: Subobjetivo de visualización por clase de problema**

En la cuarta tabla (Tabla 4-6) se muestra el tipo de objetivo por autor. Pueden verse algunas diferencias marcadas. Hay 2 autores [6] y [14] que usan las figuras únicamente para ilustrar ejecuciones. Asimismo, mientras Sedgewick, R. [12] utiliza las figuras casi exclusivamente para ilustrar ejecuciones, Martí Oliet, N. et al. [11] las usan sobre todo para representar diseños. Los autores Horowitz, E. [7] y Neapolitan, R. [8] emplean la mayoría de sus ilustraciones para representar enunciados.

| Objetivo     | Nº | %          | [1]      | [2]      | [3]      | [4]       | [5]      | [6]      | [7]       | [8]       | [9]       | [10]     | [11]      | [12]     | [13]     | [14]     |
|--------------|----|------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| Enunciado    | 47 | 32,19      | 1        | 1        | 2        | 13        | 2        |          | 11        | 9         | 2         | 3        | 1         | 1        | 1        |          |
| Diseño       | 35 | 23,97      | 1        | 2        |          | 10        |          |          | 2         | 3         | 1         | 1        | 13        |          |          | 2        |
| Ejecución    | 64 | 43,84      | 4        | 5        | 6        | 12        | 4        | 2        | 5         | 5         | 7         | 1        | 2         | 7        | 3        | 1        |
| <b>Total</b> |    | <b>146</b> | <b>6</b> | <b>8</b> | <b>8</b> | <b>35</b> | <b>6</b> | <b>2</b> | <b>18</b> | <b>17</b> | <b>10</b> | <b>5</b> | <b>16</b> | <b>8</b> | <b>6</b> | <b>1</b> |

**Tabla 4-6: Objetivo de visualización por autor**

La quinta tabla (Tabla 4-7) muestra la representación gráfica del estado empleado (tabla, árbol, matriz, etc.) según el objetivo de representación. Puede verse que, aunque el objetivo principal es ilustrar el proceso de ejecución, el diseño se lleva a cabo en mayor medida en las tablas y la ilustración de enunciados tiene un peso grande en la clase de representación grafo.

| Representación gráfica del estado | Nº | %     | Enunciado | Diseño | Ejecución |
|-----------------------------------|----|-------|-----------|--------|-----------|
| Árbol binario                     | 24 | 16,44 | 10        | 5      | 9         |
| Árbol n-ario                      | 7  | 4,79  |           | 2      | 5         |
| Aritmética                        | 3  | 2,05  | 1         |        | 2         |
| Cadena                            | 2  | 1,37  | 2         |        |           |
| Formula química                   | 2  | 1,37  |           | 1      | 1         |

|                 |     |       |    |    |    |
|-----------------|-----|-------|----|----|----|
| Grafo           | 28  | 19,18 | 15 | 4  | 9  |
| Matriz          | 8   | 5,48  | 4  |    | 4  |
| Otros           | 22  | 15,07 | 12 | 5  | 5  |
| Pila de control | 1   | 0,68  |    |    | 1  |
| Tabla           | 48  | 32,88 | 2  | 18 | 28 |
| Vector          | 1   | 0,68  | 1  |    |    |
| Total           | 146 | 100   | 47 | 35 | 64 |

**Tabla 4-7: Representación gráfica del estado por objetivo de visualización**

Finalmente, la sexta tabla (Tabla 4-8) representa el tipo de objetivo teniendo en cuenta la completitud de las representaciones gráficas del estado. Hay una tendencia clara a usar una representación completa para ejecuciones y a usar representaciones simplificadas para diseños.

| Objetivo  | Nº  | %     | Completa | Parcial | Simplificada |
|-----------|-----|-------|----------|---------|--------------|
| Enunciado | 47  | 32,19 | 39       | 3       | 5            |
| Diseño    | 35  | 23,97 | 8        | 2       | 25           |
| Ejecución | 64  | 43,84 | 55       | 6       | 3            |
| Total     | 146 | 100   | 102      | 11      | 33           |

**Tabla 4-8: Objetivo de visualización por completitud de la representación gráfica del estado**

### 4.3 Generalidad de las ilustraciones

De las 146 ilustraciones analizadas, más de la mitad (73,29%) son ilustraciones concretas, 20,55% son ilustraciones genéricas y en menor cantidad (6,16%) son ilustraciones semigenéricas.

De forma notable se emplean las ilustraciones concretas en visualizaciones cuyo objetivo de representación es el enunciado o la ejecución. Por el contrario la mayoría de las ilustraciones genéricas y semigenéricas se emplean en visualizaciones cuyo objetivo de representación es el diseño. En la Tabla 4-9 se muestra la generalidad de la visualización por objetivo.

| Generalidad   | Nº  | %     | Enunciado | Diseño | Ejecución |
|---------------|-----|-------|-----------|--------|-----------|
| Concretas     | 107 | 73,29 | 41        | 4      | 62        |
| Genéricas     | 30  | 20,55 | 3         | 26     | 1         |
| Semigenéricas | 9   | 6,16  | 3         | 5      | 1         |

|       |     |     |    |    |    |
|-------|-----|-----|----|----|----|
| Total | 146 | 100 | 47 | 35 | 64 |
|-------|-----|-----|----|----|----|

**Tabla 4-9: Generalidad de la visualización por objetivo**

Cinco de los autores [3][5][6][12][14] usan en exclusiva ilustraciones concretas. Aunque todos los autores emplean ilustraciones concretas en mayor o menor medida, destacan en su uso los autores Lee, R.C.T. et al. [4] y Neapolitan, R. [8]. Por el contrario el autor Martí Oliet, N. et al [11] emplea mayoritariamente ilustraciones genéricas.

| Generalidad   | Nº  | %     | [1] | [2] | [3] | [4] | [5] | [6] | [7] | [8] | [9] | [10] | [11] | [12] | [13] | [14] |
|---------------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Concretas     | 107 | 73,29 | 5   | 6   | 8   | 26  | 6   | 2   | 15  | 12  | 8   | 4    | 2    | 8    | 4    | 1    |
| Genéricas     | 30  | 20,55 |     | 2   |     | 5   |     |     | 2   | 4   | 1   | 1    | 13   |      | 2    |      |
| Semigenéricas | 9   | 6,16  | 1   |     |     | 4   |     |     | 1   | 1   | 1   |      | 1    |      |      |      |
| Total         | 146 | 100   | 6   | 8   | 8   | 35  | 6   | 2   | 18  | 17  | 10  | 5    | 16   | 8    | 6    | 1    |

**Tabla 4-10: Generalidad de la visualización por Autor**

## 4.4 Representación Gráfica

El análisis de la representación gráfica se realiza a continuación en tres apartados diferentes. El primero de ellos analiza la representación gráfica del estado, así como la completitud del estado de la ilustración. En el segundo apartado se procede a analizar la representación gráfica del tiempo y la completitud de los casos que aplican. Y en el último apartado se analizan los atributos de representación, en este caso debido a la técnica de diseño analizada de programación dinámica, se corresponden principalmente con las representaciones gráficas del estado de tablas y diferentes tipos de árboles.

### 4.4.1 Representación y completitud del estado

La representación gráfica del estado que aparece en todas las clases de problemas es la tabla, siendo en los problemas matemáticos, de optimización y cadenas en los que tiene mayor número de representación. Un resultado que era de esperar es que el mayor número de representaciones de árbol binario sea en problemas de árboles, como la representación de grafo en los problemas de grafos.

En la Tabla 4-11 se puede observar la representación gráfica del estado de las ilustraciones por clase de problema que lo emplea.

| Repr. Estado    | Nº         | %          | Árboles   | Cadenas   | Decisión | Grafo     | Matemat.  | Opt.      | Redes    |
|-----------------|------------|------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Árbol binario   | 24         | 16,44      | 17        |           |          | 1         | 6         |           |          |
| Árbol n-ario    | 7          | 4,79       |           |           |          | 2         | 1         | 4         |          |
| Aritmética      | 3          | 2,05       |           | 0         |          |           | 3         |           |          |
| Cadena          | 2          | 1,37       |           | 2         |          |           |           |           |          |
| Form. química   | 2          | 1,37       |           | 2         |          |           |           |           |          |
| Grafo           | 28         | 19,18      | 10        |           |          | 14        | 1         | 3         |          |
| Matriz          | 8          | 5,48       |           |           |          | 6         | 2         |           |          |
| Otros           | 22         | 15,07      |           | 3         |          | 5         | 1         | 11        | 2        |
| Pila de control | 1          | 0,68       |           |           |          |           | 1         |           |          |
| Tabla           | 48         | 32,88      | 4         | 11        | 1        | 7         | 13        | 11        | 1        |
| Vector          | 1          | 0,68       | 1         |           |          |           |           |           |          |
| <b>Total</b>    | <b>146</b> | <b>100</b> | <b>32</b> | <b>18</b> | <b>1</b> | <b>35</b> | <b>28</b> | <b>29</b> | <b>3</b> |

**Tabla 4-11: Representación gráfica del estado por clase de problema**

El 69,86% (102) de las ilustraciones analizadas tienen una representación completa, en la que son visibles todos los elementos de la representación. Sin embargo, el 22,6% (33) de las ilustraciones se han clasificado como simplificadas, debido a que omiten parte de la información, para generalizar. Cabe destacar que la mayoría de las ilustraciones de grafos o cadenas son ilustraciones completas, sin embargo el mayor uso de ilustraciones simplificadas se encuentran en los tipos de problemas matemáticos. Esto se puede observar en la Tabla 4-12.

| Complejidad  | Nº         | %          | Árboles   | Cadenas   | Decisión | Grafo     | Matemat.  | Opt.      | Redes    |
|--------------|------------|------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Completa     | 102        | 69,86      | 18        | 15        |          | 30        | 18        | 18        | 3        |
| Parcial      | 11         | 7,53       | 7         |           |          | 1         |           | 3         |          |
| Simplificada | 33         | 22,6       | 7         | 3         | 1        | 4         | 10        | 8         |          |
| <b>Total</b> | <b>146</b> | <b>100</b> | <b>32</b> | <b>18</b> | <b>1</b> | <b>35</b> | <b>28</b> | <b>29</b> | <b>3</b> |

**Tabla 4-12: Complejidad de la representación gráfica del estado por clase de problema**

En la Tabla 4-13 se muestra la relación entre el uso de visualizaciones completas/parciales/simplificadas según los diferentes autores. En general, los autores prefieren incluir figuras completas. Solamente Martí Oliet, N. et al. [11] tienen una mayoría de visualizaciones simplificadas. El autor que más emplea visualizaciones parciales es Lee, R.C.T. et al. [4]

| Complejidad | Nº  | %     | [1] | [2] | [3] | [4] | [5] | [6] | [7] | [8] | [9] | [10] | [11] | [12] | [13] | [14] |
|-------------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Completa    | 102 | 69,86 | 6   | 6   | 8   | 20  | 6   | 2   | 14  | 13  | 9   | 4    | 2    | 8    | 4    |      |

|              |     |      |   |   |   |    |   |    |    |    |    |   |    |   |   |   |
|--------------|-----|------|---|---|---|----|---|----|----|----|----|---|----|---|---|---|
| Parcial      | 11  | 7,53 | 9 |   |   |    | 1 |    |    |    | 1  |   |    |   |   |   |
| Simplificada | 33  | 22,6 | 2 | 6 | 4 | 4  | 1 | 13 | 2  | 1  |    |   |    |   |   |   |
| Total        | 146 | 100  | 6 | 8 | 8 | 35 | 6 | 2  | 18 | 17 | 10 | 5 | 16 | 8 | 6 | 1 |

**Tabla 4-13: Completitud de la representación gráfica del estado por autor**

Las visualizaciones simplificadas suelen emplear elementos característicos para representar esta falta de información.

Se muestra en la Tabla 4-14 qué elementos se emplean para representar este hecho, así como su proporción de uso en las ilustraciones analizadas. Los elementos que se emplean en las visualizaciones simplificadas son el espacio en blanco, los puntos suspensivos, triángulos para la representación de subárboles, u otros caracteres como los dos puntos, o el uso de la abreviatura de etcétera (etc.).

Puede observarse que lo más usado es una simple supresión de una parte de la ilustración (espacio), seguido del uso de puntos suspensivos o triángulos para subárboles.

| Elementos en Visualizaciones Simplificadas | Nº | %     |
|--|----|-------|
| dos puntos                                 | 1  | 2,63  |
| espacio                                    | 20 | 52,63 |
| etc  | 1  | 2,63  |
| puntos suspensivos                         | 11 | 28,95 |
| triángulos subárboles                      | 5  | 13,16 |
| Total                                      | 38 | 100   |

**Tabla 4-14: Elementos en la representación del estado simplificado**

#### 4.4.2 Representación y Completitud del tiempo

La representación del tiempo en una visualización no es una categoría que se haya podido aplicar a todas las ilustraciones analizadas, de hecho casi la mitad de las ilustraciones (41,78%) no se ha catalogado en esta categoría, bien porque el tiempo era indefinido o porque no aplicaba en la visualización.

La representación del tiempo que más aparece en las ilustraciones es la de dependencia de celdas, distribuida entre diferentes clases de problemas, seguido de la representación



de un estado, y la de árbol de búsqueda, esta última con todas las ilustraciones en los problemas de árboles.

En la Tabla 4-15 se muestra la representación gráfica del tiempo y su distribución en las diferentes clases de problemas.

| Repr. Tiempo            | Nº         | %          | Árboles   | Cadenas   | Decisión | Grafo     | Matemat.  | Opt.      | Redes    |
|-------------------------|------------|------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Un estado               | 17         | 11,64      | 3         | 2         |          | 1         | 5         | 5         | 1        |
| Dos estados             | 1          | 0,68       | 1         |           |          |           |           |           |          |
| Árbol búsqueda          | 13         | 8,9        | 13        |           |          |           |           |           |          |
| Árbol recursión         | 12         | 8,22       |           |           |          |           | 8         | 4         |          |
| Dep. celdas             | 18         | 12,33      |           | 5         | 1        | 1         | 7         | 4         |          |
| Dep. óptimas            | 4          | 2,74       |           | 4         |          |           |           |           |          |
| Grafo depend.           | 4          | 2,74       | 1         |           |          |           | 1         | 2         |          |
| Indefinido o N/A        | 61         | 41,78      | 14        | 2         |          | 25        | 6         | 12        | 2        |
| Otra repr. con historia | 1          | 0,68       |           | 1         |          |           |           |           |          |
| Sec. estados            | 12         | 8,22       |           | 2         |          | 7         | 1         | 2         |          |
| Solapamiento            | 1          | 0,68       |           |           |          | 1         |           |           |          |
| Unir E/S                | 2          | 1,37       |           | 2         |          |           |           |           |          |
| <b>Total</b>            | <b>146</b> | <b>100</b> | <b>32</b> | <b>18</b> | <b>1</b> | <b>35</b> | <b>28</b> | <b>29</b> | <b>3</b> |

**Tabla 4-15: Representación gráfica del tiempo frente a clase de problema**

La completitud de las representaciones gráficas del tiempo no se han tenido en cuenta para todas las ilustraciones, únicamente se han catalogado las ilustraciones cuya representación del tiempo es una secuencia de estados o bien un árbol de recursión (8,22% respectivamente).

| Completitud  | Nº        | %          | Árboles | Cadenas  | Decisión | Grafo    | Matemat. | Opt.     | Redes |
|--------------|-----------|------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| Completa     | 22        | 88         |         | 3        |          | 6        | 7        | 6        |       |
| Parcial      | 1         | 4          |         |          |          | 1        |          |          |       |
| Simplificada | 2         | 8          |         |          |          |          | 2        |          |       |
| <b>Total</b> | <b>25</b> | <b>100</b> |         | <b>3</b> |          | <b>7</b> | <b>9</b> | <b>6</b> |       |

**Tabla 4-16: Completitud de la representación gráfica del tiempo frente a clase de problema**

#### 4.4.3 Atributos de representación

En cuanto a la representación gráfica de los atributos de las tablas / matrices se ha llevado a cabo un análisis más exhaustivo para ver qué tipos de elementos se almacenan en las tablas/matrices.

Los atributos que se almacenan se han catalogado en los siguientes grupos: valores, decisiones, ambas (decisiones – valores). En la Tabla 4-17 se muestra el número de ilustraciones (tablas/matrices) que almacenan los atributos indicados, apareciendo en mayor medida los atributos de representación de valores (76,79%).

| Atributos – Tabla/Matriz | Nº | %     |
|--------------------------|----|-------|
| valores                  | 43 | 76,79 |
| decisiones               | 4  | 7,14  |
| ambas                    | 9  | 16,07 |
| Total                    | 56 | 100   |

**Tabla 4-17: Atributos en representación gráfica de estado de tablas / matrices**

Aunque en menor medida que las tablas, también se ha realizado un análisis particular de los atributos de representación de los árboles. En este caso los atributos de representación son ascendente y descendente.

Se ha analizado únicamente la representación gráfica de tiempo para el árbol de recursión (8,22%), obteniendo como resultado un uso algo mayor del atributo descendente 61,54%. En la Tabla 4-18 se puede ver el número de atributos de representación para el árbol de recursión.

| Atributos – Árbol recursión | Nº | %     |
|-----------------------------|----|-------|
| ascendente                  | 5  | 38,46 |
| descendente                 | 8  | 61,54 |
| Total                       | 13 | 100   |

**Tabla 4-18: Atributos de representación en representación gráfica de estado de árboles**

## 4.5 Autores y elementos en la visualización

Otro aspecto a analizar es el uso de las diferentes ilustraciones por los autores. En la Tabla 4-19 se puede observar la relación entre los autores y la cantidad de ilustraciones empleadas por tipo de ejercicio. En cuanto a las ilustraciones usadas por cada autor, vemos que hay cuatro autores con 15 o más ilustraciones: Lee, R.C.T. et al. [4], Horowitz, E. [7], Neapolitan, R. [8] y sobre todo Martí Oliet, N. et al [11]. En el otro extremo, Parberry I. [6] y McAllister W. [14] tienen dos o menos.

En cuanto a la relación entre autor y tipo de problema, es difícil concluir nada sin un análisis estadístico más profundo.

| Repr. Estado | Nº         | %          | Árboles   | Cadenas   | Decisión | Grafo     | Matemat.  | Opt.      | Redes    |
|--------------|------------|------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| [1]          | 6          | 4,11       |           | 1         |          | 2         | 2         | 1         |          |
| [2]          | 8          | 5,48       |           |           |          | 3         | 3         | 2         |          |
| [3]          | 8          | 5,48       | 2         | 1         |          |           | 2         | 3         |          |
| [4]          | 35         | 23,97      | 15        | 7         |          | 11        |           | 2         |          |
| [5]          | 6          | 4,11       |           |           |          | 1         |           | 2         | 3        |
| [6]          | 2          | 1,37       |           | 2         |          |           |           |           |          |
| [7]          | 18         | 12,33      | 6         |           |          | 9         |           | 3         |          |
| [8]          | 17         | 11,64      | 6         |           |          | 6         | 4         | 1         |          |
| [9]          | 10         | 6,85       |           | 3         |          |           | 4         | 3         |          |
| [10]         | 5          | 3,42       |           | 3         |          |           | 1         | 1         |          |
| [11]         | 16         | 10,96      |           | 1         | 1        | 1         | 5         | 8         |          |
| [12]         | 8          | 5,48       |           |           |          | 2         | 3         | 3         |          |
| [13]         | 6          | 4,11       | 3         |           |          |           | 3         |           |          |
| [14]         | 1          | 0,68       |           |           |          |           | 1         |           |          |
| <b>Total</b> | <b>146</b> | <b>100</b> | <b>32</b> | <b>18</b> | <b>1</b> | <b>35</b> | <b>28</b> | <b>29</b> | <b>3</b> |

**Tabla 4-19: Ilustraciones por autor y clase de problema**

En la siguiente tabla (Tabla 4-20) se presenta la relación entre las representaciones gráficas del estado y los autores. Aunque hay bastante variedad, únicamente Martí Oliet, N. et al. [11], parece tener un sesgo claro hacia el uso casi exclusivo de tablas.

| Objetivo        | Nº         | %          | [1]      | [2]      | [3]      | [4]       | [5]      | [6]      | [7]       | [8]       | [9]       | [10]     | [11]      | [12]     | [13]     | [14]     |
|-----------------|------------|------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| Árbol binario   | 24         | 16,44      | 1        | 1        | 6        |           |          |          | 5         | 4         | 2         |          |           | 2        | 3        |          |
| Árbol n-ario    | 7          | 4,79       |          |          | 2        | 2         | 1        |          |           |           |           |          |           | 2        |          |          |
| Aritmética      | 3          | 2,05       |          |          |          |           |          |          |           |           | 1         |          | 2         |          |          |          |
| Cadena          | 2          | 1,37       |          |          |          |           |          |          |           |           |           | 2        |           |          |          |          |
| Form. química   | 2          | 1,37       |          |          |          | 2         |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |
| Grafo           | 28         | 19,18      | 1        | 1        | 1        | 15        |          |          | 5         | 3         |           |          |           | 1        | 1        |          |
| Matriz          | 8          | 5,48       | 1        | 2        |          |           |          |          | 2         | 2         |           |          |           |          | 1        |          |
| Otros           | 22         | 15,07      |          |          | 1        | 5         | 2        | 2        | 3         | 1         | 3         | 1        | 2         | 2        |          |          |
| Pila de control | 1          | 0,68       |          |          |          |           |          |          |           |           |           |          |           |          |          | 1        |
| Tabla           | 48         | 32,88      | 4        | 4        | 3        | 5         | 3        |          | 3         | 6         | 4         | 2        | 12        | 1        | 1        |          |
| Vector          | 1          | 0,68       |          |          |          |           |          |          |           | 1         |           |          |           |          |          |          |
| <b>Total</b>    | <b>146</b> | <b>100</b> | <b>6</b> | <b>8</b> | <b>8</b> | <b>35</b> | <b>6</b> | <b>2</b> | <b>18</b> | <b>17</b> | <b>10</b> | <b>5</b> | <b>16</b> | <b>8</b> | <b>6</b> | <b>1</b> |

**Tabla 4-20: Ilustraciones por representación gráfica del estado y autor**

Al realizar un análisis en profundidad de las ilustraciones se han extraído las principales características de algunas de las representaciones gráficas que tenían mayor número de ilustraciones: tabla, árboles (árbol binario, árbol n-ario, árbol sintáctico), grafo y matriz.

Aunque la representación gráfica del estado clasificada como otros aparece con un número de frecuencia alto, no se ha realizado el análisis de los elementos visuales que lo forman, puesto que cada ilustración de esta clase de representación tiene características visuales diferentes. No se ha realizado un análisis del resto de las representaciones gráficas puesto que su índice de aparición es bajo.

En las siguientes cuatro tablas se puede observar el uso de los elementos característicos de cada una de las representaciones gráficas del estado de tabla, árboles, grafo y matriz.

En la Tabla 4-21 se recoge el uso que realizan los autores de los diferentes elementos de visualización recogidos para de la representación gráfica del estado de las tablas. Se observa un uso bastante generalizado de distintas clases de etiquetas, así como elementos estéticos de la tabla, flechas y sombreado. Los elementos más utilizados son los contenidos numéricos e índices (numéricos o identificadores).

Si analizamos el uso de estos elementos por autores, vemos una gran diversidad. Dos autores (Parberry I. [6] y McAllister W. [14]) no utilizan ninguna figura de tablas. En el extremo contrario, Martí Oliet N. et al. [11] incluye un alto número de figuras (12). No parece haber un uso destacable de ningún elemento por autor.

| Tabla                      | Nº | %     | [1] | [2] | [3] | [4] | [5] | [6] | [7] | [8] | [9] | [10] | [11] | [12] | [13] | [14] |
|----------------------------|----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| <b>Etiquetas contenido</b> |    |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| numérico                   | 29 | 15,26 | 3   | 3   | 2   | 4   | 3   |     | 3   | 5   | 4   | 1    |      | 1    |      |      |
| variable                   | 7  | 3,68  | 2   | 1   |     | 1   |     |     |     | 1   |     | 1    |      |      |      | 1    |
| <b>Etiqueta índice</b>     |    |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| numérico                   | 29 | 15,26 | 3   | 3   | 3   | 4   | 2   |     | 3   | 5   | 4   | 1    | 1    |      |      |      |
| variable                   | 22 | 11,58 |     | 3   | 1   | 3   |     |     |     | 1   | 2   | 1    | 10   |      |      | 1    |
| <b>Etiqueta tabla</b>      |    |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
|                            | 18 | 9,47  |     |     | 2   | 1   |     |     | 1   | 3   | 1   | 2    | 8    |      |      |      |
| <b>Estructura tabla</b>    |    |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| borde                      | 15 | 7,89  |     |     |     | 1   | 2   |     |     |     | 4   | 1    | 6    |      |      | 1    |
| ejes                       | 23 | 12,11 | 2   | 3   |     |     | 2   |     | 2   | 6   | 4   | 1    | 2    | 1    |      |      |
| rejilla                    | 14 | 7,37  | 4   |     | 3   | 3   |     |     |     |     |     | 1    | 3    |      |      |      |

|                     |     |      |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |   |   |   |
|---------------------|-----|------|----|----|----|----|---|---|----|----|----|----|----|---|---|---|
| Flecha/línea depen. | 15  | 7,89 | 1  | 1  | 3  |    |   | 2 | 1  | 7  |    |    |    |   |   |   |
| Sombreado           | 16  | 8,42 | 2  |    | 2  |    |   | 1 | 3  | 1  | 6  | 1  |    |   |   |   |
| Color               | 2   | 1,05 |    |    |    |    |   |   |    | 2  |    |    |    |   |   |   |
| Total N° elementos  | 190 | 100  | 16 | 14 | 14 | 20 | 9 | 9 | 24 | 22 | 13 | 43 | 3  | 3 |   |   |
| Total N° figuras    | 48  | 100  | 4  | 4  | 3  | 5  | 3 | 0 | 3  | 6  | 4  | 2  | 12 | 1 | 1 | 0 |

**Tabla 4-21: Elementos de visualizaciones de la repr. gráfica del estado Tabla por autor**

Asimismo, para árboles en la Tabla 4-22, encontramos cuatro autores sin ningún elemento usado (Alsuwaiyel M.H. [1], Parberry I. [6], Goodrich M.T. [10], Martí Oliet N. et al [11] y McAllister W. [14]), mientras que Lee, R.C.T et al. [4] es el autor que tiene más figuras de representación gráfica del estado de árboles y emplea numerosos elementos de visualización en sus ilustraciones.

Entre los elementos usados, destacan las etiquetas internas a nodos (numéricas o identificadoras), nodos circulares y líneas.

| Árbol                    | N°  | %     | [1] | [2] | [3] | [4] | [5] | [6] | [7] | [8] | [9] | [10] | [11] | [12] | [13] | [14] |
|--------------------------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Etiquetas nodos internos |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| numérico                 | 12  | 11,11 |     |     | 2   | 5   | 1   |     |     |     |     |      |      | 4    |      |      |
| variable                 | 10  | 9,26  |     | 1   | 1   | 4   |     |     | 1   | 1   |     |      |      |      |      | 2    |
| string                   | 7   | 6,48  |     |     |     |     |     |     | 3   | 3   |     |      |      |      |      | 1    |
| función                  | 3   | 2,78  |     | 1   |     |     |     |     |     |     | 2   |      |      |      |      |      |
| Etiquetas nodos externos |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| numérico                 | 2   | 1,85  |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      | 1    |
| Forma nodos              |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| circulo                  | 26  | 24,07 |     |     | 2   | 8   | 1   |     | 5   | 4   |     |      |      | 4    |      | 2    |
| cuadrado nodo hoja       | 8   | 7,41  |     |     | 1   | 1   |     |     | 2   |     |     |      |      | 4    |      |      |
| triángulo subárboles     | 7   | 6,48  |     |     |     | 4   |     |     | 1   | 1   |     |      |      |      |      | 1    |
| Forma enlaces            |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| líneas                   | 24  | 22,22 |     |     | 3   | 3   | 1   |     | 5   | 4   | 2   |      |      | 4    |      | 2    |
| flechas                  | 7   | 6,48  |     | 1   |     | 5   |     |     |     |     |     |      |      |      |      | 1    |
| Sombreado                | 2   | 1,85  |     |     | 2   |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| Total N° elementos       | 108 | 100   |     | 3   | 11  | 31  | 3   |     | 17  | 13  | 4   |      |      | 16   |      | 10   |
| Total N° figuras         | 31  | 100   |     | 1   | 3   | 8   | 1   |     | 5   | 4   | 2   |      |      | 4    |      | 3    |

**Tabla 4-22: Elementos de visualizaciones de la repr. gráfica del estado Árbol por autor**

Para grafos, encontramos seis autores sin ninguna figura sobre grafos (Sahni S. [5], Parberry I. [6], Skiena S. [9], Goodrich M. T. [10], Martí Oliet N. et al [11] y

McAllister W. [14]). Sin embargo, Lee R.C.T. et al. [4] y Horowitz E. [7] incluyen 5 o más figuras.

Entre los elementos usados, destacan las etiquetas internas a nodos (numéricas o identificadoras), nodos circulares y flechas. En la Tabla 4-23 se muestra la relación de uso de los diferentes elementos de visualización de la representación gráfica del estado grafo por autor.

| Grafo                    | Nº  | %     | [1] | [2] | [3] | [4] | [5] | [6] | [7] | [8] | [9] | [10] | [11] | [12] | [13] | [14] |
|--------------------------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Etiquetas nodos internos |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| numérico                 | 9   | 6,57  | 1   | 1   | 1   | 1   |     |     | 3   |     |     |      |      | 1    | 1    |      |
| variable                 | 14  | 10,22 |     |     |     | 10  |     |     | 1   | 3   |     |      |      |      |      |      |
| Etiquetas nodos externos |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| numérico                 | 8   | 5,84  |     |     |     | 8   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| variable                 | 3   | 2,19  |     |     |     | 2   |     | 1   |     |     |     |      |      |      |      |      |
| Forma nodos - circulo    | 27  | 19,71 | 1   | 1   | 1   | 14  |     |     | 5   | 3   |     |      |      | 1    | 1    |      |
| Forma enlaces            |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| líneas                   | 10  | 7,3   |     |     |     | 10  |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| flechas                  | 18  | 13,14 | 1   | 1   | 1   | 5   |     |     | 5   | 3   |     |      |      | 1    | 1    |      |
| Otras etiquetas          |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| etiqueta enlace          | 10  | 7,3   | 1   | 1   |     | 4   |     |     | 2   | 2   |     |      |      |      |      |      |
| etiqueta camino          | 2   | 1,46  |     |     |     |     |     |     | 2   |     |     |      |      |      |      |      |
| etiqueta explicativa     | 4   | 2,92  |     |     |     | 4   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| Sombreado                | 4   | 2,92  |     |     | 1   | 1   |     |     | 1   |     |     |      |      | 1    |      |      |
| Total N° elementos       | 109 | 100   | 4   | 4   | 4   | 59  |     |     | 20  | 11  |     |      |      | 4    | 3    |      |
| Total N° figuras         | 28  | 100   | 1   | 1   | 1   | 15  |     |     | 5   | 3   |     |      |      | 1    | 1    |      |

**Tabla 4-23: Elementos de visualizaciones de la repr. gráfica del estado Grafo por autor**

En la Tabla 4-24 encontramos 9 autores sin figuras de matrices (Cormen T.H. [3], Lee R.C.T [4], Sahni S. [5], Parberry I. [6], Skiena S. [9], Goodrich M. T. [10], Martí Oliet N. [11], Sedgewick R. [12] y McAllister W. [14]). Los elementos más destacados son las etiquetas de contenido numérico.

| Matriz              | Nº | %     | [1] | [2] | [3] | [4] | [5] | [6] | [7] | [8] | [9] | [10] | [11] | [12] | [13] | [14] |
|---------------------|----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Etiquetas contenido |    |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| numérico            | 7  | 23,33 | 1   | 2   |     |     |     |     | 2   | 1   |     |      |      |      |      | 1    |
| variable            | 1  | 3,33  |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |
| Etiquetas índices   |    |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |
| numérico            | 1  | 3,33  |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |

|                      |    |       |   |   |   |   |   |
|----------------------|----|-------|---|---|---|---|---|
| variable             | 1  | 3,33  |   |   | 1 |   |   |
| Estructura           |    |       |   |   |   |   |   |
| corchetes            | 5  | 16,67 | 1 |   | 2 | 1 | 1 |
| paréntesis           | 2  | 6,67  | 2 |   |   |   |   |
| ejes                 | 1  | 3,33  |   |   |   | 1 |   |
| Etiqueta matriz      | 4  | 13,33 | 1 | 2 |   |   | 1 |
| Total elementos      | 22 | 100   | 3 | 6 | 4 | 6 | 3 |
| Total número figuras | 8  | 100   | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |

**Tabla 4-24: Elementos de visualizaciones de la repr. gráfica del estado Matriz por autor**

## 4.6 Resumen de resultados obtenidos

De los 24 libros seleccionados para realizar el análisis de figuras empleando diferentes técnicas de diseño (divide y vencerás, vuelta atrás y programación dinámica), se consultaron 14 libros que contenían ilustraciones relativas a la técnica de programación dinámica. Se encontraron 32 problemas diferentes ilustrados y se contabilizaron 155 ilustraciones, algunas secuencias de figuras similares otras compuestas, por lo finalmente se dispuso de 146 ilustraciones simples.

Para facilitar su análisis, los 32 problemas se clasificaron en 7 categorías de clase de problemas: árboles (p.ej. árboles óptimos de búsqueda), cadenas de caracteres (p.ej. subsecuencia común más larga), decisión (p.ej. reparto del botín), grafos (p.ej. problemas de caminos mínimos), matemáticos (p.ej. serie de Fibonacci o multiplicación de matrices con coste mínimo), optimización (p.ej. la mochila 0/1) y redes (p.ej. subconjunto de redes no cruzadas - MSS).

Del estudio referente al tratamiento dado a las categorías de *clase de problemas*, se arrojan los siguientes hallazgos:

- Los problemas con más ilustraciones son los de grafos (23,97% de las ilustraciones), seguidos de problemas de árboles (21,92%), los de optimización (19,86%) y los problemas matemáticos (19,18%). Los problemas de cadenas con algo menos de representación (12,33%), y siendo los menos ilustrados los problemas de redes y decisión.

- Los problemas más populares ilustrados por más de la mitad de los autores son los de optimización (ilustrados por el 78,57% de los autores), matemáticos (71,43%) y de grafos (57,14%).

Del análisis del *objetivo de la ilustración*, se obtiene:

- Las ilustraciones se utilizan principalmente para representar la ejecución de algoritmos (43,84% de las ilustraciones), seguidas de enunciados (32,19%) y diseños (23,97%).
- Las representaciones gráficas utilizadas para problemas de árboles y de grafos ilustran sobre todo enunciados. Más de la mitad de las ilustraciones de las clases de problemas cadenas y matemáticos tienen el objetivo de visualización de ejecución. En la mayoría de las clases de problemas, en menor medida se emplea el objetivo de visualización de diseño.
- Las ilustraciones de ejecución o enunciado suelen estar completas (92,16% entre ambas), mientras que las de diseño suelen ser simplificadas (7,14%).

Las ilustraciones pueden representarse de una forma más o menos genérica. Del análisis de la *generalidad* de las ilustraciones se obtiene que:

- La mayoría de las ilustraciones analizadas son concretas (73,29%) frente a un 20,55% que son genéricas y en menor medida (6,16%) semigenéricas.
- Más de la mitad de las ilustraciones concretas se emplean con el objetivo de visualización de enunciado y ejecución, y la mayoría de las ilustraciones genéricas y semigenéricas tienen un objetivo de diseño.
- Los autores prefieren las representaciones concretas, aunque hay excepciones como el autor S. Baase [13] que emplea mayoritariamente ilustraciones genéricas.

En cuanto a las representaciones gráficas, para la *representación del estado*, se distingue entre: tablas, árboles (binario, n-ario), grafos, matrices, otras representaciones, bien dependientes del dominio, bien propias de la informática. Los principales hallazgos:

- Las representaciones gráficas del estado se usan de la siguiente forma: tablas (32,88%), árboles – binarios, n-arios - (21,23%), grafos (19,18%), otras representaciones (15,07%) y en menor medida, aritmética (2,05%), cadena y



fórmula química (1,37% respectivamente) y vector y pila de control (0,68% en ambos casos.)

- Porcentualmente, los problemas que más utilizan tablas son los matemáticos (27,08%), de cadenas de caracteres y de optimización (22,92% respectivamente), mientras que los problemas de árboles y de grafos se apoyan más en sus representaciones informáticas correspondientes (54,84% y 50% respectivamente).
- El 30,13% de las ilustraciones son parciales o simplificadas, frente a un 69,86% de ilustraciones completas.
- Las tablas suelen tener el formato bidimensional común en informática, aunque en algunos problemas adoptan formato de matriz. Las tablas pueden contener como atributos de representación valores a optimizar o las decisiones que conducen a éstos (a veces, ambos). Las tablas que contienen valores constituyen el 76,79% de los casos, mientras que las que contienen únicamente decisiones, sólo son el 7,14%.

La *representación gráfica del tiempo*, no aplica a todas las ilustraciones analizadas, casi la mitad de las ilustraciones (41,78%) se han catalogado en esta categoría como indefinido o no aplica.

- Los árboles de recursión sólo se utilizan en problemas matemáticos y de optimización. Los árboles de búsqueda sólo se utilizan en problemas de árboles mientras que la dependencia de celdas se emplea en casi toda clase de problemas (excepto árboles), aunque en mayor medida en problemas matemáticos.
- Los atributos de los árboles de recursión se representan en mayor número como forma descendente (61,54%) frente a los árboles ascendentes.

Finalmente en lo relativo a *los autores y los elementos visuales* analizados se obtiene que:

- Existen grandes diferencias entre los autores en el número de figuras incluidas. Algunos tienen estilos marcados, sobre todo Martí Oliet N. et al. [11] (ilustraciones parciales, explicaciones teóricas y uso casi exclusivo de tablas).
- Los autores suelen preferir el uso de ilustraciones completas. Las ilustraciones simplificadas se utilizan principalmente para explicaciones teóricas. Las partes

suprimidas suelen representarse mediante un espacio en blanco, y también mediante puntos suspensivos o triángulos (para subárboles).

- Se observa un uso bastante generalizado de los siguientes elementos, por representación gráfica:
  - Tablas: distintas clases de etiquetas, así como elementos estéticos de la tabla, flechas y sombreado.
  - Árboles (binarios, n-arios): etiquetas internas a nodos (numéricas o identificadores), nodos circulares y líneas.
  - Grafos: etiquetas internas a nodos, nodos circulares y flechas.
  - Matrices: contenidos numéricos

---

# Capítulo 5

---

## Conclusiones

---

En este último capítulo se recogen las conclusiones del trabajo que se ha llevado a cabo. En un primer apartado, se analiza la consecución de los diferentes hitos marcados para alcanzar el objetivo. A continuación, en el segundo apartado se exponen posibles líneas de trabajos futuros a seguir. Y finalmente, en el último apartado se recogen las conclusiones personales de la elaboración de este proyecto.

### 5.1 Análisis de la consecución de objetivos

Para alcanzar el objetivo señalado inicialmente en la elaboración de este proyecto, se marcaron un conjunto de hitos a cumplir. A continuación se enumeran los distintos hitos alcanzados así como cierta información referente a la consecución de los mismos:

- ✓ *Selección bibliográfica de interés en el ámbito de la algoritmia.*
  - Inicialmente se seleccionaron 24 libros para realizar el análisis de figuras empleando diferentes técnicas de diseño (divide y vencerás, vuelta atrás y programación dinámica),
  - En concreto, para el análisis de figuras empleando la técnica de programación dinámica se han empleado 14 de los 24 libros.
  
- ✓ *Recopilación de ilustraciones, registro de información complementaria y elaboración de un informe técnico.*
  - Se escanearon todas las ilustraciones de la selección bibliográfica correspondientes a la técnica de diseño de programación dinámica.
  - Se recopiló información adicional de cada una de las ilustraciones, como autor, nº de página en el que se encontraban, clase de problema al que pertenecen, etc.
  - Como resultado de todo este trabajo, se elaboró un informe técnico [22], en donde además de recopilarse toda la información recogida, se clasifican las ilustraciones según la clase de problema que ilustran.

- ✓ *Análisis y catalogación de las ilustraciones.*
  - Mediante diferentes fases en las que se realizaron múltiples rondas de análisis se fueron definiendo las categorías de catalogación.
  - El conjunto de categorías ha ido evolucionando a lo largo de las diferentes fases y rondas de análisis. Finalmente se han obtenido unos criterios de catalogación homogéneos, aplicables al análisis de las ilustraciones empleando diferentes técnicas de diseño (divide y vencerás, vuelta atrás y programación dinámica).
  - Una vez finalizado el proceso de la catalogación definitivo de las ilustraciones, se ha realizado un análisis exhaustivo, centrado en: el objetivo de visualización, la generalidad de las ilustraciones, la representación gráfica, los autores y los elementos de visualización empleados.

El fundamento de este trabajo tiene como objetivo analizar las características de las figuras empleadas en las visualizaciones de algoritmos, en concreto las que se emplean en la técnica de programación dinámica. Gracias a la consecución de los hitos marcados, se han obtenido las siguientes conclusiones de los resultados obtenidos del proceso de análisis realizado:

- Hay problemas que se apoyan más y se comprenden mejor con ilustraciones gráficas (p.ej. problemas de árboles o de grafos). El objetivo de ilustrar el enunciado se da en estos casos con mayor frecuencia que en otros problemas.
- La técnica de diseño de programación dinámica tiene representaciones específicas para la ejecución no lineal, y estas son las tablas. Estas representaciones también se utilizan en diseños, para llevar a cabo explicaciones.
- En la técnica de diseño de programación dinámica, se utilizan tablas y, en menor medida, árboles de recursión y grafos de dependencia.
  - Las tablas se utilizan principalmente para problemas de cadenas, matemáticos y de planificación.
  - Los árboles de recursión se usan sólo en problemas matemáticos y de optimización.
- Las ilustraciones cuyo objetivo de visualización es el diseño suelen ser genéricas y estar simplificadas.

- El objetivo más común es ilustrar ejecuciones (es decir, el comportamiento de algoritmos). El diseño tiene un peso mayor en las tablas.

## 5.2 Futuros proyectos

Una vez finalizado el trabajo llevado a cabo en este proyecto se dejan puertas abiertas a mejoras, ampliaciones y otros desarrollos que complementen la labor acometida hasta este momento. Algunos posibles frentes sobre los que se puede actuar son:

- Validación de las conclusiones con el análisis de otras técnicas de diseño de algoritmos.

Todo el proceso descrito en esta memoria para identificar principios de diseño en visualizaciones de algoritmos, más en concreto en algoritmos de programación dinámica, se ha realizado también para otras dos técnicas: divide y vencerás y vuelta atrás. Estos tres trabajos para identificar principios de diseño se han ido desarrollando de forma paralela en el tiempo pero no de forma independiente. En el proceso se han homogeneizado las categorías de catalogación para las tres técnicas. Por lo tanto, una posible línea de trabajo sería validar las conclusiones obtenidas comparando con los resultados del análisis de otras técnicas de diseño como la de algoritmos voraces.

- Formulación de principios de diseño

En este proyecto se ha trabajado para identificar principios de diseño para visualizaciones de algoritmos de la técnica de programación dinámica. Una futura línea de trabajo sería formular un conjunto de principios de diseño, que fuera válido para cualquier diseño de un algoritmo.

Se puede decir que ya se han comenzado a dar los primeros pasos dirigidos a esta línea de trabajo, puesto que todo el proceso de trabajo explicado en este proyecto se ha llevado también a cabo con otras dos técnicas de diseño: divide y vencerás y vuelta atrás. Como se indicaba en el punto anterior, se han homogeneizado las categorías de catalogación para las tres técnicas, y se han obtenido características

comunes de visualización que podrían aplicarse de una forma más general para el diseño de algoritmos.

- Especificación de características del sistema de visualización de algoritmos.

En el diseño de un sistema de visualización de algoritmos, por un lado se deberían establecer los objetivos de aprendizaje, que se podrían especificar según la taxonomía de Bloom revisada y por otro lado se deberían establecer las características que va a tener ese sistema de visualización.

En el caso de un sistema de visualización de algoritmos de programación dinámica, se implementaría una metodología para el desarrollo de los algoritmos. A grandes rasgos se pueden prever los pasos que se deberían llevar a cabo:

- Desarrollo de un algoritmo recursivo múltiple con redundancia (organizado en etapas)
  - Visualización y análisis del árbol de recursión para identificar redundancias
  - Transformación del árbol de recursión en un grafo de dependencias
  - Identificación de una secuencia de cálculo alternativa que respetara las dependencias y su transformación en un algoritmo iterativo
  - Correspondencia entre la nueva secuencia de cálculo y un vector (y sus índices) que se utilizaría como tabla del algoritmo de programación dinámica
- Desarrollo y evaluación de un sistema de visualización e interactivo para el aprendizaje de la técnica de programación dinámica.

Una de las líneas más ambiciosas podría ser el desarrollo de un sistema de visualización interactivo para el aprendizaje de la técnica de programación dinámica. Por lo general, los alumnos suelen presentar dificultades en la comprensión de técnicas de diseño de algoritmos. Con esta herramienta el alumno podría obtener visualizaciones de la técnica de programación dinámica e interactuar con los algoritmos, lo que podría facilitar su entendimiento.

En el proceso de desarrollo, el sistema podría basarse en la herramienta SREC, dado que debe visualizar la recursividad. SREC es un sistema educativo para la animación de la recursividad y forma parte de las aplicaciones educativas para el aprendizaje de técnicas de diseño de algoritmos del grupo de investigación LITE de la URJC.

Una vez desarrollado el sistema, habría que realizar la evaluación del mismo en relación a la usabilidad de la herramienta así como en relación a su eficacia educativa.

### **5.3 Conclusiones personales**

Las visualizaciones que se emplean en las diferentes técnicas de diseño de algoritmos agregan perspectivas adicionales cuyo fin es mejorar la comprensión por parte del individuo que las visualiza. Siempre he agradecido que el profesor en clase empleara visualizaciones, normalmente realizadas de forma manual en la pizarra, especialmente en clases de diseño de algoritmos. Creo que las visualizaciones de algoritmos pueden hacer más eficiente la percepción y comprensión de la información que se quiere transmitir, en este caso el algoritmo y su comportamiento. Bajo mi punto de vista las visualizaciones de algoritmos son un ámbito poco explotado, y por tanto se hacen necesarios trabajos como el que se ha llevado a cabo en este proyecto, en donde se analizan las características de las figuras empleadas en las visualizaciones de algoritmos como un primer paso en la búsqueda de principios básicos para elaborar visualizaciones que se puedan emplear en el ámbito educativo.

El tiempo de desarrollo de este proyecto ha sido aproximadamente de dos años y durante todo el proceso lo he compaginado con estudios y actividad laboral. Inicialmente me era más fácil compaginar el desarrollo del proyecto con la actividad laboral, puesto que esta última se desarrollaba en la propia Universidad. En los últimos meses, debido a un cambio de puesto de trabajo fuera del ámbito de la Universidad, me ha resultado bastante difícil poder compaginar ambas actividades, por lo que la finalización de este proyecto se ha prolongado más de lo planificado inicialmente.

Durante el desarrollo del proyecto he participado en las aportaciones que se listan a continuación:

- Informe técnico - Revisión Bibliográfica de Algoritmos de Programación Dinámica, Belén Sáenz Rubio y J. Ángel Velázquez Iturbide [22]
- Comunicación del SIIE - Identificación de Principios Gráficos para la Visualización de Técnicas de Diseño de Algoritmos [24]
- Artículo de IEEE-RITA - Un Análisis de Ilustraciones Impresas de Tres Técnicas de Diseño de Algoritmos [25]

Este proyecto me ha hecho crecer profesionalmente, abriéndome las puertas en el campo de la investigación. Hasta ahora los trabajos y proyectos que había llevado a cabo se habían centrado en aspectos más técnicos, orientados al desarrollo e implementación de soluciones. En este caso, he tenido que realizar un trabajo de investigación, desde la recopilación de las imágenes, recogida de información auxiliar así como el proceso iterativo en diferentes rondas de análisis de las ilustraciones recopiladas. Cabe destacar que este proceso iterativo, ha resultado ser muy laborioso, puesto que se debía catalogar cada una de las imágenes en cada una de las categorías definidas en ese momento. Hay que tener en cuenta que el conjunto de las categorías ha ido evolucionando a lo largo del análisis, entre otras razones para llegar a una catalogación homogénea entre las tres técnicas de diseño (divide y vencerás, vuelta atrás y programación dinámica). Esta circunstancia ha hecho que el proceso de análisis y catalogación de figuras fuera más tedioso de lo esperado inicialmente.

También me gustaría destacar el trabajo realizado en el proceso de homogeneización de las categorías de catalogación. En los análisis iniciales aparecían categorías muy concretas asociadas a características particulares de las diferentes técnicas y estas se han ido adaptando para abarcar en la mayor medida posible las visualizaciones de las tres técnicas analizadas.



---

# Bibliografía

---

## Libros de figuras analizadas

- [1] Alsuwaiyel, M. H. (1999). Algorithms, design techniques and analysis. World Scientific
- [2] Brassard, G., Bratley, P. (1997). Fundamentos de algoritmia. Prentice Hall
- [3] Cormen, T.H., Leiserson, C.E., Rivest, R.L. (2005). Introduction to algorithms. The MIT Press.
- [4] Lee, R.C.T., Tseng, S.S., Chang R.C., Tsai, Y.T. (2007). Introducción al diseño y análisis de algoritmos, un enfoque estratégico. McGraw-Hill
- [5] Sahni, S. (2005). Data structures, Algorithms and Applications in Java. Silicon Press
- [6] Parberry, I. (2002). Problems on Algorithms. Prentice-Hall.
- [7] Horowitz, E. y Sahni, S. (1999). Fundamentals of Computer Algorithms. Pitman
- [8] Neapolitan R. y Naimipour K. (2004). Foundations of Algorithms. Jones and Bartlett
- [9] Skiena, S. (2008). The Algorithm Design Manual. Springer-Verlag
- [10] Goodrich, M. T. y Tamassia, R. (1998). Data Structures and Algorithms in Java. John Wiley & Sons.
- [11] Martí Oliet, N., Ortega, Y. y Verdejo, J. A. (2004). Estructuras de datos y métodos algorítmicos: ejercicios resueltos. Prentice Hall
- [12] Sedgewick, R. (2002). Algorithms in Java. Addison-Wesley
- [13] Baase, S., y Van Gelder, A. (1999). Computer Algorithms: Introduction to Design and Analysis. Addison-Wesley
- [14] McAllister, W. (2009). Data Structures and Algorithms using Java. Jones and Bartlett.

## Otras referencias

- [15] Stasko, J., Domingue, J., Brown, M. y Price, B. (1998). Software Visualization: Programming as a Multimedia Experience. MIT Press
- [16] Foley, J., Ribarsky, W. (1994). Next-generation Data Visualization Tools. Scientific Visualization: Advances and Challenges. Ed. L. Rosenblum, et al. London: Academic Press.
- [17] Price B., Beacker R., Small I. (1999). An Introduction to Software Visualization. Mit Press. 1998. Springer-Verlag.
- [18] Tufte, E. (1983). The Visual Display of Quantitative Information. Graphics Press, Cheshire, CT.
- [19] Norman, D., (1983). Some observations on mental models, en Mental Models, D. Gentner and A. Stevens, Eds. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- [20] Agrawala, M., Li, W., y Berthouzoz, F., (Abril 2011). Design principles for visual communication. Communications of the ACM, vol. 54, no. 4, pp. 60-69.
- [21] Clinton L., Jeffreery, (1999). Program Monitoring and Visualization. An Exploratory Approach. Springer-Verlag. Chapter 3, pag. 27.
- [22] Sáenz Rubio, B., Velázquez Iturbide, J. Á. (2012). Revisión bibliográfica de algoritmos de programación dinámica. Serie de Informes Técnicos DLSII-URJC, no. 2012-04.
- [23] Glaser, B., y Strauss, B. (1967). The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research. Aldine.
- [24] Esteban N., Pérez A., Sáenz, B., Velázquez, J. A. (2012). Towards the identification of graphical principles for visualizing algorithm design techniques. *2012 International*

- Symposium on Computers in Education (SIIE)*, Francisco José García, Lluís Vicent, Miquel Ribó, August Climent, José Luis Sierra y Antonio Sarasa (eds.), IEEE Computer Society Press, 5 págs. Print ISBN:978-1-4673-4743-3, INSPEC Accession Number: 13247352.
- [25] Esteban N., Pérez A., Sáenz, B., Velázquez, J. A. (2013). Un análisis de ilustraciones impresas de tres técnicas de diseño de algoritmos. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, IEEE-RITA*, 2013, Aceptado.

---

# Anexo A

## Caso práctico

---

Se incluye como anexo el cuestionario sobre visualización de algoritmos que realizaron los alumnos de la asignatura de Diseño y Análisis de Algoritmos del Grado de Ingeniería Informática así como el análisis de los datos recogidos. El cuestionario lo realizaron un total de 82 alumnos, 67 correspondientes al campus de Móstoles y 15 del campus de Vicálvaro.

### 1. Enunciado del cuestionario

#### Test -Visualización de Algoritmos

##### Algoritmo de Ordenación Rápida: QuickSort

De forma resumida, podemos explicar el algoritmo de ordenación rápida de la forma siguiente. Sea un vector con más de una celda. Se toma un elemento del vector como referencia (p.ej. el elemento de la izquierda), llamado elemento pivote. Los elementos del vector se reparten en dos partes, una que contiene los elementos menores que el pivote y otra que contiene los elementos mayores que el pivote. Una vez determinadas ambas partes, el elemento pivote se coloca en medio y cada parte se ordena recursivamente. Como resultado, el vector queda ordenado completamente.

El método auxiliar de partición suele ser un algoritmo iterativo que va colocando los elementos menores que el pivote a la izquierda del vector y los mayores a la derecha. Para ello, va hallando pares de elementos descolocados (es decir, un elemento menor que el pivote situado a la derecha y un elemento mayor situado a la izquierda) y los intercambia. Al final, también intercambia el pivote con el elemento menor situado más a la derecha. De esta forma, el pivote queda colocado entre los elementos menores y mayores.

El algoritmo puede implementarse de varias formas. A continuación incluimos una posible implementación:

```
public static void quickSort (int[] v) {
    ordenarRápido (v, 0, v.length-1);
}

public static void ordenarRápido (int[] v, int inf, int sup) {
    if (inf<sup) {
        int med = partir (v, inf, sup);
    }
}
```

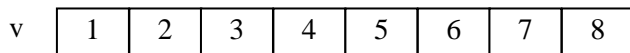
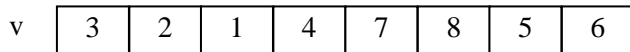
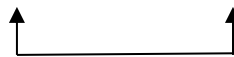
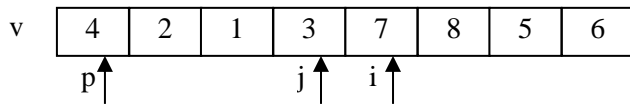
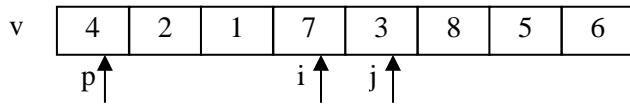
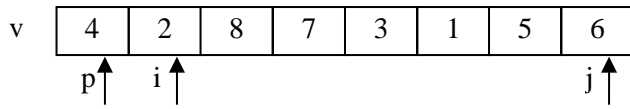
```
        if (inf<med) ordenarRápido (v, inf, med-1);
        if (med<sup) ordenarRápido (v, med+1, sup);
    }
}

public static int partir (int[] v, int inf, int sup) {
    int p = v[inf];
    int i = inf+1;
    int j = sup;
    int temp;
    do {
        for (; v[i]<=p && i<sup; i++);
        for (; v[j] >p ; j--);
        if (i<j) {
            temp = v[i];
            v[i] = v[j];
            v[j] = temp;
        }
    } while (i<j);
    temp = v[inf];
    v[inf] = v[j];
    v[j] = temp;
    return j;
}
```

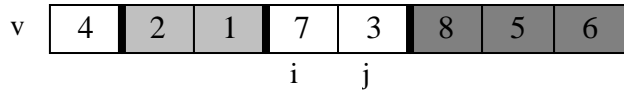
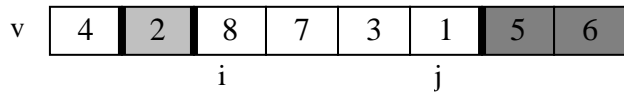
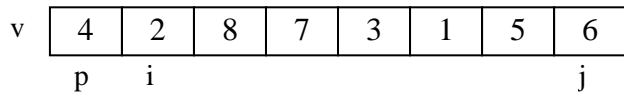
Se pide:

1. Sea el siguiente vector de tamaño 8: {4,2,8,7,3,1,5,6}. Analice el comportamiento del algoritmo utilizando las figuras de las páginas siguientes. Se trata de siete figuras iguales, aunque con diferente estilo gráfico. Puntúe con un valor del 1 al 5 la utilidad de las figuras para comprender el comportamiento del algoritmo para este ejemplo, siendo: 1 – nada útil, y 5 – totalmente útil.

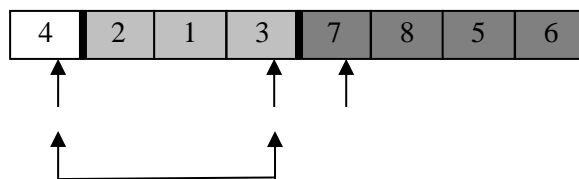
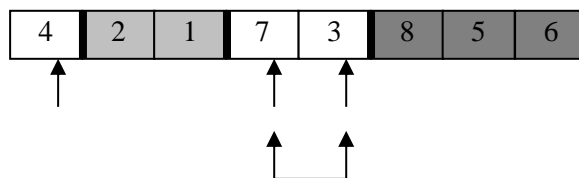
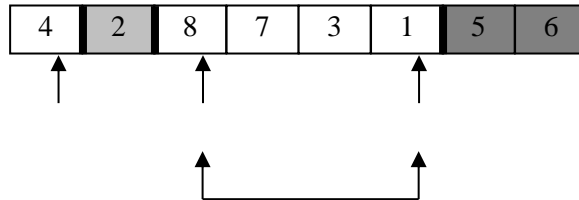
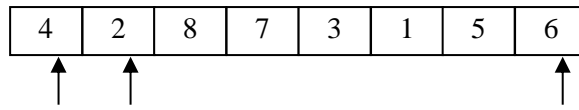
(Versión EF)



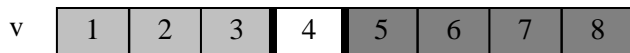
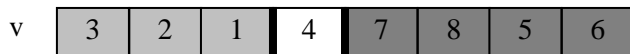
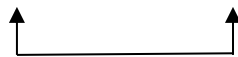
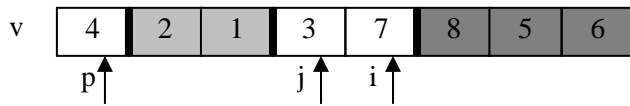
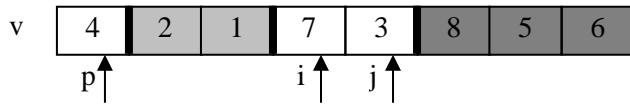
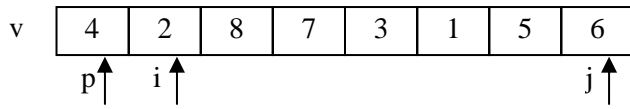
(Versión ES)



(Versión FS)



(Versión EFS)





(Versión E)

v 

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 2 | 8 | 7 | 3 | 1 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

p          i    j

i    j

v 

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 2 | 1 | 7 | 3 | 8 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

p    i          j

v 

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 2 | 1 | 3 | 7 | 8 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

p    j          i

v 

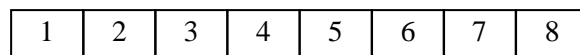
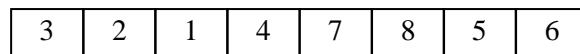
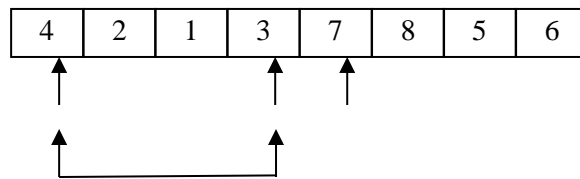
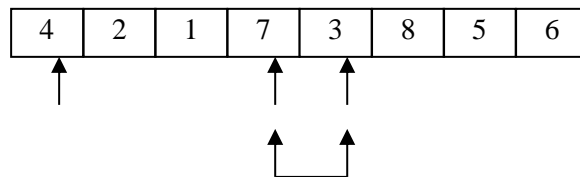
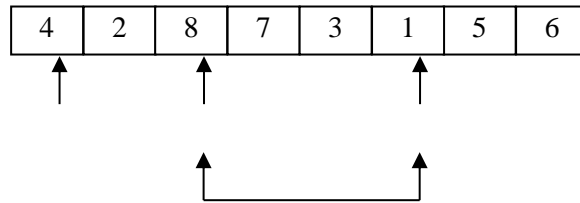
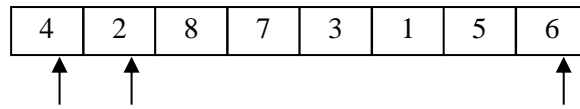
|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 2 | 1 | 4 | 7 | 8 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

v 

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|



(Versión F)



(Versión S)

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 2 | 8 | 7 | 3 | 1 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 2 | 1 | 7 | 3 | 8 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 2 | 1 | 3 | 7 | 8 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 2 | 1 | 4 | 7 | 8 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

## Hoja de respuestas

1.- Puntúe con un valor del 1 al 5 la utilidad de las figuras para comprender el comportamiento del algoritmo para el ejemplo dado, siendo:  
 1 – nada útil, y 5 – totalmente útil.

| Versión de la Visualización | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Versión</b> .....        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>Versión</b> .....        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>Versión</b> .....        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>Versión</b> .....        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>Versión</b> .....        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>Versión</b> .....        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>Versión</b> .....        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

## 2. Respuestas

- Respuestas recogidas de los alumnos del campus de Móstoles (Figura A-1)

| 1  | A                      | B       | C   | D   | E   | F   | G   | H   |  |
|----|------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 1  | <b>VISUALIZACIONES</b> |         |     |     |     |     |     |     |  |
| 2  | Alumno                 | Versión |     |     |     |     |     |     |  |
| 3  |                        | E       | S   | F   | ES  | EF  | FS  | EFS |  |
| 4  | Rubén M...             | 4       | 4   | 3   | 3   | 4   | 3   | 4   |  |
| 5  | Alejandro W...         | 1       | 2   | 4   | 4   | 2   | 4   | 5   |  |
| 6  | Cristina G...          | 2       | 4   | 2   | 3   | 3   | 5   | 4   |  |
| 7  | Mario U...             | 3       | 2   | 1   | 4   | 3   | 3   | 5   |  |
| 8  | Fernando G...          | 4       | 2   | 4   | 3   | 4   | 4   | 5   |  |
| 9  | Miguel W...            | 1       | 2   | 3   | 2   | 3   | 4   | 5   |  |
| 10 | Alejandro C...         | 2       | 2   | 4   | 3   | 5   | 3   | 2   |  |
| 11 | Raúl C...              | 2       | 3   | 4   | 4   | 2   | 4   | 4   |  |
| 12 | Rubén C...             | 2       | 1   | 5   | 3   | 5   | 5   | 5   |  |
| 13 | Eladio h...            | 3       | 4   | 2   | 3   | 3   | 3   | 4   |  |
| 14 | Luis B...              | 3       | 2   | 4   | 2   | 5   | 5   | 3   |  |
| 15 | José Mi...             | 1       | 3   | 3   | 3   | 2   | 4   | 4   |  |
| 16 | Miriam G...            | 3       | 1   | 5   | 5   | 4   | 2   | 4   |  |
| 17 | David I...             | 3       | 4   | 3   | 4   | 4   | 4   | 4   |  |
| 18 | Cristina C...          | 3       | 3   | 3   | 2   | 4   | 5   | 1   |  |
| 19 | Rubén E...             | 2       | 3   | 3   | 4   | 2   | 4   | 2   |  |
| 68 | Andrés U...            | 1       | 2   | 3   | 3   | 3   | 4   | 4   |  |
| 69 | Pedro R...             | 3       | 2   | 3   | 4   | 4   | 3   | 5   |  |
| 70 | Alejandro N...         | 2       | 2   | 2   | 4   | 2   | 4   | 5   |  |
| 71 |                        |         |     |     |     |     |     |     |  |
| 72 | <b>TOTAL</b>           | 141     | 136 | 200 | 216 | 228 | 258 | 280 |  |

Figura A-1: Respuestas de cuestionario del campus de Móstoles

- Respuestas recogidas de los alumnos del campus de Vicálvaro (Figura A-2)

| 1  | A                      | B       | C  | D  | E  | F  | G  | H   |  |
|----|------------------------|---------|----|----|----|----|----|-----|--|
| 1  | <b>VISUALIZACIONES</b> |         |    |    |    |    |    |     |  |
| 2  | Alumno                 | Versión |    |    |    |    |    |     |  |
| 3  |                        | E       | S  | F  | ES | EF | FS | EFS |  |
| 4  | Samuel A...            | 2       | 2  | 3  | 2  | 4  | 4  | 4   |  |
| 5  | Enrique S...           | 1       | 3  | 3  | 3  | 4  | 4  | 5   |  |
| 6  | Sergio M...            | 2       | 3  | 2  | 5  | 3  | 5  | 5   |  |
| 7  | Mario M...             | 1       | 2  | 3  | 2  | 1  | 4  | 5   |  |
| 8  | Carlos T...            | 5       | 4  | 5  | 4  | 3  | 2  | 3   |  |
| 9  | Rodrigo A...           | 2       | 3  | 2  | 5  | 3  | 4  | 4   |  |
| 10 | Marta A...             | 2       | 5  | 3  | 4  | 3  | 3  | 5   |  |
| 11 | Luciano C...           | 2       | 1  | 3  | 3  | 4  | 3  | 5   |  |
| 12 | Sergio U...            | 2       | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  | 5   |  |
| 13 | Óscar T...             | 2       | 2  | 1  | 3  | 3  | 4  | 4   |  |
| 14 | César B...             | 3       | 3  | 3  | 3  | 1  | 5  | 2   |  |
| 15 | Rocío P...             | 3       | 3  | 3  | 3  | 2  | 4  | 2   |  |
| 16 | Ismael E...            | 3       | 2  | 4  | 2  | 5  | 3  | 4   |  |
| 17 | Jorge M...             | 3       | 3  | 2  | 3  | 2  | 5  | 2   |  |
| 18 | Marco C...             | 3       | 2  | 5  | 5  | 4  | 5  | 3   |  |
| 19 |                        |         |    |    |    |    |    |     |  |
| 20 | <b>Total</b>           | 36      | 41 | 45 | 51 | 46 | 59 | 58  |  |

Figura A-2: Respuestas de cuestionario del campus de Vicálvaro

### 3. Análisis de resultados

El cuestionario lo han realizado un total de 82 alumnos, 15 correspondientes al campus de Vicálvaro y 67 del campus de Móstoles.

Los cuestionarios contienen 7 visualizaciones diferentes de la explicación del comportamiento del algoritmo de ordenación rápida – Quicksort para un ejemplo dado. Las diferentes visualizaciones aparecen en los cuestionarios en un orden aleatorio.

De cada tipo de visualización se le ha pedido al alumno que indique el nivel de satisfacción de cada una de ellas. A continuación se muestran las variables analizadas y los posibles valores que éstas pueden tomar:

- el nivel de satisfacción de las visualizaciones:

- 1 – Nada de acuerdo
- 2 – Poco de acuerdo
- 3 – De acuerdo
- 4 – Muy de acuerdo
- 5 – Totalmente de acuerdo

- y los diferentes tipos de visualizaciones:

- E- Etiquetas
- S- Sombreado
- F- Flechas
- ES- Etiquetas y Sombreado
- EF- Etiquetas y Flechas
- FS- Flechas y Sombreado
- EFS- Etiquetas, Flechas y Sombreado

Con los resultados de los cuestionarios de los alumnos se ha realizado un análisis descriptivo, que permite a priori tener una idea general de los datos recogidos. Para realizar el análisis se ha empleado la herramienta SPSS.

A continuación se muestran las tablas obtenidas con SPSS como resultado del análisis descriptivo (Tabla A-1 y Tabla A-2), así como un gráfico de sectores del comportamiento de la variable satisfacción (Figura A-3):

**Estadísticos**

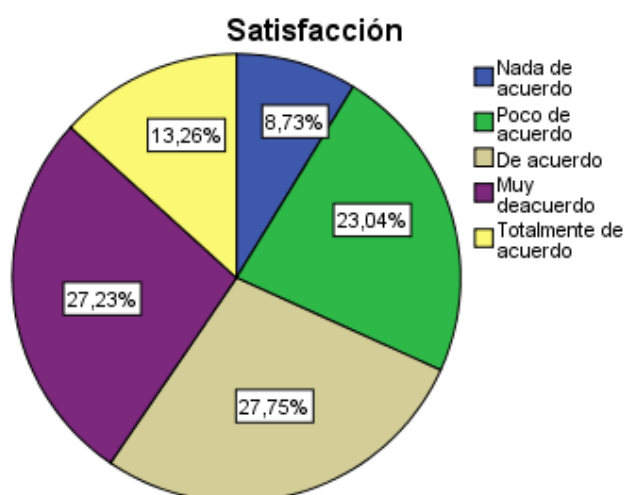
|         |          | Satisfacción |
|---------|----------|--------------|
| N       | Válidos  | 573          |
|         | Perdidos | 1            |
| Mediana |          | 3,00         |
| Moda    |          | 3            |

**Tabla A-1: Tabla de estadísticos**

**Satisfacción**

|          |                       | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|-----------------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válidos  | Nada de acuerdo       | 50         | 8,7        | 8,7               | 8,7                  |
|          | Poco de acuerdo       | 132        | 23,0       | 23,0              | 31,8                 |
|          | De acuerdo            | 159        | 27,7       | 27,7              | 59,5                 |
|          | Muy de acuerdo        | 156        | 27,2       | 27,2              | 86,7                 |
|          | Totalmente de acuerdo | 76         | 13,2       | 13,3              | 100,0                |
|          | Total                 | 573        | 99,8       | 100,0             |                      |
| Perdidos | 0                     | 1          | ,2         |                   |                      |
| Total    |                       | 574        | 100,0      |                   |                      |

**Tabla A-2: Tabla de frecuencias de la variable satisfacción**



**Figura A-3: Gráfico de sectores de la variable satisfacción**

Se puede observar que se han recogido un total de 573 datos, de los cuales 1 de ellos es un valor perdido, esto se debe a que un alumno no valoró una de las visualizaciones. El valor de satisfacción que tiene mayor frecuencia absoluta (moda) es 3- *De acuerdo*, que coincide con la mediana. Y el valor de satisfacción que menos se ha empleado es el 1- *Nada de acuerdo*.

Los alumnos están de acuerdo de forma positiva (considerándose las categorías 3-De acuerdo, 4-Muy de acuerdo y 5-Totalmente de acuerdo) con un 68,1% de las visualizaciones mostradas, frente a un 31,7% de las visualizaciones con las que los alumnos no están satisfechos (considerándose las categorías 1-Nada de acuerdo y 2-Poco de acuerdo).

Se ha obtenido con SPSS un gráfico de barras (Figura A-4), en donde se puede visualizar la distribución del grado de satisfacción (de 1-Nada de acuerdo a 5-Totalmente de acuerdo) en las diferentes visualizaciones (E, S, F, ES, EF, FS EFS).

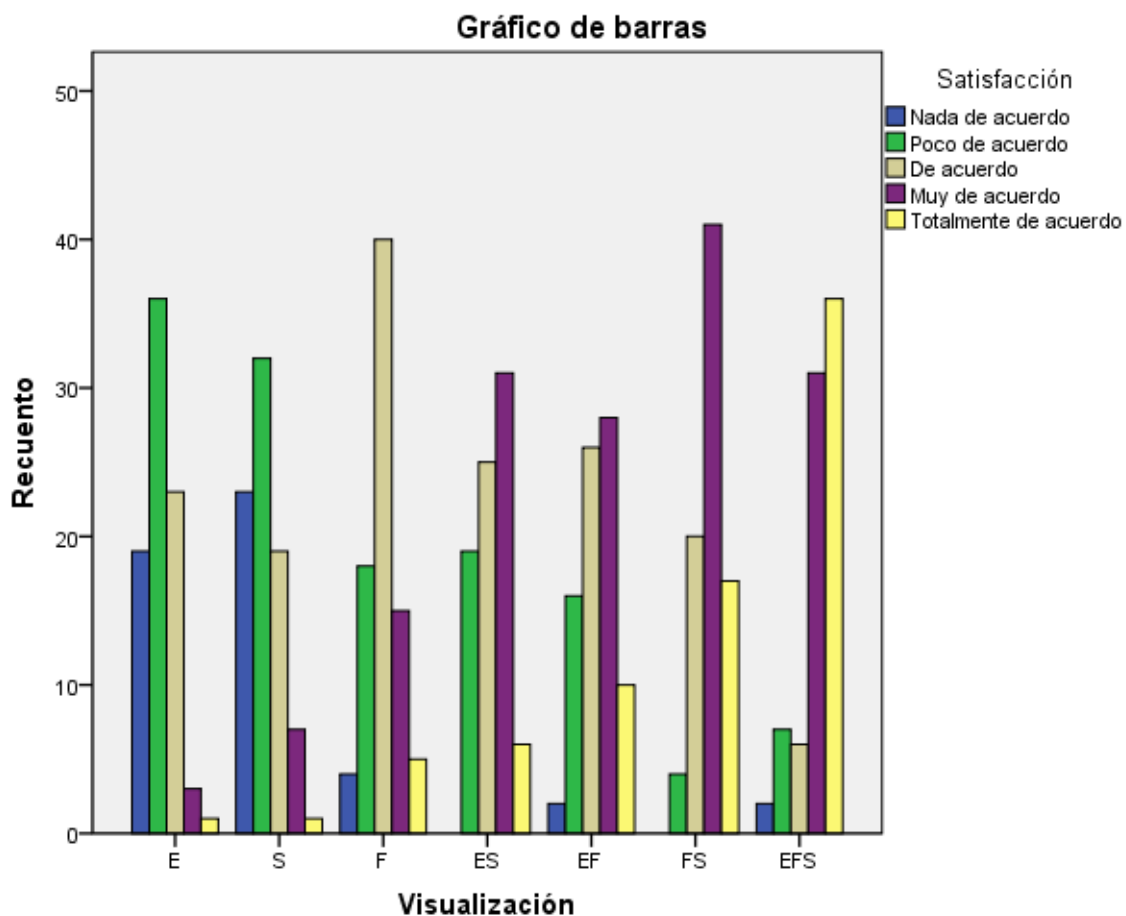


Figura A-4: Gráfico de barras de variable satisfacción



En el gráfico de barras se puede observar cómo según se va aumentando el número de elementos en la visualización, el grado de satisfacción de los alumnos aumenta (creciendo las categorías Muy de acuerdo y Totalmente de acuerdo y disminuyendo las categorías de Nada de acuerdo y Poco de acuerdo).

Para poder observar cómo se distribuyen los diferentes niveles de satisfacción (nada de acuerdo, poco de acuerdo, muy de acuerdo, totalmente de acuerdo) entre las visualizaciones mostradas a los alumnos (E, S, F, ES, EF, FS, EFS) se ha obtenido con SPSS la Tabla de Contingencia Visualización \* Satisfacción (Tabla A-3).

**Tabla de contingencia Visualización \* Satisfacción**

|               |                           | Satisfacción              |                 |            |                |                       | Total  |        |
|---------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|------------|----------------|-----------------------|--------|--------|
|               |                           | Nada de acuerdo           | Poco de acuerdo | De acuerdo | Muy de acuerdo | Totalmente de acuerdo |        |        |
| Visualización | E                         | Recuento                  | 19              | 36         | 23             | 3                     | 1      | 82     |
|               |                           | % dentro de Visualización | 23,2%           | 43,9%      | 28,0%          | 3,7%                  | 1,2%   | 100,0% |
|               | S                         | Recuento                  | 23              | 32         | 19             | 7                     | 1      | 82     |
|               |                           | % dentro de Visualización | 28,0%           | 39,0%      | 23,2%          | 8,5%                  | 1,2%   | 100,0% |
|               | F                         | Recuento                  | 4               | 18         | 40             | 15                    | 5      | 82     |
|               |                           | % dentro de Visualización | 4,9%            | 22,0%      | 48,8%          | 18,3%                 | 6,1%   | 100,0% |
|               | ES                        | Recuento                  | 0               | 19         | 25             | 31                    | 6      | 81     |
|               |                           | % dentro de Visualización | ,0%             | 23,5%      | 30,9%          | 38,3%                 | 7,4%   | 100,0% |
|               | EF                        | Recuento                  | 2               | 16         | 26             | 28                    | 10     | 82     |
|               |                           | % dentro de Visualización | 2,4%            | 19,5%      | 31,7%          | 34,1%                 | 12,2%  | 100,0% |
|               | FS                        | Recuento                  | 0               | 4          | 20             | 41                    | 17     | 82     |
|               |                           | % dentro de Visualización | ,0%             | 4,9%       | 24,4%          | 50,0%                 | 20,7%  | 100,0% |
|               | EFS                       | Recuento                  | 2               | 7          | 6              | 31                    | 36     | 82     |
|               |                           | % dentro de Visualización | 2,4%            | 8,5%       | 7,3%           | 37,8%                 | 43,9%  | 100,0% |
| Total         | Recuento                  | 50                        | 132             | 159        | 156            | 76                    | 573    |        |
|               | % dentro de Visualización | 8,7%                      | 23,0%           | 27,7%      | 27,2%          | 13,3%                 | 100,0% |        |

**Tabla A-3: Tabla de contingencia visualización - satisfacción**

También se muestra el nivel de satisfacción por cada tipo de visualización (E, S, F, ES, EF, FS, EFS) de forma gráfica mediante varios gráficos de sectores (Figura A-5).

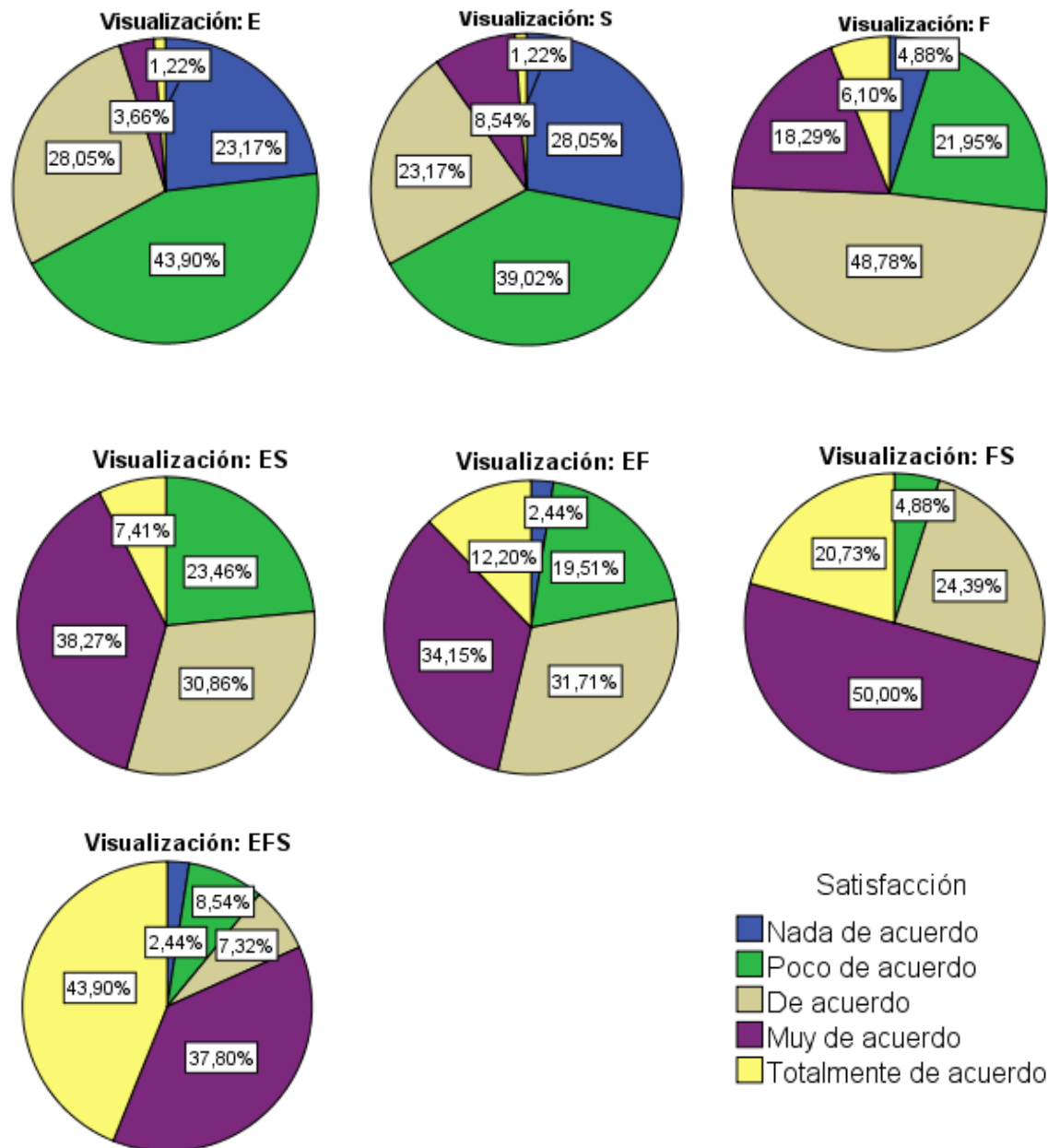


Figura A-5: Gráficos de sectores de la variable satisfacción por tipo de visualización

Las visualizaciones que únicamente emplean un elemento (E-Etiqueta, S-Sombra, F-Flecha), son de menor agrado para los alumnos (considerándose las categorías 1-Nada de acuerdo y 2-Poco de acuerdo). En concreto, la mayoría de las visualizaciones E y S, un 67.07%, son catalogadas por los alumnos como 1-Nada de acuerdo y 2-Poco de acuerdo. Sin embargo, las visualizaciones que emplean únicamente el elemento F-Flecha, a diferencia de los casos anteriores, sólo registra un 26.83% catalogadas por los alumnos como 1-Nada de acuerdo y 2-Poco de acuerdo. En este caso, las visualizaciones con un único elemento F-Flecha destacan por registrar un 73,17% en un

nivel de acuerdo favorable (considerándose las categorías 3-De acuerdo 48,78%, 4-Muy de acuerdo 18,29%, 5-Totalmente de acuerdo 6,10%).

En las visualizaciones que emplean dos elementos (ES – Etiqueta Sombra, EF – Etiqueta Flecha y FS – Flecha Sombra) destaca el aumento en la categoría 4- Muy de acuerdo, (ES 38,27%, EF 34,15% y FS 50%), así como en 5-Totalmente de acuerdo (ES 7,41%, EF 12,20%, FS 20,73%). Cabe destacar que en las visualizaciones de ES – Etiqueta Sombra y FS – Flecha Sombra, ningún alumno ha empleado la categoría 1- Nada de acuerdo.

Para finalizar, la visualización que emplea tres elementos (EFS – Etiqueta Flecha Sombra), es la que mayor porcentaje de agrado ha recibido por parte de los alumnos 89,02% (considerándose las categorías 3-De acuerdo 7,32%, 4-Muy de acuerdo 37,80% y 5-Totalmente de acuerdo 43,90%). En esta visualización destaca el aumento que experimenta la categoría 5-Totalmente de acuerdo 43,90%, la que representa el mayor nivel de agrado por parte de los alumnos.

Para identificar relaciones de dependencia entre las variables Visualización (E, F, S, ES, EF, SF, EFS) y Satisfacción (nada de acuerdo, poco de acuerdo, muy de acuerdo, totalmente de acuerdo), se utiliza un contraste estadístico basado en el estadístico  $\chi^2$  (Chi-cuadrado). El cálculo de *Chi-cuadrado* permite afirmar, con un nivel de confianza estadístico determinado, si los niveles de una de las variables influyen en los niveles de la otra.

La prueba *Chi-cuadrado* se aplica para contrastar la hipótesis nula. La hipótesis nula a contrastar es la de independencia entre las variables, siendo la hipótesis alternativa la de dependencia entre estas.

H0 = las variables visualización y satisfacción son independientes

A continuación se muestra la tabla obtenida en SPSS al realizar la prueba de *Chi-cuadrado* (Tabla A-4):

## Pruebas de chi-cuadrado

|                              | Valor                | gl | Sig. asintótica (bilateral) |
|------------------------------|----------------------|----|-----------------------------|
| Chi-cuadrado de Pearson      | 287,632 <sup>a</sup> | 24 | ,000                        |
| Razón de verosimilitudes     | 292,501              | 24 | ,000                        |
| Asociación lineal por lineal | 199,854              | 1  | ,000                        |
| N de casos válidos           | 573                  |    |                             |

a. 0 casillas (,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es 7,07.

**Tabla A-4: Tabla de pruebas de chi-cuadrado**

En la tabla se puede observar que el grado de significación asociada a este estadístico es 0,000 (menor o igual a 0.01), por lo que se rechaza la hipótesis nula o hipótesis de independencia. Por lo tanto, se puede decir según los datos recogidos, existe una dependencia entre las visualizaciones y el grado de satisfacción.

También se ha realizado un análisis para ver el grado de asociación entre las dos variables. A continuación se muestra la tabla obtenida en SPSS (Tabla A-5):

## Medidas simétricas

|                              | Valor | Sig. aproximada |
|------------------------------|-------|-----------------|
| Nominal por nominal Phi      | ,709  | ,000            |
| V de Cramer                  | ,354  | ,000            |
| Coefficiente de contingencia | ,578  | ,000            |
| N de casos válidos           | 573   |                 |

**Tabla A-5: Tabla de pruebas de medidas simétricas**

El *coeficiente de Phi* permite evaluar el grado de asociación entre las dos variables (Visualización - Satisfacción), en este caso al tratarse de una tabla mayor de 2x2 es más recomendable fijarse en el *Coefficiente de contingencia*, que es una extensión de Phi para tablas de mayor tamaño. Este valor no se encuentra normalizado, oscila entre 0 para casos de no asociación y Cmax, valor que nunca llega a 1. En la tabla se puede observar que el valor que toma el *Coefficiente de contingencia* 0.57 se encuentra más cercano a 1 que a 0, por lo que podemos suponer asociación entre las variables.

La *V de Cramer* es también una extensión del coeficiente de Phi, en este caso si se encuentra normalizada, pudiendo tomar valores entre 0 y 1. Valores cercanos a 0 indican no asociación y los próximos a 1 fuerte asociación. El valor obtenido de *V de Cramer* 0.354 denota una asociación débil entre las variables.

## 4. Conclusión

En el análisis descriptivo se puede observar una tendencia de aumento en el nivel de satisfacción según se emplea un mayor número de elementos en las visualizaciones. En el caso en el que únicamente se emplea un elemento (E- Etiqueta, F-Flecha, S-Sombra), según los datos recogidos, el uso de la flecha es más satisfactorio para los alumnos frente al uso de las etiquetas o la sombra. No obstante, como se indica inicialmente la visualización que emplea el uso de todos los elementos (EFS- Etiqueta, Flecha, Sombra) es la que más grado de satisfacción recibe.

Según los datos recogidos del análisis de dependencia entre las visualizaciones y el grado de satisfacción, mediante el estadístico de *Chi-cuadrado*, desprende que las variables son dependientes. Por otro lado, para analizar el grado de asociación entre las visualizaciones y el grado de satisfacción, según el *Coefficiente de contingencia* se puede indicar que existe asociación entre ellas, y como revela el estadístico *V de Cramer* el grado de asociación entre las variables es moderado.

---

## *Anexo B*

### **Tabla de Catalogación**

En este anexo se incluye la tabla de catalogación de las figuras analizadas. Debido al tamaño de esta tabla, para incluirla en este anexo se ha separado la información en dos tablas. En la primera tabla se ha incluido la catalogación de: clase de problema, objetivo, subobjetivo y generalidad. En la segunda tabla se ha incluido la información referente a la representación gráfica (representación del estado, representación del tiempo), la completitud de ésta y los atributos de representación empleados.

## Parte 1: Clase de problema, Objetivo, Subobjetivo y Generalidad

| Nº | Libro | Página/s | Problema               | Clase Problema | Objetivo  | Subobjetivo                   | Generalidad |
|----|-------|----------|------------------------|----------------|-----------|-------------------------------|-------------|
| 1  | [1]   | 207      | SCML                   | Cadenas        | Ejecución | Estado final+sec. óptima      | Concreta    |
| 2  | [3]   | 395      | SCML                   | Cadenas        | Ejecución | Estado final+dep.+sec. óptima | Concreta    |
| 3  | [4]   | 265      | SCML                   | Cadenas        | Ejecución | Estado final                  | Concreta    |
| 4  | [4]   | 266      | SCML                   | Cadenas        | Diseño    | Formato+dependencia           | Genérica    |
| 5  | [10]  | 504      | SCML                   | Cadenas        | Enunciado | Entrada/salida                | Concreta    |
| 6  | [10]  | 506      | SCML                   | Cadenas        | Ejecución | Estado final+sec. óptima      | Concreta    |
| 7  | [10]  | 506      | SCML                   | Cadenas        | Enunciado | Entrada/salida                | Concreta    |
| 8  | [11]  | 433      | Distancia edición      | Cadenas        | Diseño    | Formato+dependencia           | Genérica    |
| 9  | [4]   | 268      | Alineación 2 secs.     | Cadenas        | Ejecución | Estado final+dependencias     | Concreta    |
| 10 | [4]   | 268      | Alineación 2 secs.     | Cadenas        | Ejecución | Estado final+dependencias     | Concreta    |
| 11 | [9]   | 284      | Ajuste aproximado      | Cadenas        | Ejecución | Estado final+sec. óptima      | Concreta    |
| 12 | [9]   | 285      | Ajuste aproximado      | Cadenas        | Ejecución | Estado final+sec. óptima      | Concreta    |
| 13 | [9]   | 298      | Parsing                | Cadenas        | Ejecución | Estado final                  | Concreta    |
| 14 | [4]   | 271      | Apareamiento ARN       | Cadenas        | Ejecución | Varias salidas posibles       | Concreta    |
| 15 | [4]   | 273-4    | Apareamiento ARN       | Cadenas        | Diseño    | Ecuaciones recursivas         | Genérica    |
| 16 | [4]   | 275      | Apareamiento ARN       | Cadenas        | Ejecución | Estado final                  | Concreta    |
| 17 | [6]   | 93       | Procesador de lenguaje | Cadenas        | Ejecución | Ecuaciones recursivas         | Concreta    |
| 18 | [6]   | 94       | Procesador de lenguaje | Cadenas        | Ejecución | Ecuaciones recursivas         | Concreta    |
| 19 | [1]   | 216      | Caminos míns.          | Grafo          | Enunciado | Entrada                       | Concreta    |
| 20 | [1]   | 216      | Caminos míns.          | Grafo          | Ejecución | Estados intermedios           | Concreta    |
| 21 | [2]   | 302      | Caminos míns.          | Grafo          | Ejecución | Estados intermedios           | Concreta    |
| 22 | [2]   | 302      | Caminos míns.          | Grafo          | Enunciado | Entrada                       | Concreta    |
| 23 | [2]   | 304      | Caminos míns.          | Grafo          | Ejecución | Estado final                  | Concreta    |
| 24 | [7]   | 209      | Caminos míns.          | Grafo          | Enunciado | Entrada                       | Concreta    |
| 25 | [7]   | 209      | Caminos míns.          | Grafo          | Enunciado | Entrada representac.          | Concreta    |
| 26 | [7]   | 210      | Caminos míns.          | Grafo          | Enunciado | Entrada                       | Concreta    |
| 27 | [7]   | 210      | Caminos míns.          | Grafo          | Enunciado | Entrada representac.          | Concreta    |
| 28 | [7]   | 211      | Caminos míns.          | Grafo          | Ejecución | Estados intermedios           | Concreta    |
| 29 | [11]  | 423      | Caminos míns.          | Grafo          | Diseño    | Formato+dependencia           | Genérica    |

|    |      |       |                               |             |           |                           |          |
|----|------|-------|-------------------------------|-------------|-----------|---------------------------|----------|
| 30 | [4]  | 254   | Caminos míns.                 | Grafo       | Enunciado | Entrada/salida            | Concreta |
| 31 | [4]  | 254-6 | Caminos míns.                 | Grafo       | Ejecución | Ecuaciones recursivas     | Concreta |
| 32 | [8]  | 95    | Caminos míns.                 | Grafo       | Enunciado | Entrada                   | Concreta |
| 33 | [8]  | 97    | Caminos míns.                 | Grafo       | Enunciado | Entrada representac.      | Concreta |
| 34 | [8]  | 98    | Caminos míns.                 | Grafo       | Ejecución | Estado final              | Concreta |
| 35 | [8]  | 102   | Caminos míns.                 | Grafo       | Diseño    | Ecuaciones recursivas     | Genérica |
| 36 | [5]  | 819   | Caminos míns.                 | Grafo       | Ejecución | Estados intermedios       | Concreta |
| 37 | [12] | 310   | Caminos míns.                 | Grafo       | Ejecución | Estados intermedios       | Concreta |
| 38 | [12] | 310   | Caminos míns.                 | Grafo       | Ejecución | Estados intermedios       | Concreta |
| 39 | [7]  | 232   | Viajante                      | Grafo       | Enunciado | Entrada representac.      | Concreta |
| 40 | [7]  | 232   | Viajante                      | Grafo       | Enunciado | Entrada                   | Concreta |
| 41 | [8]  | 124   | Viajante                      | Grafo       | Enunciado | Entrada                   | Concreta |
| 42 | [8]  | 124   | Viajante                      | Grafo       | Enunciado | Entrada representac.      | Concreta |
| 43 | [2]  | 291   | Coefficientes binomiales      | Matemáticos | Diseño    | Formato+dependencia       | Genérica |
| 44 | [8]  | 92-3  | Coefficientes binomiales      | Matemáticos | Diseño    | Formato+dependencia       | Genérica |
| 45 | [9]  | 278   | Coefficientes binomiales      | Matemáticos | Enunciado | Definición                | Concreta |
| 46 | [9]  | 279   | Coefficientes binomiales      | Matemáticos | Ejecución | Estado final+dependencias | Concreta |
| 47 | [11] | 398   | Coefficientes binomiales      | Matemáticos | Ejecución | Estado final              | Concreta |
| 48 | [11] | 397   | Coefficientes binomiales      | Matemáticos | Ejecución | Ecuaciones recursivas     | Concreta |
| 49 | [11] | 448   | Coefficientes binomiales      | Matemáticos | Diseño    | Formato tabla             | Genérica |
| 50 | [13] | 466   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles     | Enunciado | Definición                | Concreta |
| 51 | [13] | 469   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles     | Diseño    | Ecuaciones recursivas     | Genérica |
| 52 | [13] | 470   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles     | Diseño    | Formato tabla             | Genérica |
| 53 | [3]  | 398   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles     | Enunciado | Definición                | Concreta |
| 54 | [3]  | 403   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles     | Ejecución | Estado final              | Concreta |
| 55 | [7]  | 212   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles     | Enunciado | Definición                | Concreta |
| 56 | [7]  | 213   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles     | Enunciado | Definición                | Concreta |
| 57 | [7]  | 214-5 | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles     | Ejecución | Varias salidas posibles   | Concreta |
| 58 | [7]  | 216   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles     | Diseño    | Ecuaciones recursivas     | Genérica |
| 59 | [7]  | 218   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles     | Ejecución | Estado final              | Concreta |
| 60 | [7]  | 218   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles     | Ejecución | Salida óptima             | Concreta |
| 61 | [4]  | 284   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles     | Enunciado | Definición                | Concreta |
| 62 | [4]  | 285   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles     | Enunciado | Definición                | Concreta |
| 63 | [4]  | 285   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles     | Enunciado | Definición                | Concreta |
| 64 | [4]  | 286   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles     | Diseño    | Ecuaciones recursivas     | Genérica |



|    |      |       |                               |              |           |                           |              |
|----|------|-------|-------------------------------|--------------|-----------|---------------------------|--------------|
| 65 | [4]  | 287   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles      | Enunciado | Definición                | Semigenérica |
| 66 | [4]  | 290   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles      | Diseño    | Dependencia celdas        | Concreta     |
| 67 | [8]  | 114   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles      | Enunciado | Definición                | Concreta     |
| 68 | [8]  | 117-8 | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles      | Enunciado | Definición                | Semigenérica |
| 69 | [8]  | 119   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles      | Diseño    | Ecuaciones recursivas     | Genérica     |
| 70 | [8]  | 122   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles      | Enunciado | Entrada                   | Concreta     |
| 71 | [8]  | 122   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles      | Ejecución | Estado final+dependencias | Concreta     |
| 72 | [8]  | 123   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árboles      | Ejecución | Salida óptima             | Concreta     |
| 73 | [4]  | 291   | Conjunto dominante            | Árboles      | Enunciado | Entrada                   | Concreta     |
| 74 | [4]  | 292   | Conjunto dominante            | Árboles      | Diseño    | Propiedad aux.            | Semigenérica |
| 75 | [4]  | 295   | Conjunto dominante            | Árboles      | Ejecución | Ecuaciones recursivas     | Concreta     |
| 76 | [4]  | 295   | Conjunto dominante            | Árboles      | Enunciado | Entrada                   | Concreta     |
| 77 | [4]  | 296   | Conjunto dominante            | Árboles      | Ejecución | Ecuaciones recursivas     | Concreta     |
| 78 | [4]  | 297   | Conjunto dominante            | Árboles      | Enunciado | Entrada                   | Concreta     |
| 79 | [4]  | 297   | Conjunto dominante            | Árboles      | Ejecución | Ecuaciones recursivas     | Concreta     |
| 80 | [4]  | 298   | Conjunto dominante            | Árboles      | Enunciado | Entrada                   | Concreta     |
| 81 | [4]  | 299   | Conjunto dominante            | Árboles      | Ejecución | Ecuaciones recursivas     | Concreta     |
| 82 | [7]  | 203   | Grafo multietapa              | Grafo        | Enunciado | Entrada/salida óptima     | Concreta     |
| 83 | [7]  | 204   | Grafo multietapa              | Grafo        | Diseño    | Ecuaciones recursivas     | Semigenérica |
| 84 | [5]  | 825   | MSS                           | Redes        | Enunciado | Salida inválida           | Concreta     |
| 85 | [5]  | 826   | MSS                           | Redes        | Enunciado | Salida                    | Concreta     |
| 86 | [5]  | 828   | MSS                           | Redes        | Ejecución | Estado final              | Concreta     |
| 87 | [4]  | 301-2 | Búsqueda de aristas           | Grafo        | Enunciado | Definición                | Semigenérica |
| 88 | [4]  | 303   | Búsqueda de aristas           | Grafo        | Diseño    | Definición                | Genérica     |
| 89 | [4]  | 304   | Búsqueda de aristas           | Grafo        | Diseño    | Ecuaciones recursivas     | Genérica     |
| 90 | [4]  | 306-9 | Búsqueda de aristas           | Grafo        | Ejecución | Estados intermedios       | Semigenérica |
| 91 | [4]  | 310   | M vigilantes                  | Grafo        | Enunciado | Entrada/salida            | Concreta     |
| 92 | [4]  | 311   | M vigilantes                  | Grafo        | Diseño    | Ecuaciones recursivas     | Concreta     |
| 93 | [4]  | 311   | M vigilantes                  | Grafo        | Enunciado | Entrada                   | Concreta     |
| 94 | [4]  | 313   | M vigilantes                  | Grafo        | Diseño    | Ecuaciones recursivas     | Concreta     |
| 95 | [4]  | 314   | M vigilantes                  | Grafo        | Diseño    | Ecuaciones recursivas     | Concreta     |
| 96 | [2]  | 296   | Cambio de monedas             | Optimización | Ejecución | Estado final              | Concreta     |
| 97 | [11] | 400   | Cambio de monedas             | Optimización | Diseño    | Formato+dependencia       | Genérica     |
| 98 | [11] | 401   | Cambio de monedas             | Optimización | Diseño    | Formato+dependencia       | Genérica     |
| 99 | [11] | 431   | Inversiones                   | Optimización | Enunciado | Definición                | Genérica     |

|     |      |       |                           |              |           |                                 |              |
|-----|------|-------|---------------------------|--------------|-----------|---------------------------------|--------------|
| 100 | [1]  | 211   | Multiplicación encadenada | Matemáticos  | Diseño    | Formato+dependencia             | Semigenérica |
| 101 | [1]  | 213   | Multiplicación encadenada | Matemáticos  | Ejecución | Estado final                    | Concreta     |
| 102 | [13] | 464   | Multiplicación encadenada | Matemáticos  | Ejecución | Estado final                    | Concreta     |
| 103 | [13] | 464   | Multiplicación encadenada | Matemáticos  | Ejecución | Ecuaciones recursivas           | Concreta     |
| 104 | [2]  | 308   | Multiplicación encadenada | Matemáticos  | Ejecución | Estado final+dependencias       | Concreta     |
| 105 | [3]  | 376   | Multiplicación encadenada | Matemáticos  | Ejecución | Estado final                    | Concreta     |
| 106 | [3]  | 385   | Multiplicación encadenada | Matemáticos  | Ejecución | Ecuaciones recursivas           | Concreta     |
| 107 | [11] | 412   | Multiplicación encadenada | Matemáticos  | Diseño    | Formato+dependencia             | Genérica     |
| 108 | [11] | 413   | Multiplicación encadenada | Matemáticos  | Diseño    | Formato+dependencia             | Semigenérica |
| 109 | [8]  | 107   | Multiplicación encadenada | Matemáticos  | Enunciado | Definición                      | Genérica     |
| 110 | [8]  | 108   | Multiplicación encadenada | Matemáticos  | Ejecución | Estado final+dep.+sec. óptima   | Concreta     |
| 111 | [8]  | 112   | Multiplicación encadenada | Matemáticos  | Ejecución | Estado Final                    | Concreta     |
| 112 | [10] | 502   | Multiplicación encadenada | Matemáticos  | Diseño    | Formato+dependencia             | Genérica     |
| 113 | [1]  | 219   | Mochila 0/1               | Optimización | Ejecución | Estado Final                    | Concreta     |
| 114 | [2]  | 300   | Mochila 0/1               | Optimización | Ejecución | Estado Final                    | Concreta     |
| 115 | [7]  | 221   | Mochila 0/1               | Optimización | Ejecución | Estados intermedios             | Concreta     |
| 116 | [11] | 404   | Mochila 0/1               | Optimización | Diseño    | Formato+dependencia             | Genérica     |
| 117 | [4]  | 283   | Mochila 0/1               | Optimización | Enunciado | Entrada representac.            | Concreta     |
| 118 | [12] | 223   | Mochila 0/1               | Optimización | Enunciado | Varias salidas posibles         | Concreta     |
| 119 | [12] | 224   | Mochila 0/1               | Optimización | Ejecución | Ecuaciones recursivas           | Concreta     |
| 120 | [12] | 226   | Mochila 0/1               | Optimización | Ejecución | Ecuaciones recursivas           | Concreta     |
| 121 | [5]  | 803   | Mochila 0/1               | Optimización | Ejecución | Ecuaciones recursivas           | Concreta     |
| 122 | [5]  | 804   | Mochila 0/1               | Optimización | Ejecución | Estado final                    | Concreta     |
| 123 | [8]  | 167   | Mochila 0/1               | Optimización | Enunciado | Entrada/varias salidas posibles | Concreta     |
| 124 | [10] | 508   | Mochila 0/1               | Optimización | Enunciado | Varias salidas posibles         | Concreta     |
| 125 | [3]  | 361   | Rod cutting               | Optimización | Enunciado | Entrada/varias salidas posibles | Concreta     |
| 126 | [3]  | 364   | Rod cutting               | Optimización | Ejecución | Ecuaciones recursivas           | Concreta     |
| 127 | [3]  | 367   | Rod cutting               | Optimización | Ejecución | Ecuaciones recursivas           | Concreta     |
| 128 | [7]  | 234   | Flow shop scheduling      | Optimización | Enunciado | Varias salidas posibles         | Concreta     |
| 129 | [7]  | 235   | Flow shop scheduling      | Optimización | Enunciado | Salida óptima                   | Genérica     |
| 130 | [11] | 440   | Tareas procesadores       | Optimización | Diseño    | Ecuaciones recursivas           | Genérica     |
| 131 | [11] | 441   | Tareas procesadores       | Optimización | Diseño    | Formato tabla                   | Genérica     |
| 132 | [11] | 436   | Cintas                    | Optimización | Diseño    | Formato tabla                   | Genérica     |
| 133 | [4]  | 260-2 | Asignación-recursos       | Optimización | Ejecución | Ecuaciones recursivas           | Concreta     |
| 134 | [13] | 454   | Fibonacci                 | Matemáticos  | Ejecución | Ecuaciones recursivas           | Concreta     |

|     |      |     |                      |              |           |                         |              |
|-----|------|-----|----------------------|--------------|-----------|-------------------------|--------------|
| 135 | [12] | 221 | Fibonacci            | Matemáticos  | Ejecución | Ecuaciones recursivas   | Concreta     |
| 136 | [12] | 221 | Fibonacci            | Matemáticos  | Ejecución | Ecuaciones recursivas   | Concreta     |
| 137 | [12] | 224 | Fibonacci            | Matemáticos  | Ejecución | Ecuaciones recursivas   | Concreta     |
| 138 | [9]  | 275 | Fibonacci            | Matemáticos  | Ejecución | Ecuaciones recursivas   | Concreta     |
| 139 | [9]  | 276 | Fibonacci            | Matemáticos  | Ejecución | Ecuaciones recursivas   | Concreta     |
| 140 | [2]  | 294 | Campeonato mundial   | Matemáticos  | Diseño    | Ecuaciones recursivas   | Genérica     |
| 141 | [11] | 409 | Reparto del botín    | Decisión     | Diseño    | Formato+dependencia     | Genérica     |
| 142 | [11] | 445 | Pienso de vacas      | Optimización | Diseño    | Formato+dependencia     | Genérica     |
| 143 | [9]  | 297 | Partition problem    | Optimización | Ejecución | Estado final            | Genérica     |
| 144 | [9]  | 300 | Triangulación óptima | Optimización | Enunciado | Varias salidas posibles | Concreta     |
| 145 | [9]  | 301 | Triangulación óptima | Optimización | Diseño    | Ecuaciones recursivas   | Semigenérica |
| 146 | [14] | 328 | Factorial            | Matemáticos  | Ejecución | Estados intermedios     | Concreta     |

**Tabla B-1: Tabla de Catalogación – Parte 1**

## Parte 2: Representación gráfica (Repr. del estado, Repr. del tiempo), Completitud y Atributos de representación

| Nº | Libro | Página/s | Problema               | Repr. estado    | Completitud e. | Repr. tiempo            | Completitud t. | Atributos repr. |
|----|-------|----------|------------------------|-----------------|----------------|-------------------------|----------------|-----------------|
| 1  | [1]   | 207      | SCML                   | Tabla           | Completa       | Dependencias óptimas    |                | valores         |
| 2  | [3]   | 395      | SCML                   | Tabla           | Completa       | Dependencias celdas     |                | valores         |
| 3  | [4]   | 265      | SCML                   | Tabla           | Completa       | 1 estado                |                | valores         |
| 4  | [4]   | 266      | SCML                   | Tabla           | Simplificada   | Dependencias celdas     |                | valores         |
| 5  | [10]  | 504      | SCML                   | Cadena          | Completa       | Unir E/S                |                |                 |
| 6  | [10]  | 506      | SCML                   | Tabla           | Completa       | Dependencias óptimas    |                | valores         |
| 7  | [10]  | 506      | SCML                   | Cadena          | Completa       | Unir E/S                |                |                 |
| 8  | [11]  | 433      | Distancia edición      | Tabla           | Simplificada   | Dependencias celdas     |                | valores         |
| 9  | [4]   | 268      | Alineación 2 secs.     | Tabla           | Completa       | Dependencias celdas     |                | valores         |
| 10 | [4]   | 268      | Alineación 2 secs.     | Tabla           | Completa       | Dependencias celdas     |                | valores         |
| 11 | [9]   | 284      | Ajuste aproximado      | Tabla           | Completa       | Dependencias óptimas    |                | valores         |
| 12 | [9]   | 285      | Ajuste aproximado      | Tabla           | Completa       | Dependencias óptimas    |                | decisiones      |
| 13 | [9]   | 298      | Parsing                | Otros           | Completa       | Otra repr. con historia | Completo       |                 |
| 14 | [4]   | 271      | Apareamiento ARN       | Formula química | Completa       | Indefinido o N/A        |                |                 |
| 15 | [4]   | 273-4    | Apareamiento ARN       | Formula química | Simplificada   | Indefinido o N/A        |                |                 |
| 16 | [4]   | 275      | Apareamiento ARN       | Tabla           | Completa       | 1 estado                |                | valores         |
| 17 | [6]   | 93       | Procesador de lenguaje | Otros           | Completa       | Sec. estados            | Completo       |                 |
| 18 | [6]   | 94       | Procesador de lenguaje | Otros           | Completa       | Sec. estados            | Completo       |                 |
| 19 | [1]   | 216      | Caminos míns.          | Grafo           | Completa       | Indefinido o N/A        |                |                 |
| 20 | [1]   | 216      | Caminos míns.          | Matriz          | Completa       | Sec. estados            | Completo       | valores         |
| 21 | [2]   | 302      | Caminos míns.          | Matriz          | Completa       | Sec. estados            | Completo       | valores         |
| 22 | [2]   | 302      | Caminos míns.          | Grafo           | Completa       | Indefinido o N/A        |                |                 |
| 23 | [2]   | 304      | Caminos míns.          | Matriz          | Completa       | Indefinido o N/A        |                | decisiones      |
| 24 | [7]   | 209      | Caminos míns.          | Grafo           | Completa       | Indefinido o N/A        |                |                 |
| 25 | [7]   | 209      | Caminos míns.          | Matriz          | Completa       | Indefinido o N/A        |                | valores         |
| 26 | [7]   | 210      | Caminos míns.          | Grafo           | Completa       | Indefinido o N/A        |                |                 |
| 27 | [7]   | 210      | Caminos míns.          | Tabla           | Completa       | Indefinido o N/A        |                | valores         |
| 28 | [7]   | 211      | Caminos míns.          | Tabla           | Completa       | Sec. estados            | Completo       | valores         |
| 29 | [11]  | 423      | Caminos míns.          | Tabla           | Simplificada   | Dependencias celdas     |                | valores         |
| 30 | [4]   | 254      | Caminos míns.          | Grafo           | Completa       | Indefinido o N/A        |                |                 |
| 31 | [4]   | 254-6    | Caminos míns.          | Grafo           | Parcial        | Sec. estados            | Parcial        |                 |

|    |      |       |                               |               |              |                     |          |             |
|----|------|-------|-------------------------------|---------------|--------------|---------------------|----------|-------------|
| 32 | [8]  | 95    | Caminos míns.                 | Grafo         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |             |
| 33 | [8]  | 97    | Caminos míns.                 | Tabla         | Completa     | Indefinido o N/A    |          | valores     |
| 34 | [8]  | 98    | Caminos míns.                 | Tabla         | Completa     | 1 estado            |          | decisiones  |
| 35 | [8]  | 102   | Caminos míns.                 | Grafo         | Simplificada | Indefinido o N/A    |          |             |
| 36 | [5]  | 819   | Caminos míns.                 | Tabla         | Completa     | Indefinido o N/A    |          | ambas       |
| 37 | [12] | 310   | Caminos míns.                 | Tabla         | Completa     | Sec. estados        | Completo | ambas       |
| 38 | [12] | 310   | Caminos míns.                 | Grafo         | Completa     | Sec. estados        | Completo |             |
| 39 | [7]  | 232   | Viajante                      | Matriz        | Completa     | Indefinido o N/A    |          |             |
| 40 | [7]  | 232   | Viajante                      | Grafo         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |             |
| 41 | [8]  | 124   | Viajante                      | Grafo         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |             |
| 42 | [8]  | 124   | Viajante                      | Matriz        | Completa     | Indefinido o N/A    |          |             |
| 43 | [2]  | 291   | Coefficientes binomiales      | Tabla         | Simplificada | Dependencias celdas |          | valores     |
| 44 | [8]  | 92-3  | Coefficientes binomiales      | Tabla         | Simplificada | Dependencias celdas |          | valores     |
| 45 | [9]  | 278   | Coefficientes binomiales      | Aritmética    | Completa     | Indefinido o N/A    |          | valores     |
| 46 | [9]  | 279   | Coefficientes binomiales      | Tabla         | Completa     | Indefinido o N/A    |          | ambas       |
| 47 | [11] | 398   | Coefficientes binomiales      | Aritmética    | Simplificada | Indefinido o N/A    |          | valores     |
| 48 | [11] | 397   | Coefficientes binomiales      | Aritmética    | Completa     | Árbol rec.          | Completo | descendente |
| 49 | [11] | 448   | Coefficientes binomiales      | Tabla         | Simplificada | Indefinido o N/A    |          | valores     |
| 50 | [13] | 466   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Completa     | Árbol búsq.         |          |             |
| 51 | [13] | 469   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Simplificada | Indefinido o N/A    |          |             |
| 52 | [13] | 470   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Tabla         | Simplificada | Indefinido o N/A    |          | valores     |
| 53 | [3]  | 398   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Completa     | Árbol búsq.         |          |             |
| 54 | [3]  | 403   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Tabla         | Completa     | 1 estado            |          | ambas       |
| 55 | [7]  | 212   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Completa     | Árbol búsq.         |          |             |
| 56 | [7]  | 213   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Simplificada | Árbol búsq.         |          |             |
| 57 | [7]  | 214-5 | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Completa     | Árbol búsq.         |          |             |
| 58 | [7]  | 216   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Simplificada | Indefinido o N/A    |          |             |
| 59 | [7]  | 218   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Tabla         | Completa     | 1 estado            |          | ambas       |
| 60 | [7]  | 218   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Completa     | Árbol búsq.         |          |             |
| 61 | [4]  | 284   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Completa     | Árbol búsq.         |          |             |
| 62 | [4]  | 285   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Completa     | Árbol búsq.         |          |             |
| 63 | [4]  | 285   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Completa     | Árbol búsq.         |          |             |
| 64 | [4]  | 286   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Simplificada | Árbol búsq.         |          |             |
| 65 | [4]  | 287   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Simplificada | Indefinido o N/A    |          |             |
| 66 | [4]  | 290   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Grafo         | Completa     | Grafo depend.       |          |             |

|     |      |       |                               |               |              |                     |          |
|-----|------|-------|-------------------------------|---------------|--------------|---------------------|----------|
| 67  | [8]  | 114   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Completa     | Árbol búsq.         |          |
| 68  | [8]  | 117-8 | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Completa     | Árbol búsq.         |          |
| 69  | [8]  | 119   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Simplificada | Indefinido o N/A    |          |
| 70  | [8]  | 122   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Vector        | Completa     | Indefinido o N/A    |          |
| 71  | [8]  | 122   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Tabla         | Completa     | 1 estado            | ambas    |
| 72  | [8]  | 123   | Árbol óptimo de búsq. binaria | Árbol binario | Completa     | Árbol búsq.         |          |
| 73  | [4]  | 291   | Conjunto dominante            | Grafo         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |
| 74  | [4]  | 292   | Conjunto dominante            | Grafo         | Completa     | 2 estados           |          |
| 75  | [4]  | 295   | Conjunto dominante            | Grafo         | Parcial      | Indefinido o N/A    |          |
| 76  | [4]  | 295   | Conjunto dominante            | Grafo         | Parcial      | Indefinido o N/A    |          |
| 77  | [4]  | 296   | Conjunto dominante            | Grafo         | Parcial      | Indefinido o N/A    |          |
| 78  | [4]  | 297   | Conjunto dominante            | Grafo         | Parcial      | Indefinido o N/A    |          |
| 79  | [4]  | 297   | Conjunto dominante            | Grafo         | Parcial      | Indefinido o N/A    |          |
| 80  | [4]  | 298   | Conjunto dominante            | Grafo         | Parcial      | Indefinido o N/A    |          |
| 81  | [4]  | 299   | Conjunto dominante            | Grafo         | Parcial      | Indefinido o N/A    |          |
| 82  | [7]  | 203   | Grafo multietapa              | Grafo         | Completa     | Solapamiento        |          |
| 83  | [7]  | 204   | Grafo multietapa              | Grafo         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |
| 84  | [5]  | 825   | MSS                           | Otros         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |
| 85  | [5]  | 826   | MSS                           | Otros         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |
| 86  | [5]  | 828   | MSS                           | Tabla         | Completa     | 1 estado            | valores  |
| 87  | [4]  | 301-2 | Búsqueda de aristas           | Grafo         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |
| 88  | [4]  | 303   | Búsqueda de aristas           | Árbol n-ario  | Simplificada | Indefinido o N/A    |          |
| 89  | [4]  | 304   | Búsqueda de aristas           | Árbol n-ario  | Simplificada | Indefinido o N/A    |          |
| 90  | [4]  | 306-9 | Búsqueda de aristas           | Árbol binario | Completa     | Sec. estados        | Completo |
| 91  | [4]  | 310   | M vigilantes                  | Otros         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |
| 92  | [4]  | 311   | M vigilantes                  | Otros         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |
| 93  | [4]  | 311   | M vigilantes                  | Otros         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |
| 94  | [4]  | 313   | M vigilantes                  | Otros         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |
| 95  | [4]  | 314   | M vigilantes                  | Otros         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |
| 96  | [2]  | 296   | Cambio de monedas             | Tabla         | Completa     | 1 estado            | valores  |
| 97  | [11] | 400   | Cambio de monedas             | Tabla         | Simplificada | Dependencias celdas | valores  |
| 98  | [11] | 401   | Cambio de monedas             | Tabla         | Parcial      | Dependencias celdas | valores  |
| 99  | [11] | 431   | Inversiones                   | Otros         | Simplificada | Indefinido o N/A    |          |
| 100 | [1]  | 211   | Multiplicación encadenada     | Tabla         | Completa     | Dependencias celdas | valores  |
| 101 | [1]  | 213   | Multiplicación encadenada     | Tabla         | Completa     | 1 estado            | valores  |

|     |      |       |                           |               |              |                     |          |             |
|-----|------|-------|---------------------------|---------------|--------------|---------------------|----------|-------------|
| 102 | [13] | 464   | Multiplicación encadenada | Matriz        | Completa     | 1 estado            |          | ambas       |
| 103 | [13] | 464   | Multiplicación encadenada | Árbol binario | Completa     | Árbol rec.          | Completo | descendente |
| 104 | [2]  | 308   | Multiplicación encadenada | Tabla         | Completa     | 1 estado            |          | valores     |
| 105 | [3]  | 376   | Multiplicación encadenada | Tabla         | Completa     | 1 estado            |          | ambas       |
| 106 | [3]  | 385   | Multiplicación encadenada | Árbol n-ario  | Completa     | Árbol rec.          | Completo | descendente |
| 107 | [11] | 412   | Multiplicación encadenada | Tabla         | Simplificada | Dependencias celdas |          | valores     |
| 108 | [11] | 413   | Multiplicación encadenada | Tabla         | Simplificada | Dependencias celdas |          | valores     |
| 109 | [8]  | 107   | Multiplicación encadenada | Matriz        | Simplificada | Indefinido o N/A    |          |             |
| 110 | [8]  | 108   | Multiplicación encadenada | Tabla         | Completa     | Dependencias celdas |          | valores     |
| 111 | [8]  | 112   | Multiplicación encadenada | Tabla         | Completa     | 1 estado            |          | decisiones  |
| 112 | [10] | 502   | Multiplicación encadenada | Tabla         | Simplificada | Dependencias celdas |          | valores     |
| 113 | [1]  | 219   | Mochila 0/1               | Tabla         | Completa     | 1 estado            |          | valores     |
| 114 | [2]  | 300   | Mochila 0/1               | Tabla         | Completa     | 1 estado            |          | valores     |
| 115 | [7]  | 221   | Mochila 0/1               | Otros         | Simplificada | Sec. estados        | Completo |             |
| 116 | [11] | 404   | Mochila 0/1               | Tabla         | Simplificada | Dependencias celdas |          | valores     |
| 117 | [4]  | 283   | Mochila 0/1               | Grafo         | Completa     | Grafo depend.       |          |             |
| 118 | [12] | 223   | Mochila 0/1               | Otros         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |             |
| 119 | [12] | 224   | Mochila 0/1               | Árbol n-ario  | Completa     | Árbol rec.          | Completo | ascendente  |
| 120 | [12] | 226   | Mochila 0/1               | Árbol n-ario  | Completa     | Árbol rec.          | Completo | ascendente  |
| 121 | [5]  | 803   | Mochila 0/1               | Árbol n-ario  | Completa     | Árbol rec.          | Completo | ascendente  |
| 122 | [5]  | 804   | Mochila 0/1               | Tabla         | Completa     | 1 estado            |          | valores     |
| 123 | [8]  | 167   | Mochila 0/1               | Otros         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |             |
| 124 | [10] | 508   | Mochila 0/1               | Otros         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |             |
| 125 | [3]  | 361   | Rod cutting               | Otros         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |             |
| 126 | [3]  | 364   | Rod cutting               | Árbol n-ario  | Completa     | Árbol rec.          | Completo | descendente |
| 127 | [3]  | 367   | Rod cutting               | Grafo         | Completa     | Grafo depend.       |          |             |
| 128 | [7]  | 234   | Flow shop scheduling      | Otros         | Simplificada | Indefinido o N/A    |          |             |
| 129 | [7]  | 235   | Flow shop scheduling      | Otros         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |             |
| 130 | [11] | 440   | Tareas procesadores       | Otros         | Completa     | Indefinido o N/A    |          |             |
| 131 | [11] | 441   | Tareas procesadores       | Tabla         | Simplificada | Indefinido o N/A    |          | valores     |
| 132 | [11] | 436   | Cintas                    | Tabla         | Simplificada | Indefinido o N/A    |          | valores     |
| 133 | [4]  | 260-2 | Asignación-recursos       | Grafo         | Parcial      | Sec. estados        | Completo |             |
| 134 | [13] | 454   | Fibonacci                 | Grafo         | Completa     | Grafo depend.       |          |             |
| 135 | [12] | 221   | Fibonacci                 | Otros         | Completa     | Indefinido o N/A    |          | descendente |
| 136 | [12] | 221   | Fibonacci                 | Árbol binario | Completa     | Árbol rec.          | Completo | ascendente  |

|     |      |     |                      |                 |              |                     |              |             |
|-----|------|-----|----------------------|-----------------|--------------|---------------------|--------------|-------------|
| 137 | [12] | 224 | Fibonacci            | Árbol binario   | Completa     | Árbol rec.          | Completo     | ascendente  |
| 138 | [9]  | 275 | Fibonacci            | Árbol binario   | Completa     | Árbol rec.          | Completo     | descendente |
| 139 | [9]  | 276 | Fibonacci            | Árbol binario   | Completa     | Árbol rec.          | Completo     | descendente |
| 140 | [2]  | 294 | Campeonato mundial   | Árbol binario   | Simplificada | Árbol rec.          | Simplificado | descendente |
| 141 | [11] | 409 | Reparto del botín    | Tabla           | Simplificada | Dependencias celdas |              | valores     |
| 142 | [11] | 445 | Pienso de vacas      | Tabla           | Simplificada | Dependencias celdas |              | valores     |
| 143 | [9]  | 297 | Partition problem    | Tabla           | Completa     | 1 estado            |              | ambas       |
| 144 | [9]  | 300 | Triangulación óptima | Otros           | Completa     | Indefinido o N/A    |              |             |
| 145 | [9]  | 301 | Triangulación óptima | Otros           | Parcial      | Indefinido o N/A    |              |             |
| 146 | [14] | 328 | Factorial            | Pila de control | Simplificada | Sec. estados        | Simplificado | valores     |

Tabla B-2: Tabla de Catalogación – Parte 2



