



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO, CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES

Departamento de Sistemas de Información

GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE VÍDEOS EXPLICATIVOS PARA APOYAR LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE ALGORITMOS

TESIS PRESENTADA POR TOMÁS LERMANDA SENOCEAIN
PARA OBTENER EL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
DIRIGIDA POR PROFESOR GUÍA CLEMENTE RUBIO MANZANO

2024

Resumen

Los videos educativos se han convertido en uno de los recursos digitales más importantes en el ámbito docente, ya que permiten explicar conceptos de manera entretenida y eficaz. En particular, su uso está muy extendido en la enseñanza y aprendizaje de algoritmos, donde han demostrado ser una herramienta de apoyo muy valiosa. No obstante, la creación de estos vídeos a menudo requiere mucho esfuerzo, tiempo y dedicación, ya que es necesario realizar un ejercicio mental para explicar su funcionamiento paso a paso y trasladarlos a las diferentes diapositivas. Además, si se cambian los problemas o los datos de entrada utilizados en las explicaciones, es necesario ajustar también el contenido de las presentaciones.

El objetivo de esta tesis es proponer una nueva metodología para la generación automática de vídeos explicativos a partir de los datos intermedios que se producen durante la ejecución de los algoritmos. Nuestra propuesta se basa en una combinación de técnicas de análisis sintáctico y de generación de lenguaje natural. En particular, nuestra metodología permite desarrollar un sistema experto que es capaz de transformar trazas de ejecución en ontologías y genera un conjunto de fotogramas formados por gráficos y explicaciones textuales a partir de ellas. Entonces, los fotogramas generados se organizan para crear un vídeo narrado automáticamente. La utilidad de este tipo de videos puede ser doble:

1. Entregar a los profesores de asignaturas de Inteligencia Artificial que tienen en sus planes de estudio los algoritmos de búsqueda en un espacio de estados una herramienta que les permita crear presentaciones automatizadas de sus implementaciones.
2. Proveer a los alumnos y alumnas de las asignaturas de programación con un nuevo recurso educativo digital que les proporcione apoyo durante al aprendizaje de este tipo de algoritmos y técnicas computacionales.

El resultado es una herramienta que ha sido evaluada por dos grupos (profesores y alumnos del área) empleando cuestionario basado en el estándar LORI (Instrumento de revisión de objetos de aprendizaje) desde diferentes aspectos: calidad del video y del contenido, motivación y diseño/presentación. Los resultados han sido los siguientes:

- Los videos fueron recibidos positivamente durante las tres evaluaciones realizadas.
- La primera evaluación fue dirigida al grupo de alumnos, estos demostraron gran conformidad con los aspectos de calidad de video y calidad de contenido, e incertidumbre con los aspectos de motivación y diseño/presentación.

- La segunda evaluación también fue dirigida al grupo de alumnos. La adición de narración en audio resultó en una mejora notable en las respuestas relacionadas al aspecto de diseño/presentación.
- La tercera evaluación fue dirigida al grupo de profesores, estos demostraron una conformidad general con los videos incluyendo el aspecto de motivación, el cual fue recibido con mayor incertidumbre por parte de los alumnos en las dos primeras evaluaciones.

Palabras Clave — Inteligencia Artificial, Educación, Generación Automática de Lenguaje Natural, Generación Automática de Vídeos Explicativos, Algoritmos de Búsqueda.

Estructura y Organización de la Tesis.

Hemos organizado la memoria en cinco capítulos. El primer capítulo trata de servir de introducción y motivación, se presenta la hipótesis, objetivos y metodología. El segundo capítulo definimos los conceptos más importantes para entender el resto de la memoria. En el tercer capítulo presentamos una nueva metodología para la generación de vídeos explicamos y los aspectos fundamentales para su implementación. En el capítulo cuarto se revisa la evaluación realizada. Finalmente presentamos el capítulo de conclusiones y trabajo futuro.

Con más precisión, explicamos de forma breve que se abordará en cada uno de ellos:

- **Capítulo 1.-Introducción.** En este capítulo se destaca la importancia de los vídeos en la comunidad educativa al ser una excelente herramienta audio visual para impulsar la enseñanza y el aprendizaje de conceptos que pueden resultar difícil de explicar mediante los métodos habituales. Se revisan los trabajos de la literatura que tiene como objetivo el uso de videos para la enseñanza y el aprendizaje, destacando los desafíos y las líneas abiertas de investigación. Una vez visto esto, presentamos nuestra hipótesis de investigación, enunciamos los objetivos y presentamos una metodología basada en seis fases: creación de trazas de ejecución, traducción de trazas de ejecución a ontologías, generación de fotogramas, incorporación de discurso entre fragmentos, creación del video y evaluación.
- **Capítulo 2.-Conceptos preliminares.** En este capítulo se definen algunos de los conceptos e ideas generales relacionadas a la solución propuesta. Entendiéndose que éstas son nociones mínimas necesarias para comprender los temas abordados en los capítulos posteriores. Primero, se introduce la resolución de problemas utilizando un espacio de estados ya que es el tópico principal sobre el cual se realizaran los videos. Se explican qué son las trazas y el rastreo ya que son el medio por el cual se recogen los datos generados por los algoritmos que se quieren explicar. A partir de las trazas se generaran los videos empleando análisis léxico y sintáctico que es explicado al final del capítulo.
- **Capítulo 3.-Metodología para la generación de videos y su implementación.** En este capítulo se presenta una descripción general de la metodología de

generación de vídeos propuesta. También se explica, en detalle, el funcionamiento del trazado de ejecución. Se explican los modelos micro sintáctico y gramatical utilizados para el análisis y evaluación de trazas de ejecución. Por último, se explica la descripción gráfica y cómo se usan las plantillas y representaciones de estado para generar los fotogramas.

- **Capítulo 4.-Evaluación y análisis de resultados.** En este capítulo se presenta la evaluación realizada de los videos resultantes por medio de un cuestionario y un breve análisis de los resultados obtenidos. Se explican las tres evaluaciones llevadas a cabo: una primera evaluación realizada a ex alumnos del ramo de Inteligencia Artificial, segunda evaluación realizada a los mismos alumnos pero ahora con algunas de las modificaciones solicitadas por ellos y la tercera evaluación que se lleva a cabo teniendo en cuenta a los profesores.
- **Capítulo 5.-Conclusiones y trabajo futuro.** En este capítulo se explican las conclusiones alcanzadas y se plantean líneas de trabajo futuro que quedan pendientes por alcanzar y las nuevas líneas de trabajo que surgen a raíz del desarrollo de esta investigación.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Algoritmos, transparencia y explicabilidad	1
1.2. Videos para explicar algoritmos	2
1.3. Nuestra investigación	4
2. Conceptos preliminares	8
2.1. Resolución de problemas utilizando un espacio de estados	8
2.2. Rastreo y Trazas de ejecución	12
2.2.1. Trazas de ejecución	12
2.2.2. Rastreo estático	13
2.3. Análisis léxico y sintáctico	14
2.3.1. Análisis léxico	14
2.3.2. Análisis sintáctico	14
3. Metodología para la generación de videos y su implementación	16
3.1. Metodología de generación de videos	16
3.1.1. Trazado de ejecución	17
3.1.2. Análisis y evaluación de trazas de ejecución	19
3.1.3. Representación gráfica de las trazas de ejecución	20
3.1.4. Planificación de fotogramas	22
3.2. Implementación de la generación de videos	24
3.2.1. Trazado de ejecución	24
3.2.2. Análisis y evaluación de trazas de ejecución	26
3.2.3. Representación gráfica de las traza de ejecución	28
4. Evaluación y análisis resultados	32
4.1. Primera evaluación	32
4.1.1. Metodología de la evaluación	32
4.1.2. Resultados de la evaluación	33
4.1.3. Análisis de la evaluación	34
4.2. Segunda evaluación	34
4.2.1. Metodología de la evaluación	34
4.2.2. Resultados de la evaluación	37

4.2.3. Análisis de la evaluación	38
4.3. Tercera evaluación	41
4.3.1. Metodología de la evaluación	41
4.3.2. Resultados de la evaluación	41
4.3.3. Análisis de la evaluación	42
4.4. Análisis general de las evaluaciones	45
5. Conclusiones y Trabajo futuro	47
Referencias	49
A. Preguntas del cuestionario	53
B. Comentarios recibidos	55

Índice de Figuras

1.1. Ejemplo presentación clásica	3
1.2. Diapositiva de ejemplo: (1) Estado final y estado inicial	5
1.3. Diapositiva de ejemplo: (2) primera iteración	5
1.4. Diapositiva de ejemplo: (3) primera iteración	5
1.5. Diapositiva de ejemplo: (4) primera iteración	5
1.6. Diapositiva de ejemplo: (5) Solución encontrada	5
1.7. Diapositiva de ejemplo: (6) pasos solución	5
2.1. Posibles acciones del sistema en el puzzle simple de tres colores	9
2.2. Caminos conseguidos en los pasos sucesivos de la búsqueda	11
2.3. Representaciones del resultado del ejemplo	12
3.1. Metodología de generación de vídeos	16
3.2. Ejemplo de representación de la definición estados (S,A,P)	18
3.3. Ejemplo de clase abstracta	18
3.4. Ejemplo de representación gráfica de estado (S,A,P)	21
3.5. Planificación de fotogramas para un video explicativo de la ejecución de una búsqueda en espacio de estados.	23
3.6. Modelado de la clase abstracta Node siendo extendido por una clase State.	25
3.7. Árbol de análisis sintáctico utilizado por le modelo	26
3.8. Diagrama de sintaxis para definition.	28
3.9. Diagrama de sintaxis para assignment.	28
3.10. Diagrama de sintaxis para method.	28
3.11. Diagrama de sintaxis para declaration	28
3.12. Diagrama de sintaxis para comment	28
3.13. Diagrama de sintaxis para status	28
3.14. Ejemplo de composición de plantilla	29
3.15. Distintas apariencias de representaciones gráficas de estados.	31
4.1. Respuestas del primer formulario enviado correspondientes a la sección de calidad de video.	35
4.2. Respuestas del primer formulario enviado correspondientes a la sección de calidad del contenido.	35

4.3. Respuestas del primer formulario enviado correspondientes a la sección de motivación.	36
4.4. Respuestas del primer formulario enviado correspondientes a la sección de diseño y presentación.	36
4.5. Respuestas del segundo formulario enviado correspondientes a la sección de calidad de video.	39
4.6. Respuestas del segundo formulario enviado correspondientes a la sección de calidad del contenido.	39
4.7. Respuestas del segundo formulario enviado correspondientes a la sección de motivación.	40
4.8. Respuestas del segundo formulario enviado correspondientes a la sección de diseño y presentación.	40
4.9. Respuestas del tercer formulario enviado correspondientes a la sección de calidad de video.	43
4.10. Respuestas del tercer formulario enviado correspondientes a la sección de calidad del contenido.	43
4.11. Respuestas del tercer formulario enviado correspondientes a la sección de motivación.	44
4.12. Respuestas del tercer formulario enviado correspondientes a la sección de diseño y presentación.	44
4.13. Comparativa de respuestas entre evaluaciones.	46

Índice de Tablas

3.1. Modelo gramatical utilizado para el análisis y evaluación de trazas de ejecución. 27

Índice de Listados

2.1. Ejemplo de rastreo estático.	14
3.1. Extracto de traza de ejecución.	25
3.2. Microsintaxis (parte 1)	27
3.3. Microsintaxis (parte 2)	27

Capítulo 1

Introducción

1.1. Algoritmos, transparencia y explicabilidad

La enseñanza y aprendizaje de algoritmos es un gran desafío en la comunidad educativa de las ciencias de la computación debido, principalmente, a la gran complejidad que requiere llegar a entender de forma intuitiva su funcionamiento (Cheah, 2020; Gökoğlu y Kilic, 2023; Runceanu y Runceanu, 2016). Se han propuesto diferentes soluciones que buscan facilitar su comprensión, desde técnicas clásicas como diagramas de flujo y grabaciones (Chmura y Ledgard, 1976; Knowlton, 1966; Neumann y Goldstine, 1948) hasta técnicas más novedosas de visualización de software que se apoyan en métricas y resúmenes para explicar algoritmos de forma más interactiva. (Dashuber y Philippsen, 2022; Price et al., 1993; Stamenković et al., 2023) para apoyar la comprensión de los sistemas de software (estructuras de datos y algoritmos).

Recientemente, en el área de la Inteligencia Artificial (IA) han surgido propuestas entorno a la “explicabilidad” y la transparencia de los algoritmos que aunque no tienen como último fin la enseñanza de los mismos si aportan ideas para mejorar su comprensión. En este sentido, expertos en el área de la auditoría de algoritmos se han referido al desafío de crear buenas experiencias, que consigan llegar al público de forma efectiva planteando que existen oportunidades de mejora en el ámbito de la explicabilidad a la hora de entregar transparencia (Diakopoulos, 2016). Proponen considerar estrategias de presentación integradas, que aprovechen la visualización de datos, para comunicar de manera sucinta el funcionamiento de algo. También, en el área de la ingeniería de software, se proponen arquitecturas transparentes, donde exista retroalimentación en tiempo real, sobre la ejecución de los algoritmos. En particular, proponen que, la implementación de algoritmos debería soportar, registrar y devolver información a un módulo del usuario cuando sea solicitado, esta información sería esencial para los procesos de auditoría de algoritmos.

A este respecto y centrándonos en unas de las técnicas mencionadas en la literatura, diferentes autores han señalado que, a pesar de las facilidades mostradas por las herramientas gráficas, muchas veces no es fácil entenderlas, especialmente cuando son visualizadas por usuarios no expertos. Por esta razón, surge la tecnología denominada lenguaje natural interactivo (Alonso et al., 2021), cuyo objetivo es el desarrollo de sistemas de generación

automática de lenguaje natural para entregar explicaciones de los algoritmos y de su funcionamiento. Sin embargo, el lenguaje natural, no siempre es la forma más eficiente de comunicación entre los humanos y los computadores. Además, el uso de imágenes de video en el contexto de los sistemas expertos, ha mostrado que no es suficiente etiquetar imágenes para conseguir una comunicación más eficiente, efectiva y atractiva (Bloch, 1988).

Según los expertos, la combinación de información visual y textual es una buena estrategia de comunicación cuando se reúnen cuatro condiciones (Mayer, 1989):

1. Los textos son fáciles de entender por todos los usuarios;
2. Los elementos visuales se crean y evalúan basados en la comprensión de los usuarios;
3. Las representaciones visuales se emplean para proporcionar a los usuarios buenas explicaciones de los textos y;
4. No hay experiencia previa de los usuarios con el contenido.

La combinación de gráficos y texto es una estrategia de comunicación efectiva, ya que los usuarios, pueden fijar su atención sobre la información que se explica en el texto. De esta manera, los gráficos permiten a los usuarios formar modelos mentales de la información explicada en el texto. Recientemente, muchos trabajos de explicación de datos siguen esta línea, dado el creciente interés en la comunidad científica por crear narrativas visuales, que permitan dar buenas explicaciones a partir de los datos (Chanson et al., 2022; Chen et al., 2022; Cheng et al., 2022). Su objetivo es mejorar la comprensión y la interpretabilidad de procesos computacionales que pueden resultar complejos de entender por el gran número de datos que se generan en el proceso.

1.2. Videos para explicar algoritmos

Desde antes de la pandemia del COVID-19, estudios apuntaban a un constante incremento en el tiempo dedicado a ver videos por parte de jóvenes y adultos (Almeida y Almeida, 2017; Consumerlab, 2017). La efectividad de los videos en la educación superior ha sido analizada y evaluada positivamente (Noetel et al., 2021), destacándose que los videos funcionan mejor cuando se combinan con clases presenciales. Los videos se utilizan en el proceso de enseñanza y aprendizaje para motivar al alumnado, despertar su curiosidad, introducir nuevas materias y profundizarlas (Tenorio et al., 2022). Recientemente, se ha planteado la idea que los videos preparados por expertos para el apoyo en la enseñanza, pueden reducir significativamente las curvas de aprendizaje, haciendo el aprendizaje mucho más constante (de Giorgio et al., 2022).

Al mismo tiempo, han surgido trabajos que tienen como objetivo generar videos explicativos con el objetivo de mejorar la interpretabilidad de los datos, como por ejemplo (Shi et al., 2021) donde se propone un sistema automático para generar videos para explicar un conjunto de datos empleando técnicas estándar de visualización de los mismos. Este tipo de trabajos tiene su inicio en trabajos del paradigma datos a videos como el presentado en (Amini et al., 2017).

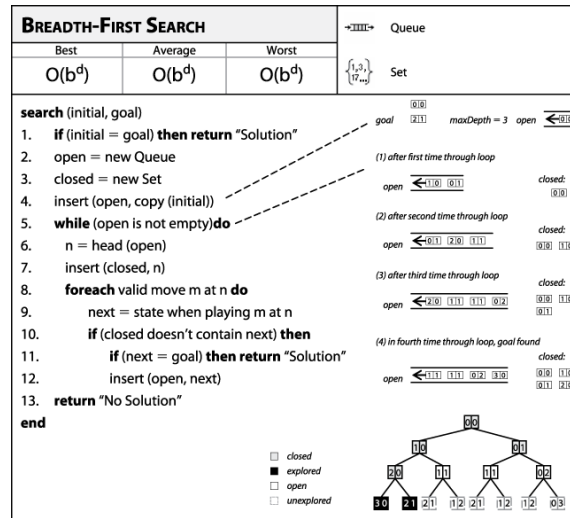


Figura 1.1: Ejemplo de presentación clásica utilizada para la enseñanza de algoritmos de búsqueda en espacio de estados.

Otro trabajo relacionado es (Rubio-Manzano et al., 2021) donde se presenta un framework basado en la conversión de datos en texto y visualización de software para generar automáticamente videos explicativos sobre ejecución de redes neuronales de Hopfield (Rubio-Manzano et al., 2021). Se define y explica en detalle una arquitectura de software para construir la generación automática de videos basada en la Teoría Computacional de Percepciones. De esta arquitectura se proponen cuatro módulos: Registro declarativo, Generación de fotogramas y Generación de Lenguaje Natural local, Generación de Lenguaje Natural global—Narración y Generación de video.

La investigación desarrollada en esta tesis expande esta línea de investigación continuando con el trabajo futuro planteado por este estudio, en el cual se propone investigar cómo la generación automática de videos explicativos puede ser utilizada en videos tutoriales para procesos de enseñanza-aprendizaje de algoritmos de búsqueda en espacio de estados ya que cuando se explican algoritmos de búsqueda en un espacio de estados, usualmente se utilizan presentaciones cuidadosamente preparadas para enseñar un algoritmo en particular. Esta clase de presentaciones requieren de tiempo y dedicación para su preparación, y se limitan a ejemplos muy específicos. En la Figura 1.1 se muestra un ejemplo de diapositiva de este tipo de presentación donde se muestra un ejemplo muy específico y simplificado para explicación en una diapositiva del algoritmo de búsqueda en anchura. Aún si el problema es muy sencillo en su explicación la preparación de la diapositiva requirió considerable tiempo y esfuerzo, ya que el profesor o alumno a la hora de elaborar una explicación mental que pase a un video debe hacer un ejercicio cognitivo de ejecución paso a paso de un algoritmo, o emplear el depurador/logs del sistema para conocer los valores de las diferentes variables.

1.3. Nuestra investigación

Por todas las consideraciones anteriores, proponemos la generación automática de videos explicativos paso a paso para ayudar en la comprensión de algoritmos de búsqueda en espacio de estados. La idea consiste en combinar en la misma tecnología explicaciones en lenguaje natural con representaciones visuales de las estructuras de datos involucradas en una búsqueda, para crear una representación del comportamiento de distintos tipos de algoritmos de búsqueda en espacio de estados por medio de una secuencia de fotogramas. El resultado es un video explicativo o una presentación similar a las empleadas por los profesores, investigadores o expertos en un ámbito cuando necesitan explicar algo a una audiencia. Los videos se plantean como un recurso educativo digital, pensado para apoyar las clases teóricas, pero sin limitar su uso a las salas de clase. La idea es que profesores puedan crear videos que sirvan para complementar sus clases, pero también, que los alumnos puedan comprobar el comportamiento de sus algoritmos si así lo desean.

El resultado utiliza técnicas de narrativa computacional (storytelling) para organizar la secuencia de fotogramas, buscando producir una explicaciones más claras. Adicionalmente, como tenemos videos (mp4, slides) como resultado, el usuario puede analizar de la forma clásica los mismos: adelantándose, pausando, volviendo atrás, etc. Otra ventaja importante es que para entender bien un algoritmo podría requerir varios ejemplos, nuestra propuesta puede generar varios videos a partir de ejemplos con mínimo esfuerzo en la generación de video. Existen varios tipos de videos nosotros nos centramos en videos del tipo explicativo (King, 2018). Su impacto en la sociedad sería en principio a nivel educativo -aunque también sería para la sociedad, midiendo el impacto de la herramienta en un curso donde se imparten los algoritmos mencionados.

Ejemplo. Supongamos que se quiere explicar comportamiento de un algoritmo de búsqueda en espacio de estados, lo primero que se hace es representar el comportamiento del algoritmo gráficamente en un conjunto de diapositivas como las que se presentan en las Figuras 1.2 a 1.7. En estas figuras se puede ver una explicación paso a paso de la ejecución de un algoritmo. La explicación comienza con el planteamiento del problema, se representa gráficamente el estado inicial en el que comienza la búsqueda y el estado objetivo al cual se quiere llegar (Figura 1.2). Mediante un proceso iterativo se recorren distintos caminos hasta que se alcanza el estado objetivo de la búsqueda (Figuras 1.3 a 1.5). A partir del estado objetivo encontrado, se determina el camino que conecta el estado inicial y el estado objetivo (Figura 1.6). Finalmente se presentan los pasos de la solución del problema (Figura 1.7).

La explicación de este comportamiento requirió del uso de múltiples diapositivas, si se cambiara el estado inicial del ejemplo, todas las diapositivas se tendrían que volver a hacer, esto representa una limitación al momento de preparar las clases y enseñar algoritmos. La solución propuesta busca resolver este problema por medio de la generación automática de videos explicativos.

En este caso en particular, se busca aplicar esta solución al caso de algoritmos de búsqueda en espacio de estados escritos en Java. Específicamente, se propone un sistema

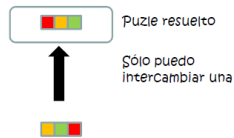


Figura 1.2: Estado final y estado inicial

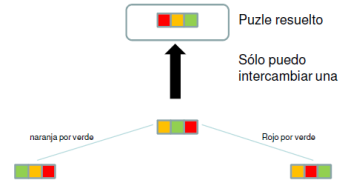


Figura 1.3: primera iteración

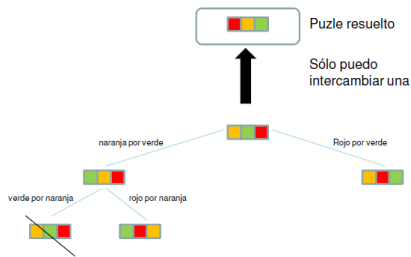


Figura 1.4: segunda iteración

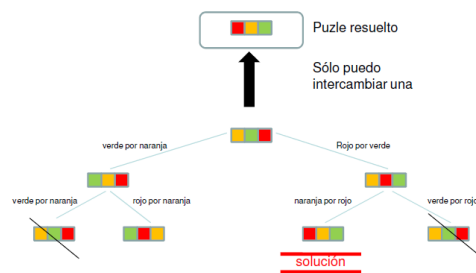


Figura 1.5: tercera iteración

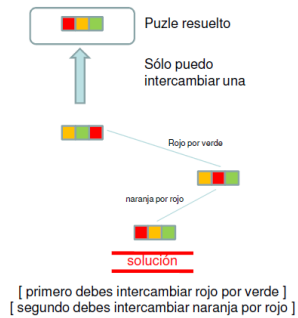


Figura 1.6: Solución encontrada

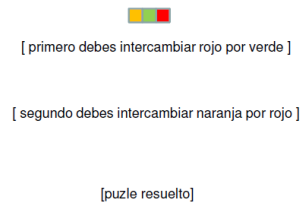


Figura 1.7: pasos solución

que utiliza trazas de ejecución obtenidas de los algoritmos de búsqueda en espacio de estados para obtener una representación gráfica expresada en videos planteados como recursos de aprendizaje. El hecho de que los videos haya sido implementados en Java, sin ninguna librería especializada, puede ser su principal limitaciones ya que los aspectos gráficos han sido creados con las librerías.

Más formalmente, nuestra investigación se diseñó para evaluar la siguiente hipótesis: *“Es posible la construcción de un recurso educativo digital para el aprendizaje de algoritmos de búsqueda, mediante la generación automática de videos explicativos a partir de sus trazas de ejecución”*. Para dar respuesta a esta hipótesis, se propone una metodología basada en seis fases:

1. **Creación de trazas de ejecución.** En esta fase se diseñó e implementó un framework para capturar trazas de ejecución de algoritmos de búsqueda. Nuestro objetivo fue crear un módulo reutilizable para capturar los datos que se puedan generar en múltiples programas que implementan algoritmos de búsqueda en un espacio de estados. Los datos capturados corresponden a todos los valores de las estructuras de datos relevantes relacionados al funcionamiento de los algoritmos de búsqueda en espacio de estados. Con especial énfasis en las estructuras de datos utilizadas asociadas a los estados. Utilizando estados como base, se representa la exploración de múltiples estados enlazados. Utilizando múltiples estados, se representan estructuras más complejas como listas. De esta forma la traza de ejecución registra los estados definidos, sus cambios, y el comportamiento de la búsqueda desde el estado inicial al final.
2. **Traducción de trazas de ejecución a ontologías.** En esta fase se diseñó e implementó un analizador léxico y sintáctico que tiene como objetivo transformar las trazas de ejecución en una representación de conocimiento lo más interpretable posible. Para ello se crearon reglas de análisis léxico usando expresiones regulares, y a partir de estas, reglas de análisis sintáctico, las cuales se utilizan para definir la sintaxis de las expresiones utilizadas por las trazas de ejecución.
3. **Generación de fotogramas.** Esta fase contempla el diseño e implementación de explicaciones y material visual. Se creó un sistema que utiliza las expresiones categorizadas por los analizadores léxico y sintáctico. Estas expresiones se relacionan a través de plantillas para generar nuevas oraciones más complejas estructuradas que permiten explicar los eventos registrados por las trazas de ejecución. A partir de estas explicaciones, se implementan gráficos que representan los cambios de estado aludidos en las explicaciones. Explicaciones y gráficos generados se consolidan en fotogramas.
4. **Incorporación de discurso entre fotogramas (storytelling).** Se diseñó e implementó narración utilizando técnicas de generación de lenguaje natural. El sistema genera fotogramas por medio del uso de plantillas, y organiza los fotogramas generados por medio de un modelo de planificación de fotogramas.

5. **Creación del vídeo.** Se implementó un sistema que consolida el material creado en un vídeo. En esta fase se implementa la consolidación de los fotogramas generados, generándose un video compuesto de fotogramas que siguen la organización planificada.
6. **Evaluación.** Se enviaron vídeos generados y un cuestionario¹ por correo electrónico, a alumnos que ya hayan estudiado búsqueda en espacio de estados para que puedan dar su opinión respecto a su valor y parecido con las clases que recibieron previamente. El cuestionario mide la ayuda que los vídeos les proporcionan para mejorar su comprensión de los algoritmos de búsqueda. En específico, el cuestionario utiliza el estándar del instrumento de revisión de objetos de aprendizaje (LORI, por sus siglas en inglés), el cual presenta un marco para evaluar la calidad de los recursos de aprendizaje multimedia (Leacock y Nesbit, 2007). Los principales aspectos a evaluar en el cuestionario a entregar son: la calidad del vídeo, la calidad del contenido, motivación y diseño/presentación. Las respuestas se miden utilizando la escala de Likert, la cual es una técnica para la medición de actitudes (Likert, 1932). Ésta busca medir cuán de acuerdo están los encuestados con ciertas declaraciones. Se mide desde totalmente en desacuerdo (1), hasta totalmente de acuerdo (5).

¹Al final de este documento se incluye un anexo con las preguntas del cuestionario a utilizar.

Capítulo 2

Conceptos preliminares

En este capítulo se explican brevemente algunos conceptos e ideas generales relacionadas a la solución propuesta. Entendiéndose que estas son nociones mínimas necesarias para comprender los temas abordados en las secciones siguientes.

2.1. Resolución de problemas utilizando un espacio de estados

Problemas de distinta naturaleza pueden resolverse por medio de una formalización del proceso de resolución, esta comienza con la modelización del problema, la cual consta de tres pasos: la modelización del entorno en que se mueve el sistema, la modelización de las acciones del sistema y la definición del problema (Vicenç Tuesta y Reventós, 2019).

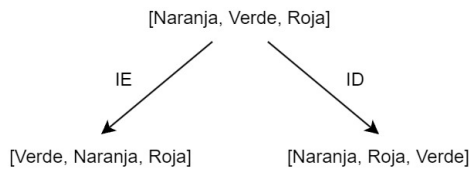
1. **Modelización del entorno en que se mueve el sistema.** Si entendemos una representación del entorno de un sistema en un momento dado como un estado. La modelización del entorno corresponde a la representación de un conjunto de todos los estados posibles con los que trabaja un sistema.
2. **Modelización de las acciones del sistema.** Si entendemos que un sistema modifica su entorno por medio de acciones las cuales se representan como cambios de un estado a otro. La modelización de las acciones de un sistema corresponde a la representación de las acciones como transiciones de un estado a otro. El conjunto de todos los estados posibles y las acciones que actúan en estos estados define el espacio de estados, y puede representarse como un grafo dirigido.
3. **Definición del problema.** Corresponde a una representación del estado inicial y el estado objetivo.

Una vez definido el problema, este se puede resolver realizando una búsqueda que encuentre un camino que conecte el estado inicial y el estado objetivo en el grafo que representa el espacio de estados. El o los caminos resultantes de la búsqueda corresponden a las soluciones posibles del problema (Vicenç Tuesta y Reventós, 2019).

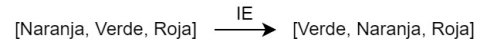
Formalmente, un espacio de estados consta de un conjunto de estados y una colección de operadores. Los estados son configuraciones del problema a resolver. Los operadores son acciones que asignan un estado a otro. En general, un espacio de estados es un grafo, en el que los nodos representan estados y las aristas representan operadores o transiciones de estado. La búsqueda en un espacio de estados es una exploración sistemática del espacio para encontrar uno o más nodos objetivo que tengan propiedades específicas, o un camino desde el estado inicial hasta un estado objetivo (Zhang y Korf, 1995).

Para el correcto entendimiento de estos conceptos utilizaremos un problema de ejemplo, en este caso, el puzzle simple de tres colores. Este es un puzzle en el que se reorganizan 3 piezas de distintos colores para que adopten una configuración deseada, intercambiando la ubicación de dos piezas adyacentes cada vez. Siguiendo el proceso de modelización del problema, procedemos con los pasos:

a. Aplicación de IE e ID en el estado [Naranja, Verde, Roja]



b. Aplicación de IE en el estado [Naranja, Verde, Roja]



c. Espacio de estados correspondiente al puzzle de tres colores

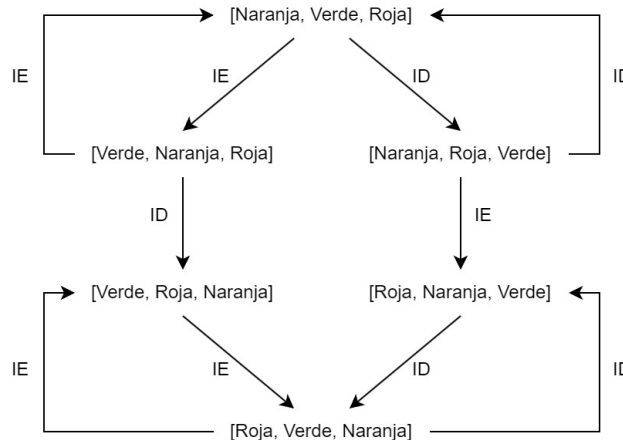


Figura 2.1: Posibles acciones del sistema en el puzzle simple de tres colores. Siguiendo el ejemplo descrito en el Apartado 2.1, en esta figura se representan las acciones posibles (Intercambio izquierda(IE) e intercambio derecha(ID)) a partir de un estado inicial [Naranja, Verde, Roja] en (a,b), y un el espacio de estados correspondiente a todos los estados posibles del ejemplo descrito (c).

1. **Modelización del entorno en que se mueve el sistema.** Para este ejemplo uti-

lizaremos piezas de colores naranja, verde y roja. Las cuales, descritas en secuencias como [Naranja, Verde, Roja], [Verde, Naranja, Roja] y [Naranja, Roja, Verde] representan estados posibles. En este caso, el conjunto de estados posibles es el conjunto de todas las secuencias posibles construibles con las permutaciones de los tres colores. Considerando esto, establecemos que el número de combinaciones posibles de 6, y la lista de estados posibles es la siguiente: {[Naranja, Verde, Roja], [Verde, Naranja, Roja], [Naranja, Roja, Verde], [Verde, Roja, Naranja], [Roja, Naranja, Verde], [Roja, Verde, Naranja]}.

- 2. Modelización de las acciones del sistema.** En el sistema del puzzle simple de tres colores hay dos acciones posibles correspondientes a los dos intercambios posibles. Denominaremos las acciones ID e IE, que corresponderán, respectivamente, a los intercambios derecho e izquierdo. Si consideramos un estado [A, B, C], la acción IE nos conducirá al estado [B, A, C], y la acción ID al estado [A, C, B]. En la figura 1, en la Figura 2.1, en (a) “Aplicación de IE e ID en el estado [Naranja, Verde, Roja]”, se ven estos intercambios representados gráficamente, aplicados a los estados previamente descritos; en (b) “Aplicación de IE en el estado [Naranja, Verde, Roja]” se ejemplifica el intercambio izquierdo (IE) de forma aislada; y en (c) “Espacio de estados correspondiente al puzzle de tres colores” se representa en espacio de estados considerando las 6 permutaciones posibles descritas previamente.
- 3. Definición del problema.** En el caso del puzzle simple de tres colores, un ejemplo de problema es el siguiente: dada la secuencia [Naranja, Verde, Roja], determinar los movimientos para conseguir la secuencia [Roja, Verde, Naranja]. En este caso, el estado inicial es [Naranja, Verde, Roja] y el estado objetivo es [Roja, Naranja, Verde].

Una vez hemos definido el problema, se procede a buscar una solución. Considerando el estado inicial como punto de partida para la búsqueda y el estado final como punto de finalización. Se utiliza un algoritmo de búsqueda para encontrar un camino en el grafo representado por el espacio de estados. El algoritmo de búsqueda construye un camino entre el estado inicial y el estado final en pasos sucesivos. Este camino, se representa como un grafo dirigido entre el estado inicial y el estado final, una secuencia de estados sucesivos conectados por acciones. Una búsqueda exitosa puede resultar en más de un camino solución (Vicenç Tuesta y Reventós, 2019).

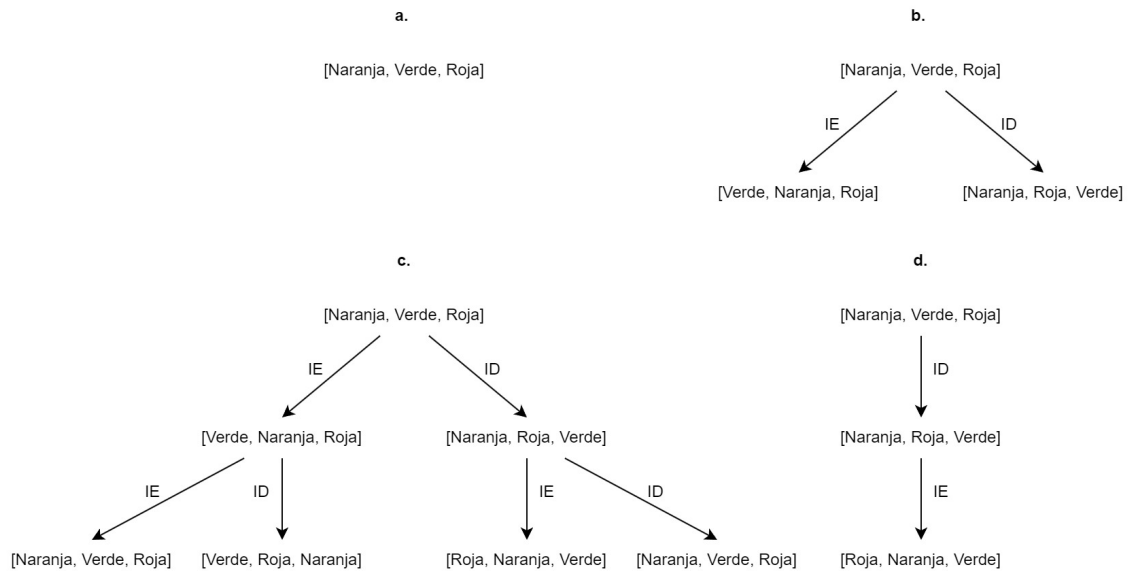


Figura 2.2: Caminos conseguidos en los pasos sucesivos de la búsqueda. Siguiendo el ejemplo descrito en el Apartado 2.1, en esta figura se representa el grafo con el estado inicial de la búsqueda $[Naranja, Verde, Roja]$ antes de que se construyan caminos (a), el grafo después de construidos los primeros dos caminos a partir del estado inicial (b), el grafo después de construidos los caminos subsecuentes a los primeros dos caminos (c), y se representa el camino solución resultante de la búsqueda (d).

Continuando con el ejemplo planteado, se estableció un estado inicial $[Naranja, Verde, Roja]$ y estado objetivo $[Roja, Naranja, Verde]$. La búsqueda comienza a partir del estado inicial con un camino vacío (sin ninguna acción asociada). Esto se ve representado en la Figura 2.2, en (a). Dado que el estado actual $[Naranja, Verde, Roja]$ no corresponde al estado objetivo, la búsqueda se expande explorando las acciones posibles (IE, ID) a partir del estado actual $[Naranja, Verde, Roja]$, estas acciones nos conducen a los estados $[Verde, Naranja, Roja]$ cuando se realiza el intercambio izquierdo (IE) y $[Naranja, Roja, Verde]$ cuando se realiza el intercambio derecho (ID). Utilizando las acciones y estados explorados se construyen dos nuevos caminos. Estos caminos se ve representados en un grafo en la Figura 2.2, en (b). Dado que ninguno de los estados explorados corresponde al estado objetivo, la búsqueda prosigue explorando las acciones posibles (IE, ID) a partir de los estados $[Verde, Naranja, Roja]$ y $[Naranja, Roja, Verde]$, estas nos conducen a los estados $[Naranja, Verde, Roja]$, $[Verde, Roja, Naranja]$, $[Verde, Naranja, Roja]$ y $[Naranja, Verde, Roja]$. Utilizando las acciones y estados explorados se construyen cuatro nuevos caminos. Estos caminos se ve representados en un grafo en la Figura 2.2, en (c). Con esta información ahora sabemos que el camino ID, IE lleva a al estado objetivo $[Roja, Naranja, Verde]$. La búsqueda termina exitosamente encontrando un solución en el grafo que conecta los estados $[Naranja, Verde, Roja]$ y $[Roja, Verde, Naranja]$. Este grafo se ve representado en la Figura 2.2, en (d).

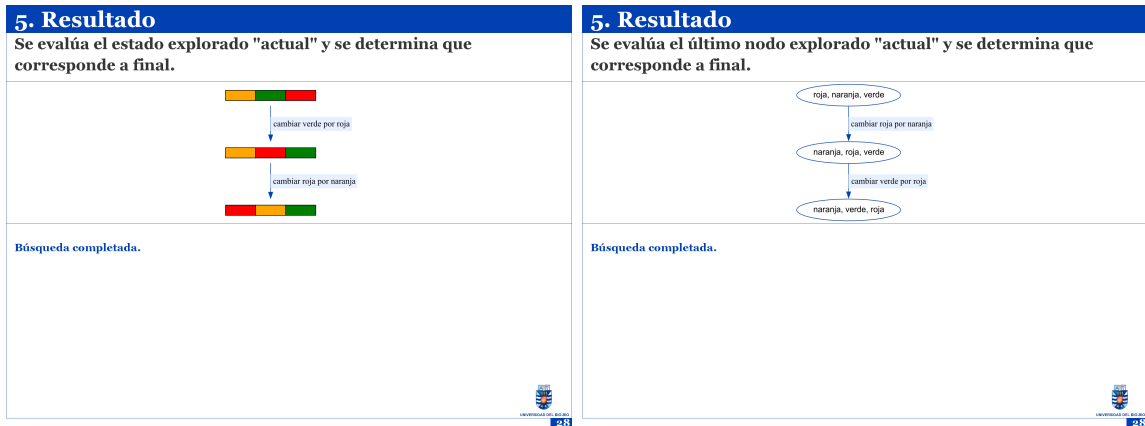


Figura 2.3: Representaciones del resultado del ejemplo. La implementación desarrollada explica búsquedas apoyándose en grafos con representaciones a elección. En esta figura se puede ver grafo resultante de la búsqueda usada como ejemplo en la Figura 2.2 (d)

En la solución propuesta, se presentan y explican búsquedas utilizando grafos como apoyo visual, estos son similares a los vistos en la Figura 2.2. En la Figura 2.3 se puede ver un par de fotografías que demuestran la representación del resultado de la búsqueda ejemplificada previamente. En particular, se representa el grafo (d) en la Figura 2.2. En los Apartados 3.1.3, 3.1.4 y 3.2.3 se explica en mayor detalle la implementación de las representaciones gráficas.

2.2. Rastreo y Trazas de ejecución

2.2.1. Trazas de ejecución

Una traza de ejecución es un registro de los datos sobre eventos ocurridos durante la ejecución de un programa (implementación en algún lenguaje de programación de un algoritmo). Es el resultado del rastreo (o *Tracing*), que es una técnica que registra y guarda cada uno de los eventos ocurridos, en lugar de agregarlos y resumirlos, como haría una herramienta de análisis de rendimiento de código (*profiling tool*). Una secuencia completa de eventos, puede ser utilizada por un desarrollador para analizar un problema, investigarlo en profundidad, y descubrir sus causas. El rastreo funciona insertando puntos de rastreo en el código fuente de un programa. Los puntos de rastreo llaman al rastreador para registrar datos cuando se alcanzan durante una ejecución (Nadeau et al., 2019).

En la solución propuesta, el registro de eventos de eventos se realiza por medio del uso de rastreo estático. Los eventos se registran de forma tal que sean fáciles de analizar para la posterior generación de vídeos. En el Apartado 3.2.1 se presenta un ejemplo y se explica en mayor detalle la implementación realizada.

2.2.2. Rastreo estático

En la solución propuesta se plantea el uso de rastreo estático, que se refiere a la inserción de la instrumentación de código en el código fuente de un programa antes de la compilación. Se insertan puntos de rastreo y sondas para controlar dónde y cuándo se rastrean variables. Esto también permite controlar cuándo se realiza rastreo en la aplicación, y si el rastreo esta se encuentra activo en tiempo de ejecución. Este tipo de instrumentación es muy eficiente ya que el compilador puede optimizar las llamadas a las funciones de rastreo (Nadeau et al., 2019).

Los principales conceptos del rastreo estático son:

1. **Puntos de rastreo.** Son funciones que representan de eventos relevantes, utilizadas para crear un registro de lo que esta sucediendo en un sistema. Usualmente se ubican en partes importantes del código fuente y se usan para construir un panorama general de lo que sucede dentro de un sistema.

Los puntos de rastreo se deben insertar manualmente en el código fuente, por lo tanto se vuelven una adición al código fuente de una aplicación. Considerando el desempeño de una aplicación, los puntos de rastreo se pueden enlazar con sondas para controlar su actividad durante el tiempo de ejecución, asegurando que el desempeño de la aplicación no se vea impactado cuando los puntos de rastreo no se estén utilizando.

2. **Sondas.** Son funciones de control utilizadas para activar puntos de rastreo, y así condicionar cuando se registran eventos. Una sonda debe enlazarse a un punto de rastreo para controlar si se encuentra activado o desactivado. La idea es que, cuando el rastreo se encuentre activo, los puntos de rastreo registran sus eventos asociados constantemente, y en caso contrario, cuando el rastreo no se encuentre activo, los puntos de rastreo no se activan, por lo que no se registran eventos.

Para entender de mejor forma estos conceptos utilizaremos un sencillo ejemplo representado en el Listado 2.1. Una función de rastreo se implementa para registrar un evento relevante, en este caso un dato relevante. En el Listado 2.1, esto se ve reflejado en la línea 8, donde se encuentra la función *rastrear()* y esta usa como parámetro la variable *dato_relevante*. La idea es registrar el valor de esta variable. La activación de la función *rastrear()*, se encuentra condicionada al resultado de la función *rastreo_activado()*. Esta función es una sonda utilizada para determinar la activación del punto de rastreo *rastrear()*. La idea es que su implementación permita controlar la activación del punto de rastreo durante en tiempo de ejecución.

La solución propuesta utiliza distintas funciones de rastreo por cada una de las principales reglas gramaticales utilizadas para el análisis de las trazas de ejecución. En el Apartado 3.2.1 se explica el uso de puntos de rastreo en la implementación realizada.

```
1 int i;
2 int dato_relevante = 0;
3
4 for (i = 0; i < cuenta; i++)
5     dato_relevante += incremento();
6
7 if (rastreo_activado()) {
8     rastrear(dato_relevante)
9 }
```

Listado 2.1: Ejemplo de rastreo estático. En este listado se puede ver un ejemplo de una sonda (*rastreo_activado()*) controlando la ejecución de un punto de rastreo (*rastrear()*) a través de una instrucción if-then.

2.3. Análisis léxico y sintáctico

2.3.1. Análisis léxico

El análisis léxico es la tarea realizada por el analizador léxico o lexer. Este usa como entrada una secuencia de caracteres y produce como salida una secuencia de palabras. Para producir las palabras resultantes, el lexer agrega caracteres para formar posibles palabras, luego aplica un conjunto de reglas para evaluar la validez de las palabras en un lenguaje determinado. Si una palabra es válida, se le asigna una categoría sintáctica o gramatical. En la práctica, cada palabra se representa como un par (*palabra, categoría*). Las reglas utilizadas para producir y clasificar palabras, describen la estructura léxica de un lenguaje, a esta se le denomina microsintaxis, en otras palabras, la microsintaxis de un lenguaje especifica la forma agrupar y separar caracteres en palabras. (Cooper y Torczon, 2012a)

En la solución propuesta, la especificación de la microsintaxis se realiza por medio del uso de expresiones regulares (RE), y la clasificación se realiza con un número reducido de categorías, siguiendo una línea de pensamiento similar a la utilizada por los analizadores léxicos de compiladores en general. En los Apartados 3.1.2 y 3.2.2 se explica en mayor detalle la implementación realizada.

2.3.2. Análisis sintáctico

El análisis sintáctico es la tarea realizada por el analizador sintáctico o parser. Este usa como entrada una secuencia de palabras clasificadas producidas por un lexer y evalúa su validez como oraciones. Este proceso se realiza derivando, una derivación es una secuencia de pasos de reescritura que comienza con el símbolo de inicio de la gramática y termina con una oración. El parser intenta construir una derivación para la secuencia de entrada, encajando las palabras en un modelo gramatical, de esta forma se evalúa si la secuencia de entrada es una secuencia válida o no. Para evaluar realizar la evaluación de las oraciones se utiliza un conjunto de reglas que describen cómo formar oraciones. (Cooper y Torczon,

2012b)

En la solución propuesta la notación utilizada para describir la sintaxis del lenguaje, es la gramática libre de contexto. Esta describe un conjunto de reglas que indican cómo formar oraciones.

Usando la definición presentada en (Cooper y Torczon, 2012b), definimos formalmente a una gramática libre de contexto G como una cuádrupla (T, NT, S, P) donde:

T es el conjunto de símbolos terminales, o palabras, en el lenguaje $L(G)$.

NT es el conjunto de símbolos no terminales que aparecen en las producciones de G . Los no terminales son variables sintácticas, introducidas para proporcionar abstracción y estructura en las producciones.

S es un no terminal designado como símbolo de meta o símbolo de inicio de la gramática. S representa el conjunto de oraciones en $L(G)$.

P es el conjunto de producciones o reglas de reescritura en G . Cada regla en P tiene la forma $NT \rightarrow (T \cup NT)^+$ es decir, reemplaza un solo no terminal con una cadena de uno o más símbolos gramaticales.

En la solución propuesta, la especificación de la sintaxis de las oraciones se realiza por medio del uso de expresiones compuestas de otras expresiones hasta que se alcanzan las expresiones regulares (RE) utilizadas para clasificar palabras, y la clasificación también se realiza con un número reducido de categorías, siguiendo una línea de pensamiento similar a la utilizada por los analizadores léxicos de compiladores en general. En los Apartados 3.1.2 y 3.2.2 se explica en mayor detalle la implementación realizada.

Capítulo 3

Metodología para la generación de videos y su implementación

Este capítulo se describe la metodología de generación de videos y los detalles de la implementación desarrollada durante esta investigación.

3.1. Metodología de generación de videos

En esta sección se presenta la metodología de generación de vídeos utilizado en la solución propuesta. La metodología explicada aquí sigue algunas de las ideas y conceptos presentados en (Rubio-Manzano et al., 2021). Nuestra metodología se compone de cuatro módulos: Trazado de ejecución, Análisis y evaluación de trazas de ejecución, Representación gráfica de las trazas de ejecución y Planificación de fotogramas. Como se puede apreciar en la Figura 3.1, la metodología utiliza como base el código de un algoritmo de búsqueda en espacio de estados, a partir de este, se obtiene un registro de su ejecución, el cual es analizado y evaluado para generar representaciones gráficas en forma de fotogramas, estas son organizadas de acuerdo a una planificación y el resultado es un vídeo explicativo de los pasos desarrollados por la ejecución del algoritmo. El video explica paso a paso y de forma visual el comportamiento la búsqueda y las estructuras de datos relevantes asociadas a la esta. Esto permite al usuario, tener toda la información relevante de la ejecución de un algoritmo búsqueda en espacio de estados en forma de un vídeo explicativo. A continuación

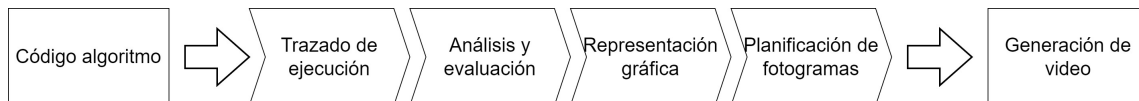
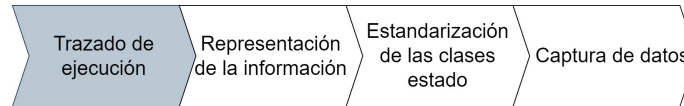


Figura 3.1: Metodología de generación de vídeos. La metodología utiliza como base el código de un algoritmo de búsqueda en espacio de estados, a partir de esta, se obtiene un registro de su ejecución y el resultado es un vídeo explicativo de los pasos desarrollados por la ejecución del algoritmo.

se explican detalladamente los distintos módulos.



3.1.1. Trazado de ejecución

El primer paso para generar un video explicativo a partir del código de un algoritmo de búsqueda en espacio de estados, es realizar un trazado de su ejecución. Éste, genera una representación secuencial de su comportamiento al desempeñar una búsqueda. Sin embargo, para poder realizar el trazado sobre códigos escritos por distintas personas, las cuales escribieron sus códigos siguiendo distintas convenciones y paradigmas, se debe seguir un proceso que permita obtener trazas de ejecución considerando estas posibles diferencias.

El módulo de Trazado de ejecución se compone de tres elementos: Representación de la información, Estandarización de las clases y Captura de datos.

Representación de la información

Para representar la ejecución de una búsqueda en espacio de estados en una traza de ejecución, primero debemos crear una definición formal de como se representan los estados. Si entendemos un espacio de estados como un conjunto de todas las posibles configuraciones de un sistema. Definimos formalmente un estado como un conjunto de tres elementos (S,A,P) descritos de la siguiente forma:

S es una representación la configuración actual de un estado, esta puede tomar el valor de cualquiera de las posibles configuraciones de un sistema.

A es un descriptor de la acción realizada para alcanzar el estado actual.

P es un enlace al estado que precedió al actual (si es que existe).

En la Figura 3.2 se muestra una representación de los estados (S,A,P) que se pueden obtener a partir de un grafo de una búsqueda en espacio de estados. Cada uno de los estados representados en el grafo puede representarse como un estado (S,A,P), incluyendo el estado inicial [Naranja, Verde, Roja] no tiene predecesor, por lo que siguiendo la definición previamente dada se representa como ([Naranja, Verde, Roja], «acción vacía», «sin predecesor»). El estado [Verde, Naranja, Roja] tiene como predecesor al estado [Naranja, Verde, Roja] y esta conectado con este estado por medio de la acción IE, por lo que se representa como ([Verde, Naranja, Roja],IE,[Naranja, Verde, Roja]). Finalmente, el estado [Naranja, Roja, Verde] tiene como predecesor al estado [Naranja, Verde, Roja] y esta conectado con este estado por medio de la acción ID, por lo que se representa como ([Naranja, Roja, Verde],ID,[Naranja, Verde, Roja]).

a. Representación de estados (S,A,P) a partir de un ejemplo de grafo de búsqueda

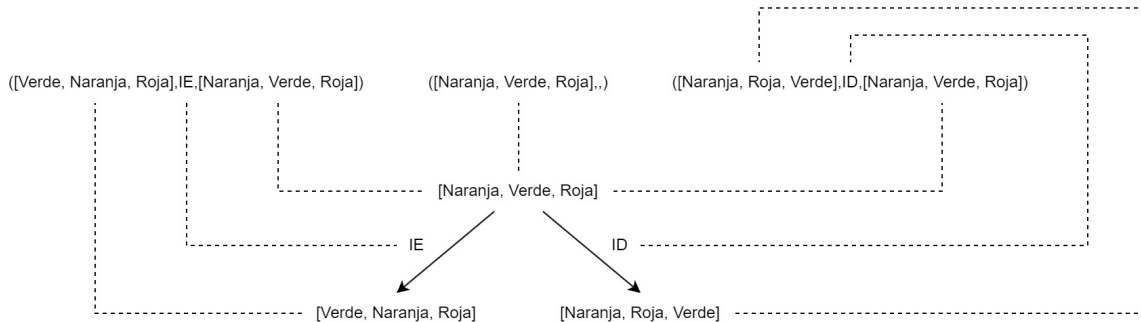


Figura 3.2: **Ejemplo de representación de la definición estados (S,A,P).** En esta figura se representan estados (S,A,P) obtenidos a partir de un grafo del ejemplo presentado en el Apartado 2.1. Se puede observar como estados (S,A,P) se construyen a partir de dos estados conectados por una acción, exceptuando el caso del estado inicial.

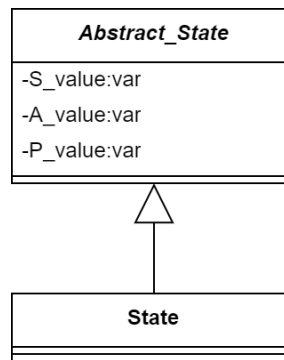


Figura 3.3: Ejemplo de clase abstracta para la estandarización de las clases estado. En esta figura se representa una clase abstracta estado que contiene variables de acuerdo a la definición de estado (S,A,P) presentada en el Apartado 3.1.1.

Estandarización de las clases estado

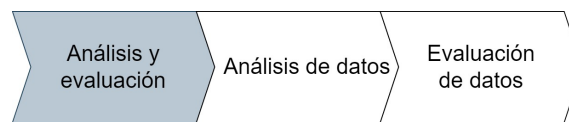
El segundo paso para representar la ejecución de una búsqueda en espacio de estados en una traza de ejecución es asegurarnos de que los estados utilizados en el código de un algoritmo de búsqueda en espacio de estados se ajusten a la definición de estado que utilizamos. Para conseguir esto, se realiza una pequeña modificación de mínimo impacto. En esta solución propuesta se introduce una clase abstracta estado y se modifica la clase estado del algoritmo de búsqueda para que se extienda de ésta. De esta forma se podrá consultar una instancia de la clase abstracta estado para obtener los datos necesarios para captura de datos.

En la Figura 3.3 se muestra una representación de lo que se busca hacer en este paso. La clase abstracta nos permite consultar variables de estado conocidas para realizar la

captura de datos de los estados utilizados en las búsquedas.

Captura de datos

Finalmente para representar la ejecución de una búsqueda en espacio de estados en una traza de ejecución se necesario capturar los datos de la ejecución. Esta metodología contempla el uso de rastreo estático, insertándose puntos de rastreo en el código, con los cuales se registran los valores de los estados alcanzados durante la búsqueda y el evento que los produjo. En la solución propuesta se utiliza una clase de rastreo, la cual provee métodos para insertar puntos de rastreo asociados a eventos específicos.



3.1.2. Análisis y evaluación de trazas de ejecución

El segundo paso para generar un video explicativo a partir del código de un algoritmo de búsqueda en espacio de estados, es realizar un análisis y evaluación la traza de ejecución generada. El análisis permite identificar los datos de la traza de ejecución de acuerdo a sus categorías y oraciones, mientras que la evaluación permite validar y organizar los datos identificados para generar representaciones gráficas de la ejecución.

El modulo de Análisis y evaluación se compone de dos elementos: Análisis de datos de traza de ejecución y Evaluación de datos de traza de ejecución.

Análisis de datos de traza de ejecución

Para realizar un análisis que permita identificar los datos de la traza de ejecución de acuerdo a sus categorías y oraciones. Utilizando un lexer y un parser, se especifica una microsintaxis y una sintaxis, las cuales permiten separar los datos de la traza de ejecución de acuerdo a sus categorías y oraciones. Teniendo como objetivo, una posterior evaluación secuencial de los eventos ocurridos durante la ejecución.

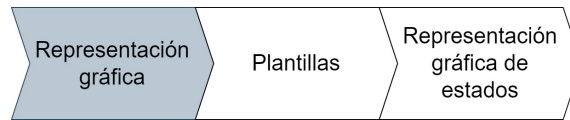
La solución propuesta utiliza una microsintaxis enfocada en categorizar variables, operadores, y anidaciones. La sintaxis de la solución propuesta se enfoca en oraciones que describen variables y sus eventos asociados (ej. asignar un estado estado, añadir o remover un estado de una colección, etc.).

Evaluación de datos de traza de ejecución

Para realizar una evaluación que permita validar y organizar los datos de la traza de ejecución de acuerdo a sus categorías y oraciones. Utilizando un lexer y un parser, se valida la microsintaxis y una sintaxis especificadas, además se modifica el evaluador para llevar un registro de variables y los eventos asociados a estas, de forma tal que se pueda identificar el

contexto de una operación (ej. recordar los valores de la variables, permite la representación operaciones descritas en más de una oración)

La solución propuesta utiliza un evaluador que reúne los datos de oraciones validas y los entrega al generador de fotogramas para producir una representación gráfica de los eventos representados en las trazas de ejecución.



3.1.3. Representación gráfica de las trazas de ejecución

El tercer paso para generar un video explicativo a partir del código de un algoritmo de búsqueda en espacio de estados, es generar una representación gráfica de los eventos representados en la traza de ejecución generada. Para esto se utilizan datos clasificados, obtenidos en el proceso de análisis y evaluación, son administrados por un generador de fotogramas. Utilizando plantillas, el generador de fotogramas crea fotogramas que contienen explicaciones de los eventos registrados en una traza de ejecución, estas explicaciones van acompañadas por imágenes que representan los estados asociados a los eventos explicados. Los fotogramas son representados en un orden que narra los eventos en orden secuencial. Este orden es determinado, siguiendo la organización la planificación de fotogramas. Cuando todos los fotogramas pertenecientes a un representación gráfica de una ejecución se han generado, se unen para formar el video resultante.

El modulo de Representación gráfica se compone de dos elementos: plantillas y representación gráfica de estados.

Plantillas

Para la generación de las explicaciones de los eventos registrados en la traza de ejecución, el generador de fotogramas utiliza los datos clasificados junto a un conjunto de plantillas prediseñadas para explicar los eventos validados durante la evaluación de trazas de ejecución.

En la solución propuesta se usa una plantilla por cada tipo evento registrado (algunos eventos se agrupan para ser representados con una sola plantilla. ej: declaraciones de variables.), y plantillas distintas pueden usarse un mismo tipo de fotograma.

Representación gráfica de estados

Para generar las imágenes que representan los estados asociados a los eventos explicados. Se utilizan los mismos datos clasificados, en particular, se utilizan los datos correspondientes a estados (S,A,P), con estos se generan grafos que representan caminos recorridos durante una búsqueda. En los grafos, los estados son representados en relación a sus predecesores, conectados por las acciones realizadas para alcanzar el estado representado.

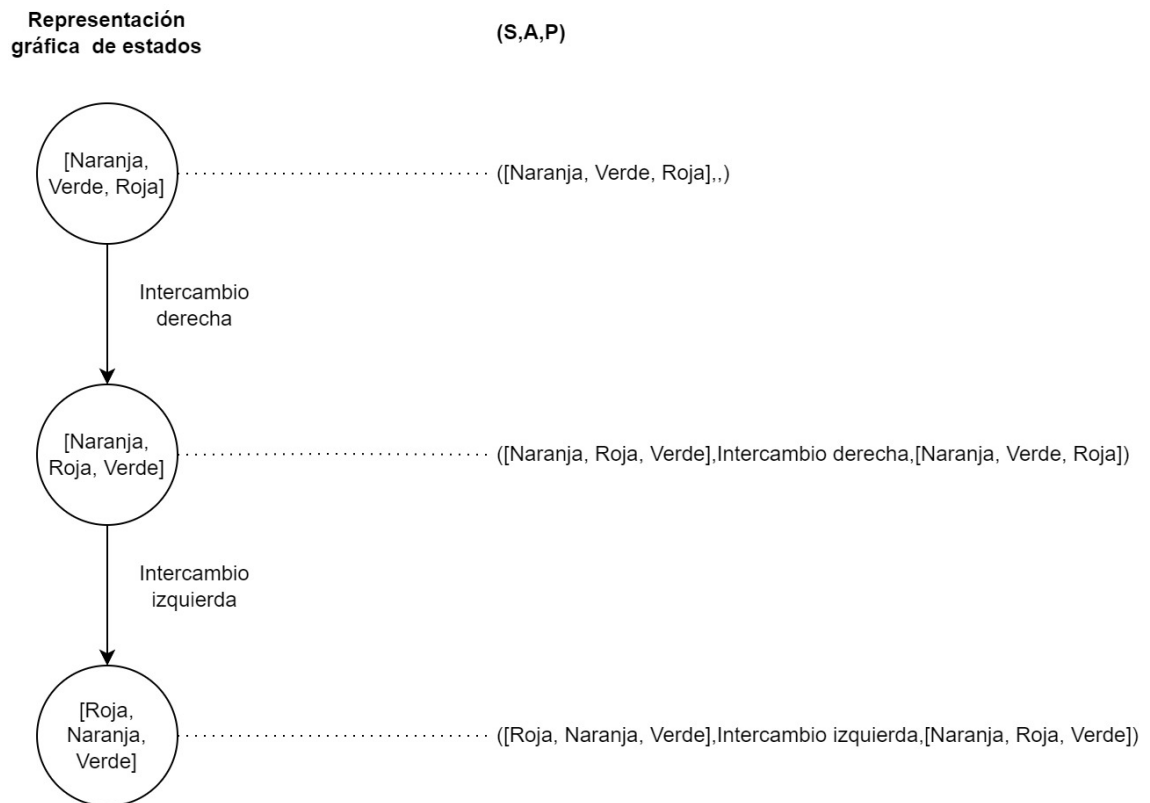


Figura 3.4: Ejemplo de representación gráfica de estado (S,A,P). En esta figura se representa gráficamente el camino correspondiente a la solución del ejemplo presentado en el Apartado 2.1. Se puede observar como estados (S,A,P) se traducen a un grafo que representa el camino recorrido en una búsqueda.

En la Figura 3.4, se puede observar una presentación de estados de acuerdo a la definición propuesta en el Apartado 3.1.1. En particular, se presenta una representación gráfica del camino correspondiente a la solución del ejemplo presentado en el Apartado 2.1. La idea, es una representación de nodos conectados por acciones, cuya estructura está dada por los datos de los estados (S,A,P). A partir de un estado ([Roja, Naranja, Verde],Intercambio izquierda,[Naranja, Roja, Verde]), se puede deducir por sus valores S, A, P, que un estado [Roja, Naranja, Verde] es precedido por un estado [Naranja, Roja, Verde], y ambos estados están conectados por una acción “Intercambio izquierda”. Si también se considera el estado ([Naranja, Roja, Verde],Intercambio derecha,[Naranja, Verde, Roja]), se puede deducir por sus valores S, A, P, que el estado [Naranja, Roja, Verde] es precedido por un estado [Naranja, Verde, Roja], y ambos estados están conectados por una acción “Intercambio derecha”. Finalmente, si se considera el estado ([Naranja, Verde, Roja],), dado que no tiene un valor A ni un valor P, se puede deducir que es el estado inicial de una búsqueda. Con esta información puede crear una representación gráfica de un camino recorrido por una búsqueda en espacio de estados, y en la Figura 3.4 se puede ver el grafo que representa este camino.

3.1.4. Planificación de fotogramas

Un vez generadas las explicaciones y representaciones de los estados, ambas se unen para generar fotogramas, resultando múltiples tipos de fotogramas a organizar con el objetivo de crear una narrativa.

Los distintos tipos de fotogramas utilizados en la solución propuesta son los siguientes:

- **Título.** Un tipo de fotograma dedicado a la presentación de la búsqueda.
- **Contenidos.** Un tipo de fotograma que lista una tabla con los contenidos a presentar
- **Definiciones.** Un tipo de fotograma que define las estructuras de datos utilizadas durante una búsqueda (Estados y listas).
- **Declaraciones.** Un tipo de fotograma dedicado a presentar las variables utilizadas durante una búsqueda (Variables de estados y listas).
- **Búsqueda.** Un tipo de fotograma dedicado a presentar los distintos eventos de búsqueda registrados en orden secuencial (Su contenido varia dependiendo de como se comporte una búsqueda).
- **Resultado.** Un tipo de fotograma que presenta la representación del camino solución de una búsqueda.

Finalmente, para generar un video explicativo resultante de una traza de ejecución de una búsqueda en espacio de estados, Se deben organizar los fotogramas generados en un orden que establezca un contexto antes de realizar la búsqueda, a fin de facilitar el entendimiento de esta. Igualmente, debe representarse el resultado de la búsqueda.

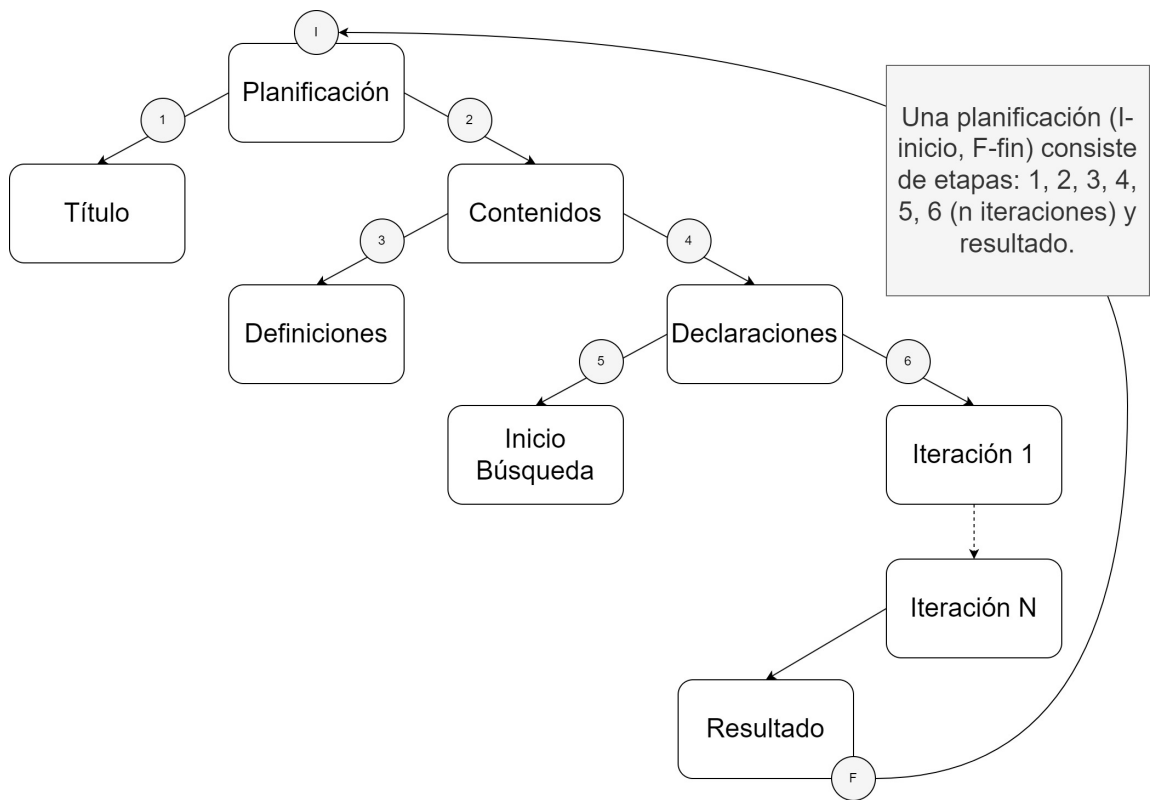


Figura 3.5: Planificación de fotogramas para un video explicativo de la ejecución de una búsqueda en espacio de estados.

En la Figura 3.5 se puede observar un diagrama de como los distintos tipos de fotogramas se organizan para generación de un video explicativo ordenados secuencialmente. El primer fotograma generado es el del título, luego sigue la tabla de contenidos, las definiciones de estructuras de datos, las declaraciones de variables, y posteriormente se itera sobre los pasos de una búsqueda realizada. El último fotograma presenta el resultado de una búsqueda.

3.2. Implementación de la generación de videos

3.2.1. Trazado de ejecución

En esta sección se describe en mayor detalle el funcionamiento del trazado de ejecución en la solución propuesta. En la primera parte del Apartado 3.2.1 se explica como se realizó la implementación de una clase abstracta estado. En la segunda parte del Apartado 3.2.1 se explica como se realizó la implementación de la captura de datos y las trazas de ejecución obtenidas.

Estandarización de las clases estado

Para la implementación de la solución se utilizó una clase abstracta (Node), la cual fue añadida al código de los algoritmos de búsqueda utilizados, para luego extender la clase estado de estos algoritmos. De esta forma se pueden encapsular los valores relevantes de la clase estado de los algoritmos de búsqueda utilizados y se puede utilizar un método *toString()* de la clase abstracta para imprimir los valores de un nodo de la misma forma, sin importar como haya sido implementado en la búsquedas.

Posteriormente el método *toString()* de la clase abstracta se vuelve de gran utilidad en la captura de datos.

En la Figura 3.6 se puede observar un modelo de la clase Node, de la forma exacta en la que fue implementada en el lenguaje de programación *Java*, incluyendo todos sus métodos.

Captura de datos

Para la implementación de la solución se utilizó una clase (Trace), la cual fue añadida al código de los algoritmos de búsqueda utilizados, para imprimir una traza de ejecución a un archivo de texto plano. Como se puede observar en la Figura 3.1, el archivo de traza de ejecución resultante, es analizado el lexer y parser para generar los datos utilizados en la generación fotogramas de los videos explicativos.

La captura de datos se realiza por medio del uso de rastreo estático, el cual, en este caso consiste en la inserción de puntos de rastreo en el código de fuente de los algoritmos de búsqueda. Esto se realiza utilizando los métodos de la clase Trace, los cuales permiten la impresión de eventos asociados a estados pertenecientes a la clase Node.

Los métodos de la clase Trace imprimen oraciones que siguen la gramática establecida por el analizador sintáctico descrita en el Apartado 3.2.2. Existe un método de impresión para cada regla establecida en dicha gramática. Puesto que todos los métodos utilizados

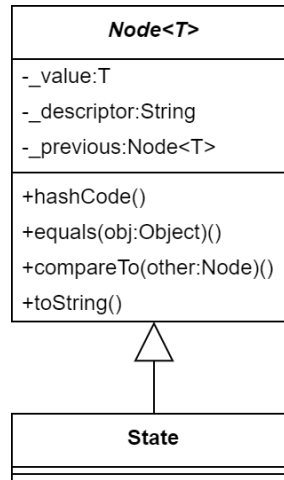


Figura 3.6: Modelado de la clase abstracta Node siendo extendido por una clase State.

para la generación de la traza de ejecución se apegan a la gramática establecida, no existe riesgo de error de validación durante la evaluación de las trazas de ejecución. En el Listado 3.1 se puede observar un ejemplo de traza de ejecución, donde cada oración se apeg a la gramática establecida por el analizador sintáctico descrita en el Apartado 3.2.2.

```

1 Tipo ESTADO = {INFO_ESTADO, MOVIMIENTO, PRECEDSOR}
2 Tipo LISTA = [CONJUNTO DE ESTADOS]
3 inicial: tipo ESTADO
4 inicial = {[naranja, verde, roja], " ", null}
5 final: tipo ESTADO
6 final = {[roja, naranja, verde], " ", null}
7 actual: tipo ESTADO
8 actual = null
9 abiertos: tipo LISTA
10 abiertos = []
11 ESTABLECER_RAIZ(inicial)
12 ESTABLECER_OBJETIVO(final)
13 abiertos.ANADIR(inicial)
14 abiertos = {[naranja, verde, roja], " ", null}
15 ...
  
```

Listado 3.1: Extracto de traza de ejecución. Se pueden observar las declaraciones iniciales de un puzzle de tres colores y el inicio de la búsqueda después de las declaraciones de estado objetivo y estado final.

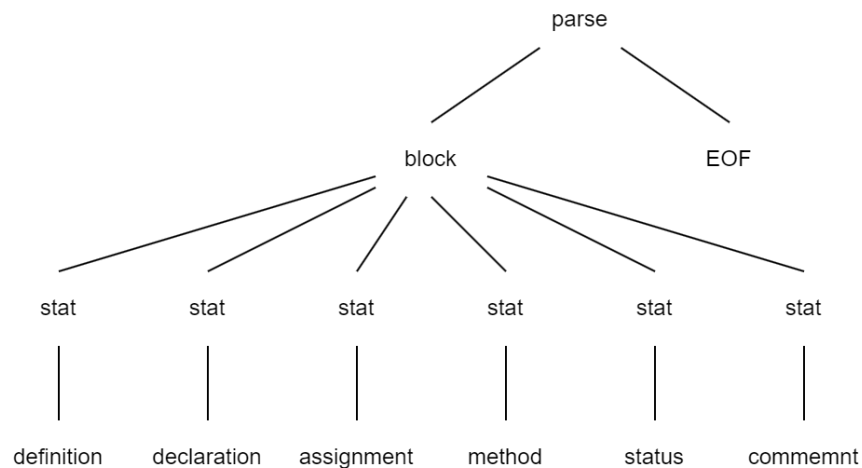


Figura 3.7: Parte superior del árbol de análisis generado a partir de las reglas gramaticales. En el se pueden observar las 6 reglas principales que componen la gramática establecida: definition, declaration, assignment, method, status, comemnt.

3.2.2. Análisis y evaluación de trazas de ejecución

En esta sección se presentan los modelos micro sintáctico y gramatical utilizados para el análisis y evaluación de trazas de ejecución, además se explican las principales reglas utilizadas y además del contexto de como se obtienen los datos de la traza de ejecución para entregárselos al generador de fotogramas.

Para el análisis y evaluación de trazas de ejecución se utilizó *ANTLR v4*, una herramienta para la generación de parsers multi-lenguaje. Utilizando una gramática definida como entrada, *ANTLR v4* es capaz de generar un analizador y evaluador en el lenguaje deseado. En este caso *Java*.

Para generar el parser, se diseñó una micro sintaxis que define los símbolos pequeños a utilizar durante la evaluación, y un modelo gramatical que contemple las declaraciones más importantes a representar visualmente durante la explicación del algoritmo de búsqueda en espacio de estados. Considerando esto, se establecen 6 reglas principales que determinan los tipos de oraciones que componen las trazas de ejecución a utilizar.

Estas corresponden a:

- **definition.** Evalúa las oraciones que declaran los tipos de datos a utilizar durante una búsqueda en espacio de estados (ej. Estados, listas.).
- **declaration.** Evalúa las oraciones que declaran nuevas variables de uso recurrente durante una búsqueda en espacio de estados.
- **assignment.** Evalúa las oraciones que asignan un nuevo valor a una variable durante una búsqueda en espacio de estados.

<i>definition</i>	$TYPE(ESTADO LISTA)ASSIGN(OBRACE OSQBRA)expr + (COMMAexpr) * (CBRACE CSQBRA)$
<i>declaration</i>	$IDCOLONTYPE(ESTADO LISTA)$
<i>assignment</i>	$IDASSIGN((OSQBRA * expr(COMMAexpr) * CSQBRA*) method)$
<i>method</i>	$(IDPERIOD) * IDOPARexpr * CPAR(COLONlist)*$
<i>status</i>	$IDexprs + ID$
<i>commemnt</i>	$COMMENT$
<i>exprs</i>	$expr(COMMAexpr)*$
<i>list</i>	$INTPERIODexpr$
<i>expr</i>	$PMINUSGTexpr atom$
<i>atom</i>	$OBRACEexprs * CBRACE OSQBRAexprs * CSQBRA (INT FLOAT) ID STRING ESTADO$

Tabla 3.1: Modelo gramatical utilizado para el análisis y evaluación de trazas de ejecución.

- **method.** Evalúa las oraciones que representan un evento registrado producto de un método utilizado durante una búsqueda en espacio de estados.
- **status.** Evalúa las oraciones que representa el éxito o fracaso durante el proceso de búsqueda en espacio de estados.
- **commemnt.** Evalúa oraciones ignorar en la representación del proceso de búsqueda en espacio de estados (Existe para realizar pruebas).

```

1 TYPE: [Tt][Ii][Pp][Oo];
2 ESTADO: 'ESTADO';
3 LISTA: 'LISTA';
4 COLON: ':';
5 COMMA: ',';
6 PERIOD: '.';
7 GT: '>';
8 LT: '<';
9 PLUS: '+';
10 MINUS: '-';
11 P: 'p';
12 SCOL: ';';
    
```

Listado 3.2: Microsintaxis (p. 1)

```

1 ASSIGN: '=';
2 OPAR: '(';
3 CPAR: ')';
4 OBRACE: '{';
5 CBRACE: '}';
6 OSQBRA: '[';
7 CSQBRA: ']';
8 ID: [a-zA-Z_] [a-zA-Z_0-9]*;
9 STRING: '"' (~["\r\n] | '\"')*'';
10 COMMENT: '/' '/' ~["\r\n"]*;
11 SPACE: [ \t\r\n] -> skip;
12 OTHER: '.';
    
```

Listado 3.3: Microsintaxis (p. 2)

En la Figura 3.7 se pueden ver las 6 reglas que representan los 6 tipos de declaraciones (statements) de los que se puede componer un bloque del parser generado para el análisis de trazas de ejecución.

En el Listado 3.2 y el Listado 3.3 se presentan los símbolos utilizados para la microsintaxis. Y el Cuadro 3.1 contiene la lista completa de reglas del modelo gramatical utilizado para el análisis y evaluación de trazas de ejecución.

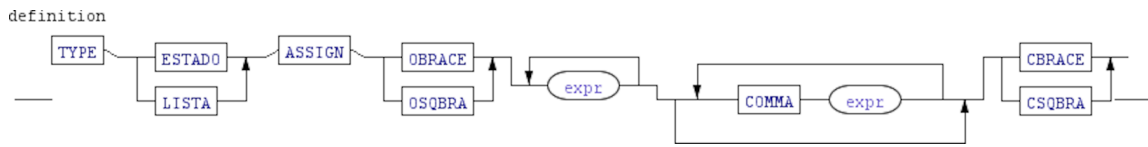


Figura 3.8: Diagrama de sintaxis para definition.

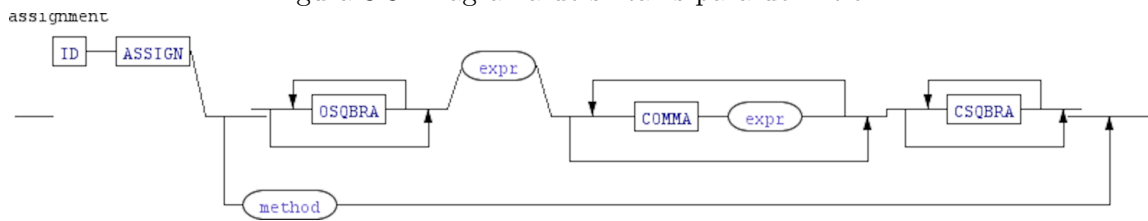


Figura 3.9: Diagrama de sintaxis para assignment.

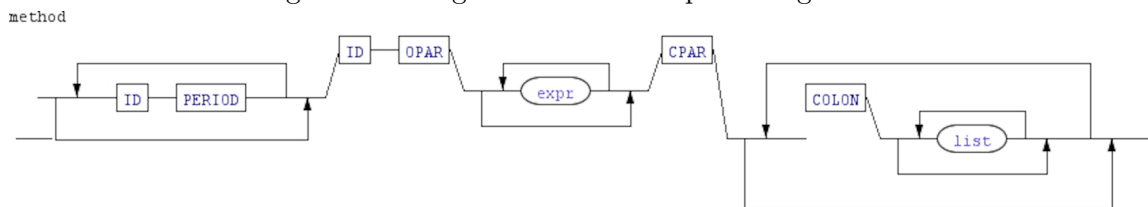


Figura 3.10: Diagrama de sintaxis para method.

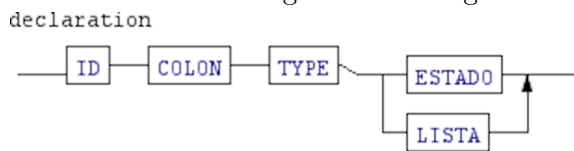


Figura 3.11: Sintaxis para declaration.

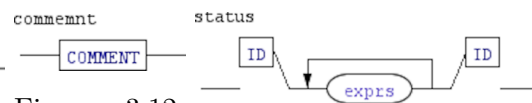


Figura 3.12: Sintaxis para comment. status.

Para entender de mejor manera las 6 reglas principales, también se provee de diagramas de sintaxis para cada una, en las Figuras 3.8 a 3.13.

Una vez generado el parser, se extiende la clase del visitador generado, para obtener datos de la ejecución cada vez que se evalúan las oraciones que componen la traza de ejecución. Los datos se pueden obtener en cualquier parte de la validación, puesto que se puede usar la visita a cualquier símbolo del modelo gramatical para obtener información. En la solución implementada, se utilizaron las visitas que evalúan las 6 reglas principales como puntos en los que obtuvo la información a entregar al generador de fotogramas.

3.2.3. Representación gráfica de las traza de ejecución

En esta sección se presenta una descripción gráfica de como se usan las plantillas y representaciones de estado, para generar fotogramas.

Si partimos sobre la idea de que cada uno de fotogramas generados esta compuesto de explicaciones generadas con datos obtenidos a partir de la evaluación de una traza de ejecución, con el apoyo de plantillas y una representación gráfica de los estados involucrados

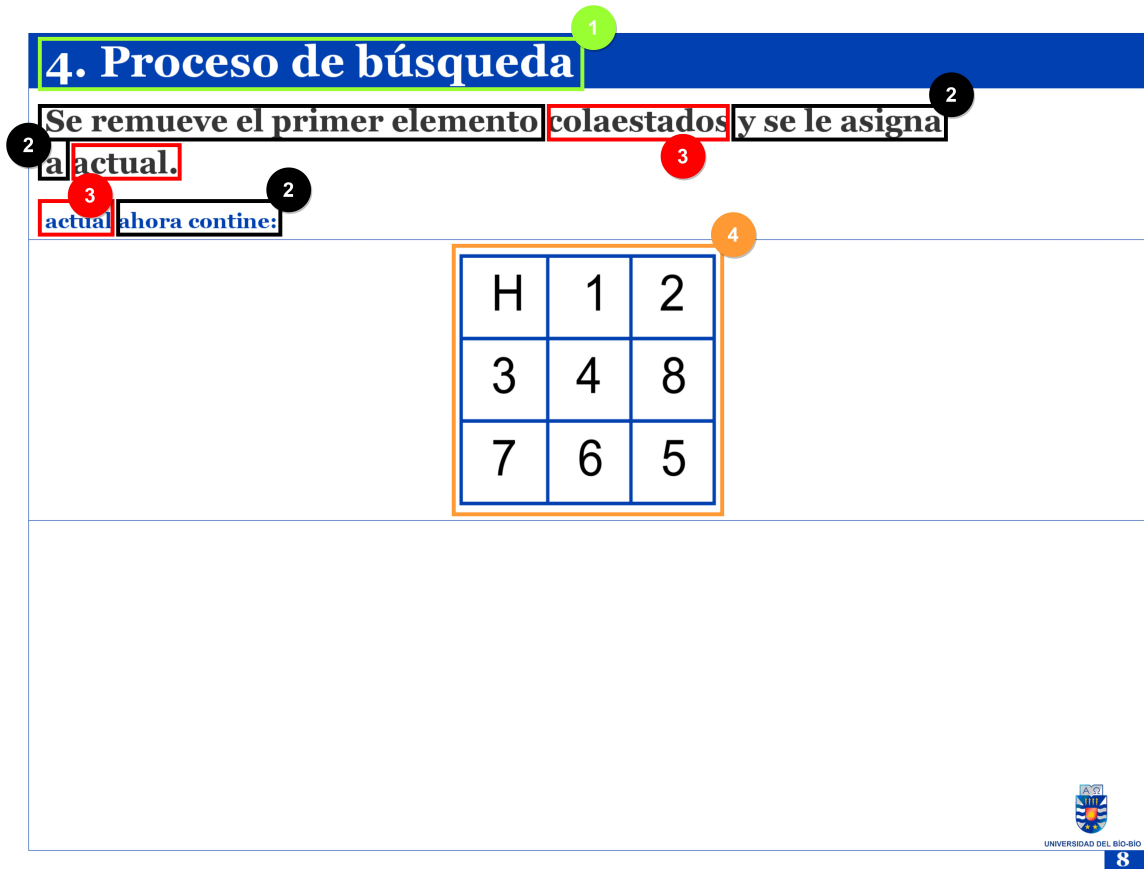


Figura 3.14: En esta figura se representan los 4 elementos que componen una representación básica de un fotograma: 1. La etapa del fotograma, 2. La plantilla de explicaciones, 3. Las Variables involucradas en el evento y 4. Representación gráfica.

en el evento representado en el fotograma. Solo queda explicar como se seleccionan las plantillas y como se compone un fotograma.

Los datos obtenidos durante la evaluación de una oración son asociados a una de las reglas principales cuando se obtienen. Una vez que se tienen suficientes datos para generar un fotograma los datos se envían a una clase de generación de fotogramas que contiene todas las plantillas utilizables. Dependiendo de la regla principal asociada y los datos obtenidos, se selecciona una plantilla adecuada la cual se completa con los datos obtenidos. Posteriormente se reutilizan los datos obtenidos para generar una representación gráfica del o los estados involucrados en el evento. Para generar las representaciones gráficas de estados se utilizó *Graphviz*, una herramienta para la visualización de grafos. Utilizando la biblioteca *graphviz-java*, un arreglo de datos de estado es transformado a una representación gráfica de un grafo que representa un camino recorrido por un algoritmo de búsqueda.

Una representación básica de un fotograma generado se compone de 4 elementos:

1. **La etapa del fotograma.** Título que establece en todo momento, en que parte de la explicación del algoritmo se encuentra la presentación, su contenido depende la planificación de fotogramas establecida en el Apartado 3.1.4.
2. **La plantilla de explicaciones.** Un conjunto de explicaciones en lenguaje natural predefinidas, asociadas a un evento registrado y una regla principal que dio lugar al fotograma.
3. **Las Variables involucradas en el evento.** Corresponden a la variables que interactúan en un evento registrado en una traza de ejecución
4. **Representación gráfica.** Corresponde a un grafo que representa uno o varios estados involucrados en un evento registrado y los estados que los precedieron, formando caminos recorridos por un algoritmo de búsqueda.

En la Figura 3.14 se representan los elementos que componen un fotograma en una representación básica de un fotograma generado.

Finalmente, las representaciones gráficas de estados, no están limitadas a una apariencia en particular, la generación de representaciones gráficas, permite representar los estados de diferentes formas, de acuerdo a las necesidades de aprendizaje, en tanto la representación gráfica mantenga la estructura.

En la Figura 3.15 se pueden observar distintas posibles apariencias con las que se puede representar un estado.

Los distintos fotogramas generados son organizados de acuerdo al orden establecido en el Apartado 3.1.4. Una vez reunidos todos los fotogramas generados, se termina generando el video resultante de la ejecución por medio de la biblioteca de codificación de video *Jcodec*.

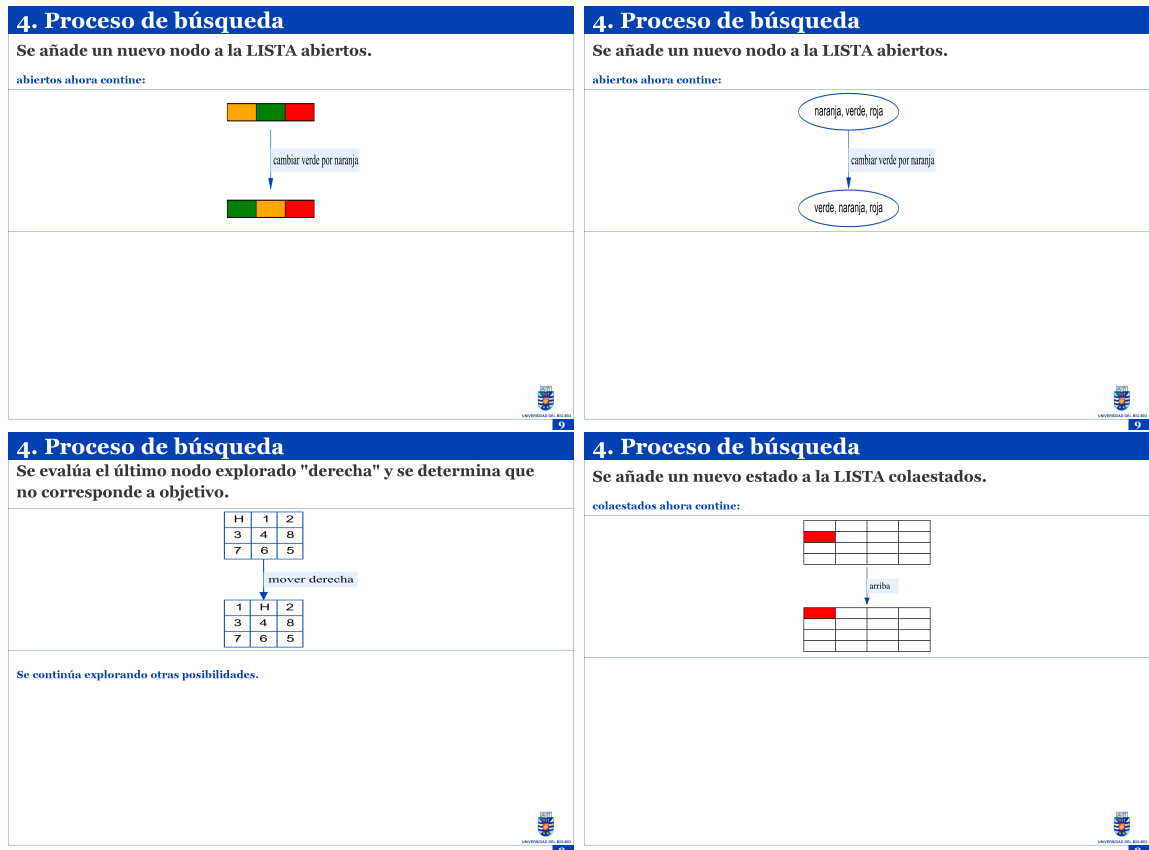


Figura 3.15: Distintas apariencias de representaciones gráficas de estados.

Capítulo 4

Evaluación y análisis resultados

En este capítulo se presenta la evaluación realizada de los distintos aspectos de los videos explicativos resultantes del proceso de generación por medio de un cuestionario y un breve análisis de los resultados obtenidos.

4.1. Primera evaluación

4.1.1. Metodología de la evaluación

Se envió un formulario con dos videos explicativos resultantes del proceso de generación por correo a alumnos que previamente han estudiado algoritmos búsqueda en espacio de estados para que puedan dar su opinión respecto a su valor y parecido con las clases que recibieron previamente. La herramienta utilizada para la creación del formulario fue *Google Forms*. Las respuestas al formulario se hicieron anónimas. El formulario contenía un cuestionario con dieciocho preguntas para medir la ayuda que los videos les proporcionan para mejorar su comprensión de los algoritmos de búsqueda. En específico, el cuestionario utiliza el estándar del instrumento de revisión de objetos de aprendizaje (LORI, por sus siglas en inglés), el cual presenta un marco para evaluar la calidad de los recursos de aprendizaje multimedia (Leacock y Nesbit, 2007). Los principales aspectos a evaluar en el cuestionario a entregar son: la calidad del video, la calidad del contenido, motivación y diseño/presentación. Las respuestas se miden utilizando la escala de Likert, la cual es una técnica para la medición de actitudes (Likert, 1932). Esta busca medir cuán de acuerdo están los encuestados con ciertas declaraciones. Se mide desde totalmente en desacuerdo (1), hasta totalmente de acuerdo (5).

Al final de este documento se incluye un anexo con la lista completa de preguntas del cuestionario a utilizado. En adición a las preguntas del cuestionario se añadió una sección al final del formulario para que aquellos que respondan el cuestionario puedan dejar sus comentarios, opiniones y/o sugerencias.

Los videos incluidos en formulario enviado se encuentran disponibles en la plataforma *Youtube* en los siguientes enlaces:

1. <https://youtu.be/4izyynYh-pI>
2. <https://youtu.be/tncB-nKK8qc>

4.1.2. Resultados de la evaluación

El formulario enviado fue respondido por 20 personas, los resultados recibidos demostraron una recepción favorable, con un 72,2 % de respuestas positivas (“de acuerdo” o “totalmente de acuerdo”) y un 11,9 % de respuestas negativas (“en desacuerdo” o “totalmente en desacuerdo”). Las secciones mejor recibidas fueron “Calidad del contenido” y “Calidad del video” con un 81 % y 80 % de respuestas positivas respectivamente. Por otro lado, las secciones recibidas menos favorablemente fueron “Motivación” y “Diseño y presentación” con un 65 % y 61,6 % de respuestas positivas respectivamente.

En particular, en la sección “Calidad del video”, las declaraciones (P 1.2) “El video explicativo generado automáticamente muestra explicaciones visuales útiles para comprender la ejecución de los algoritmos de búsqueda” y (P 1.3) “El video explicativo generado automáticamente muestra información útil explicaciones textuales para entender la ejecución de los algoritmos de búsqueda” fueron las mejor recibidas de la sección, con un 85 % de respuestas positivas. Por otro lado las declaraciones (P 1.1) “El video explicativo generado automáticamente es similar a los videos que podría crear un profesor del ramo” y (P 1.4) “El video explicativo generado presenta la información de manera que favorece la comprensión de la ejecución de los algoritmos de búsqueda”, recibieron un 80 % y 70 % de respuestas positivas respectivamente.

En la sección “Calidad del contenido”, la declaración (P 2.1) “El recurso presenta la información de manera objetiva y con buena escritura” destaca como la declaración mejor recibida de todo el cuestionario con un 90 % de respuestas positivas, además de ser la declaración con más respuestas “totalmente de acuerdo”, con un 55 % de las respuestas. Las declaraciones (P 2.4) “La información enfatiza los puntos clave y las ideas más significativas, con un adecuado nivel de detalle” y (P 2.5) “El lenguaje utilizado en la explicación es apropiado” también fueron bien recibidas con un 85 % de respuestas positivas. Por otro lado las declaraciones (P 2.3) “Las declaraciones están respaldadas por evidencia o lógica argumentos” y (P 2.2) “El contenido no presenta errores u omisiones que puedan confundir o malinterpretar su interpretación” recibieron un 75 % y 70 % de respuestas positivas respectivamente.

En la sección “Motivación”, la declaración (P 3.3) “Los estudiantes podrían ser motivados con este tipo de recurso” fue la mejor recibida de la sección, con un 75 % de respuestas positivas. Por otro lado las declaraciones (P 3.2) “La duración de la visualización del contenido favorece la atención del alumno” y (P 3.1) “El recurso ofrece una representación cercana a la realidad que estimula el interés del alumno” recibieron un 75 % y 50 % de respuestas positivas respectivamente.

En la sección “Diseño y presentación”, las declaraciones (P 4.2) “Los gráficos y tablas son claros, concisos y sin errores” (P 4.5) “La redacción es clara, concisa y sin errores” fueron las mejor recibidas de la sección, con un 85 % y 75 % de respuestas positivas respectivamente. Las declaraciones (P 4.1) “La presentación del video requiere un número

mínimo de búsquedas visuales” y (P 4.4) “Los párrafos están encabezados por encabezamientos” también fueron bien recibidas con un 70 % de respuestas positivas. Por otro lado las declaraciones (P 4.6) “El color y el diseño son estéticos” y (P 4.3) “Los videos incluyen narración” recibieron un 55 % y 35 % de respuestas positivas respectivamente. Esta última declaración resultó ser la peor recibida del cuestionario.

En las Figuras 4.1 a 4.4 se presentan las respuestas recibidas en la primera evaluación. Hay una figura por cada sección del cuestionario. En cada figura se presenta la cantidad de respuestas separadas por pregunta y distribuidas de acuerdo a la escala de Likert.

El formulario recibió 12 comentarios. Un buen número de estos proporcionó una opinión positiva respecto de la idea de los videos explicativos (Puntos (C 1.2), (C 1.3) y (C 1.5) a (C 1.7)). Dos comentarios fueron exclusivamente para felicitar la iniciativa (Puntos (C 1.6) y (C 1.7)). El resto proveyó distintas sugerencias y ajustes. La sugerencia más popular fue la de añadir narrativa por medio de audio para apoyar el contenido visual (Puntos (C 1.2), (C 1.3), (C 1.5), (C 1.9) y (C 1.11)). Otros comentarios apuntaron a correcciones de tiempo entre fotogramas y la presentación (Puntos (C 1.1), (C 1.8), (C 1.10) y (C 1.12)). Al final de este documento se incluye un anexo con la lista completa de comentarios recibidos en esta evaluación.

4.1.3. Análisis de la evaluación

A partir de los resultados de esta evaluación se puede establecer el formulario enviado recibió respuestas mayormente positivas, con comentarios felicitando la iniciativa y calificándola como una buena idea. Las respuestas recibidas expresaron mayor conformidad con los aspectos de “Calidad del video” y “Calidad del contenido”, mientras que los aspectos de “Motivación” y “Diseño y presentación”, aunque fueron recibidos positivamente en su mayoría, demostraron una mayor incertidumbre, con comentarios criticando la falta de narración en audio e incertidumbre respecto a cuan motivante serian los videos explicativos en su ausencia.

Los videos explicativos fueron diseñados como un recurso educativo digital para ser usado como material de apoyo durante clases teóricas con un profesor presente o como material de estudio. El diseño planteado cuando se propuso esta investigación no consideró narración en audio. Esto, nos lleva a creer que la percepción de los videos explicativos seria mejor si los video hubieran incluido la narración en audio de un profesor. De estar en lo correcto, esto podría plantear un posible trabajo futuro en esta linea de investigación. A partir de esta consideración, planteamos una segunda evaluación de los videos explicativos.

4.2. Segunda evaluación

4.2.1. Metodología de la evaluación

Se envió un formulario con 2 videos explicativos resultantes del proceso de generación por correo a alumnos que previamente han estudiado algoritmos búsqueda en espacio de estados para que puedan dar su opinión respecto a su valor y parecido con las clases que

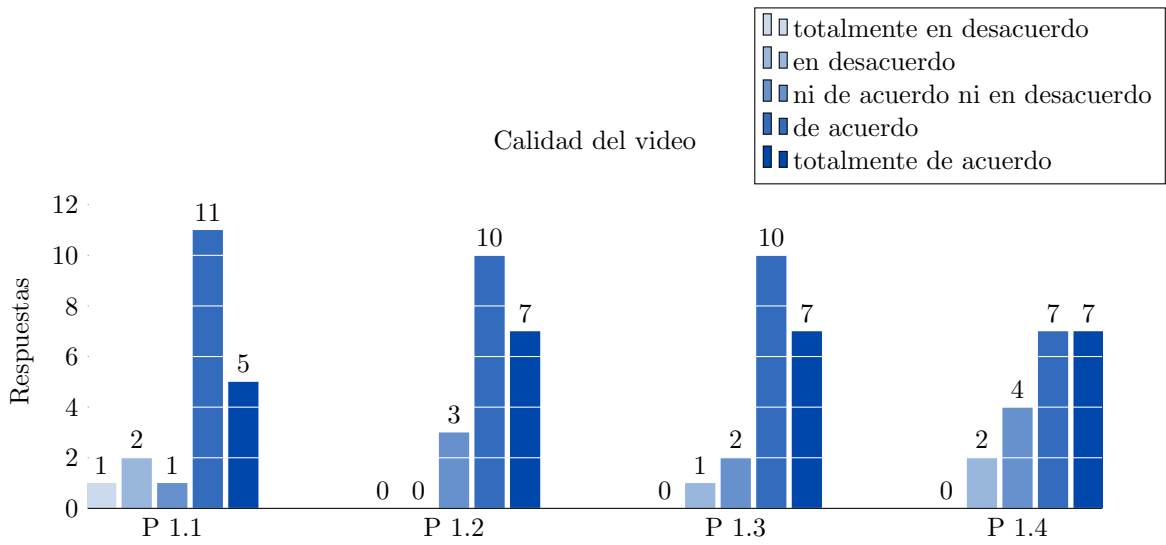


Figura 4.1: Respuestas del primer formulario enviado correspondientes a la sección de calidad de video.

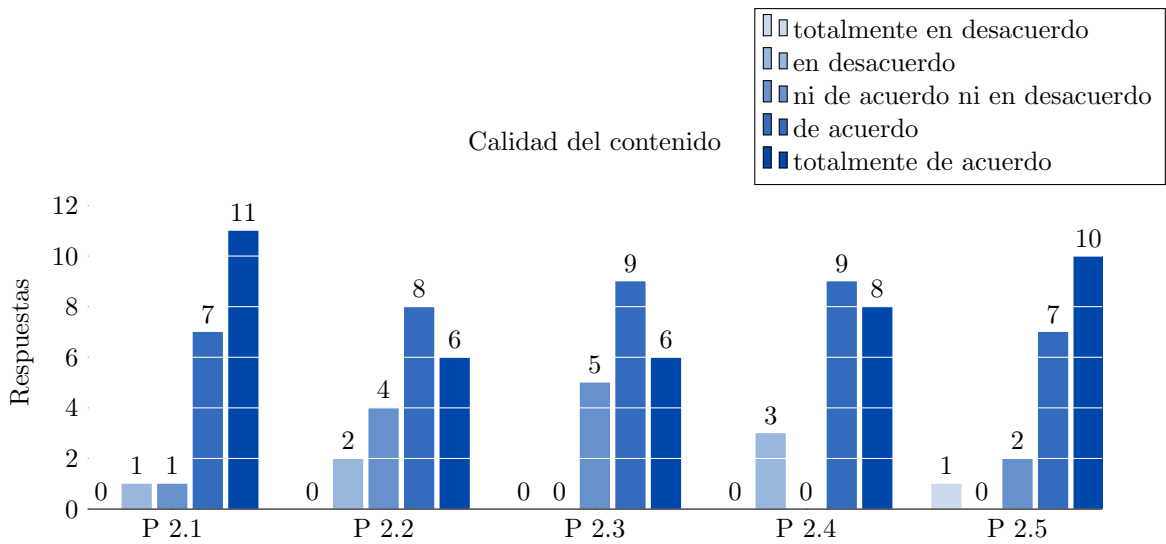


Figura 4.2: Respuestas del primer formulario enviado correspondientes a la sección de calidad del contenido.

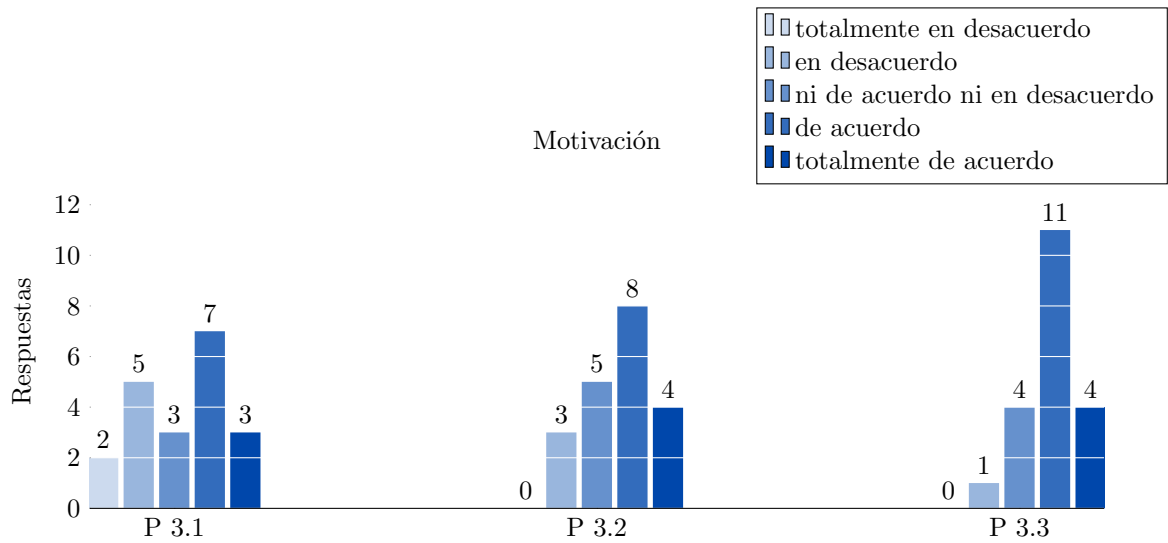


Figura 4.3: Respuestas del primer formulario enviado correspondientes a la sección de motivación.

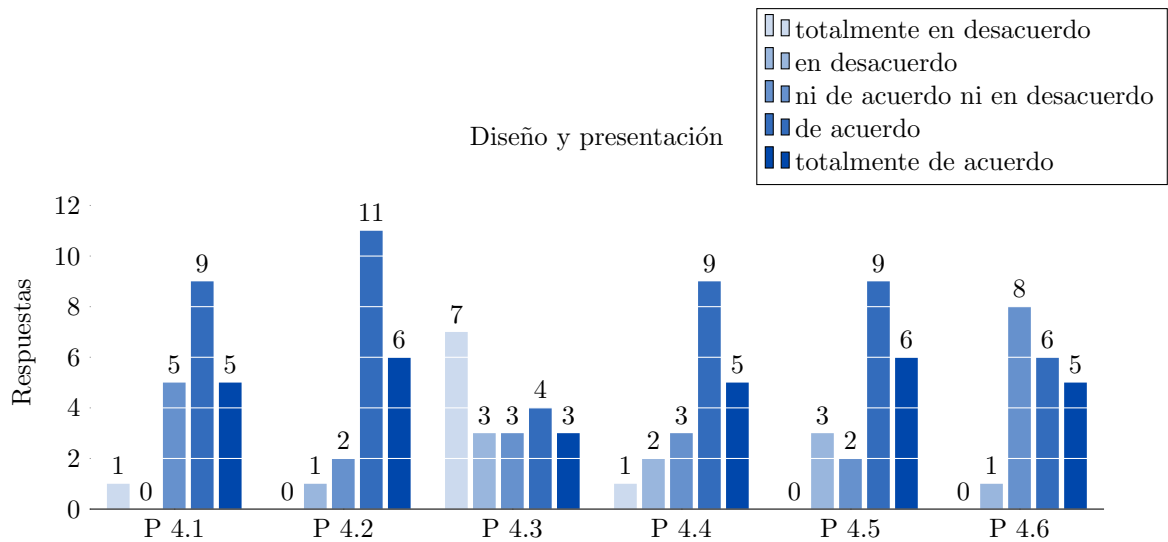


Figura 4.4: Respuestas del primer formulario enviado correspondientes a la sección de diseño y presentación.

recibieron previamente. En este caso, el mismo grupo de alumnos de la primera evaluación. La herramienta utilizada para la creación del formulario fue *Google Forms*. Las respuestas al formulario se hicieron anónimas. El formulario contenía el mismo cuestionario con 18 preguntas para medir la ayuda que los videos les proporcionan para mejorar su comprensión de los algoritmos de búsqueda.

El principal cambio para esta evaluación es la adición de narración en audio a los videos evaluados. Para este propósito se utilizó la herramienta de edición de video Elai.io, esta permite añadir presentadores digitales parlantes a videos y presentaciones. EL objetivo de esta adición es la simulación de un profesor explicando un algoritmo en clase.

Los videos incluidos en formulario enviado se encuentran disponibles en la plataforma *Youtube* en los siguientes enlaces:

1. <https://youtu.be/qkSN9ybQgW8>
2. <https://youtu.be/A4fP9eB-Pao>

4.2.2. Resultados de la evaluación

El formulario enviado fue respondido por 10 personas, los resultados recibidos demostraron una recepción favorable, con un 85,5 % de respuestas positivas (“de acuerdo” o “totalmente de acuerdo”) y un 5 % de respuestas negativas (“en desacuerdo” o “totalmente en desacuerdo”). Las secciones mejor recibidas fueron “Calidad del contenido” y “Diseño y presentación” con un 94 % y 90 % de respuestas positivas respectivamente. Por otro lado, las secciones recibidas menos favorablemente fueron “Calidad del video” y “Motivación” con un 85 % y 63,3 % de respuestas positivas respectivamente.

En particular, en la sección “Calidad del video”, las declaraciones (P 1.3) “El video explicativo generado automáticamente muestra información útil explicaciones textuales para entender la ejecución de los algoritmos de búsqueda” y (P 1.2) “El video explicativo generado automáticamente muestra explicaciones visuales útiles para comprender la ejecución de los algoritmos de búsqueda” fueron las mejor recibidas de la sección, con un 100 % y 90 % de respuestas positivas. Por otro lado las declaraciones (P 1.1) “El video explicativo generado automáticamente es similar a los videos que podría crear un profesor del ramo” y (P 1.4) “El video explicativo generado presenta la información de manera que favorece la comprensión de la ejecución de los algoritmos de búsqueda”, recibieron un 80 % y 70 % de respuestas positivas respectivamente.

En la sección “Calidad del contenido”, las declaraciones (P 2.1) “El recurso presenta la información de manera objetiva y con buena escritura”, (P 2.3) “Las declaraciones están respaldadas por evidencia o lógica argumentos” y (P 2.5) “El lenguaje utilizado en la explicación es apropiado” fueron las mejor recibidas de la sección, con un 100 % de respuestas positivas. Por otro lado las declaraciones (P 2.2) “El contenido no presenta errores u omisiones que puedan confundir o malinterpretar su interpretación” y (P 2.4) “La información enfatiza los puntos clave y las ideas más significativas, con un adecuado nivel de detalle” recibieron un 90 % y 80 % de respuestas positivas respectivamente.

En la sección “Motivación”, la declaración (P 3.2) “La duración de la visualización del contenido favorece la atención del alumno” fue la mejor recibida de la sección, con un 80 % de respuestas positivas. Por otro lado las declaraciones (P 3.3) “Los estudiantes podrían ser motivados con este tipo de recurso” y (P 3.1) “El recurso ofrece una representación cercana a la realidad que estimula el interés del alumno” recibieron un 60 % y 50 % de respuestas positivas respectivamente. Esta última declaración resultó ser la peor recibida del cuestionario.

En la sección “Diseño y presentación”, las declaraciones (P 4.3) “Los videos incluyen narración” y (P 4.4) “Los párrafos están encabezados por encabezamientos” fueron las mejor recibidas de la sección, con un 100 % de respuestas positivas. Además la declaración (P 4.3) “Los videos incluyen narración” fue la declaración con más respuestas “totalmente de acuerdo” del cuestionario, con un 90 % de las respuestas. Las declaraciones (P 4.2) “Los gráficos y tablas son claros, concisos y sin errores” (P 4.5) “La redacción es clara, concisa y sin errores” también fueron bien recibidas con un 90 % de respuestas positivas. Por otro lado las declaraciones (P 4.1) “La presentación del video requiere un número mínimo de búsquedas visuales” y (P 4.6) “El color y el diseño son estéticos” recibieron un 80 % de respuestas positivas.

En las Figuras 4.5 a 4.8 se presentan las respuestas recibidas en la segunda evaluación. Hay una figura por cada sección del cuestionario. En cada figura se presenta la cantidad de respuestas separadas por pregunta y distribuidas de acuerdo a la escala de Likert.

El formulario recibió 6 comentarios. La mayoría de estos proporcionó una opinión positiva respecto de la idea de los videos explicativos (Puntos (C 2.1) a (C 2.4) y (C 2.6)). Dos comentarios reconocieron la mejora en los videos explicativos (Puntos (C 2.3) y (C 2.6)). Tres comentarios proveyeron distintas sugerencias y ajustes (Puntos (C 2.2), (C 2.4) y (C 2.5)). El comentario restante se refirió a la utilidad del concepto de los videos explicativos (Punto (C 2.1)). Al final de este documento se incluye un anexo con la lista completa de comentarios recibidos en esta evaluación.

4.2.3. Análisis de la evaluación

A partir de los resultados de esta evaluación se puede establecer el formulario enviado recibió respuestas mayormente positivas, con comentarios reconociendo la mejora en los videos explicativos. Las respuestas recibidas expresaron mayor conformidad con los aspectos de “Calidad del contenido” y “Diseño y presentación”, mientras que los aspectos de “Calidad del video” y “Motivación”, aunque fueron recibidos positivamente en su mayoría, demostraron una mayor incertidumbre, con respuestas dudando la capacidad de motivar y estimular el interés de los alumnos.

La adición de narración en audio ha impactado la recepción del formulario considerablemente con un notable incremento en el porcentaje de respuestas positivas recibidas en la declaración (P 4.3) “Los videos incluyen narración”, la cual se volvió la mejor recibida del cuestionario, con un 35 % de respuestas positivas en la primera evaluación a un 100 % en la segunda evaluación. Consecuentemente, el porcentaje de respuestas positivas recibidas incrementó similarmente, de un 72,2 % a un 85,5 %.

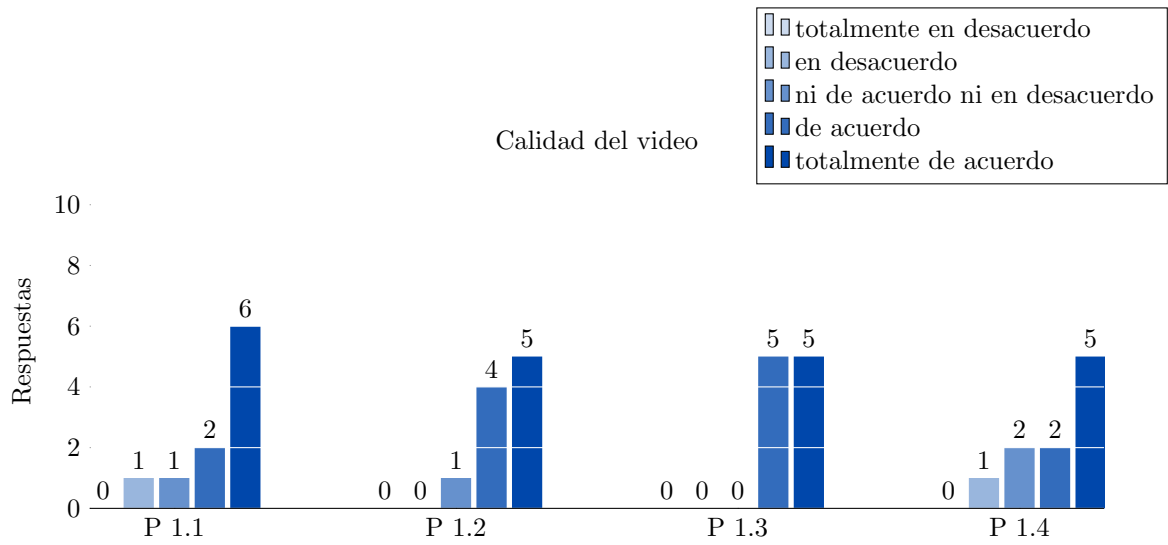


Figura 4.5: Respuestas del segundo formulario enviado correspondientes a la sección de calidad de video.

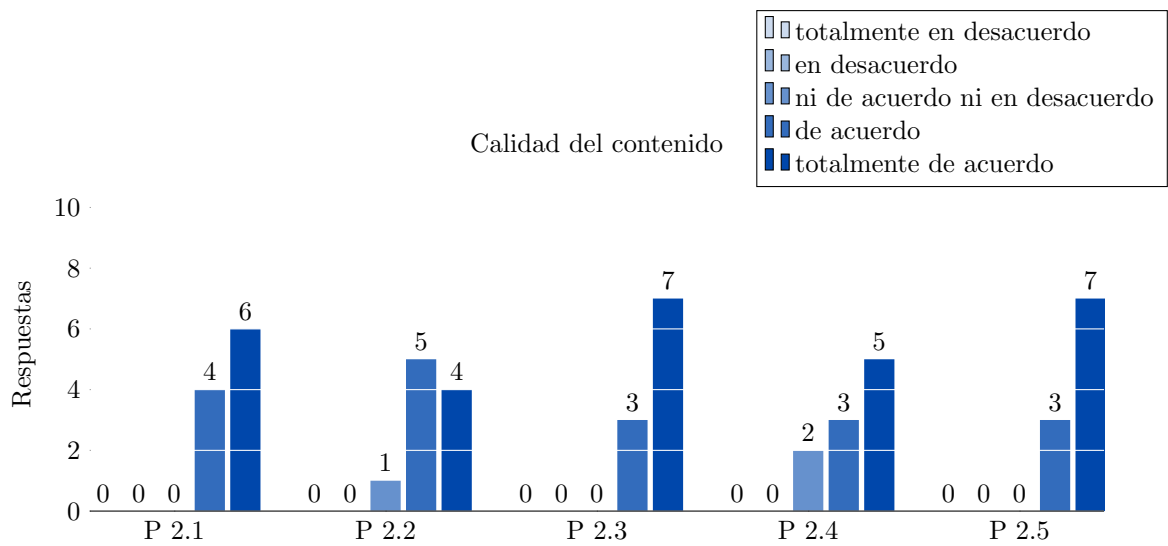


Figura 4.6: Respuestas del segundo formulario enviado correspondientes a la sección de calidad del contenido.

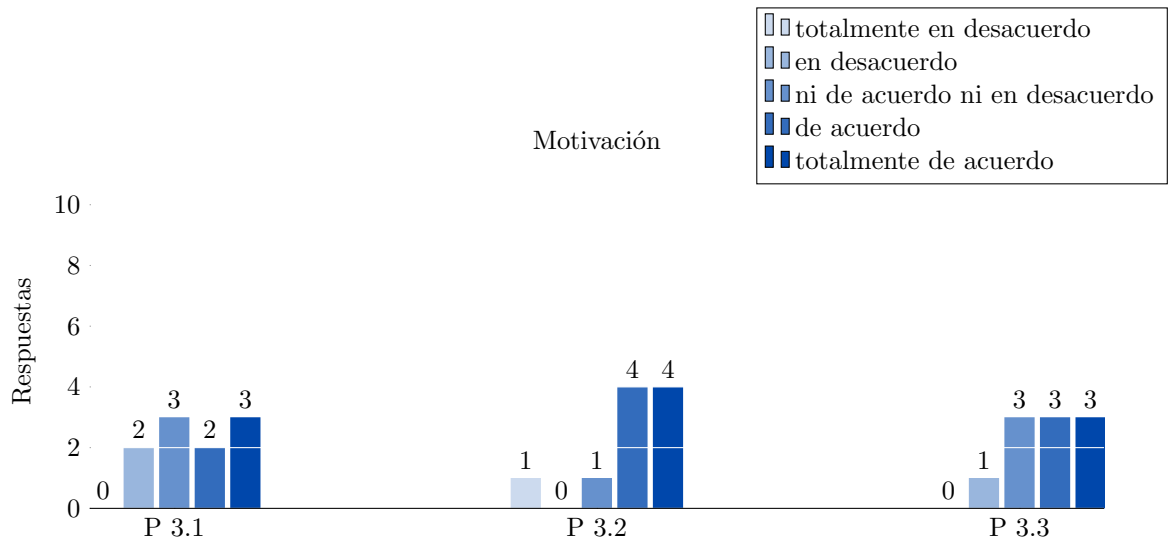


Figura 4.7: Respuestas del segundo formulario enviado correspondientes a la sección de motivación.

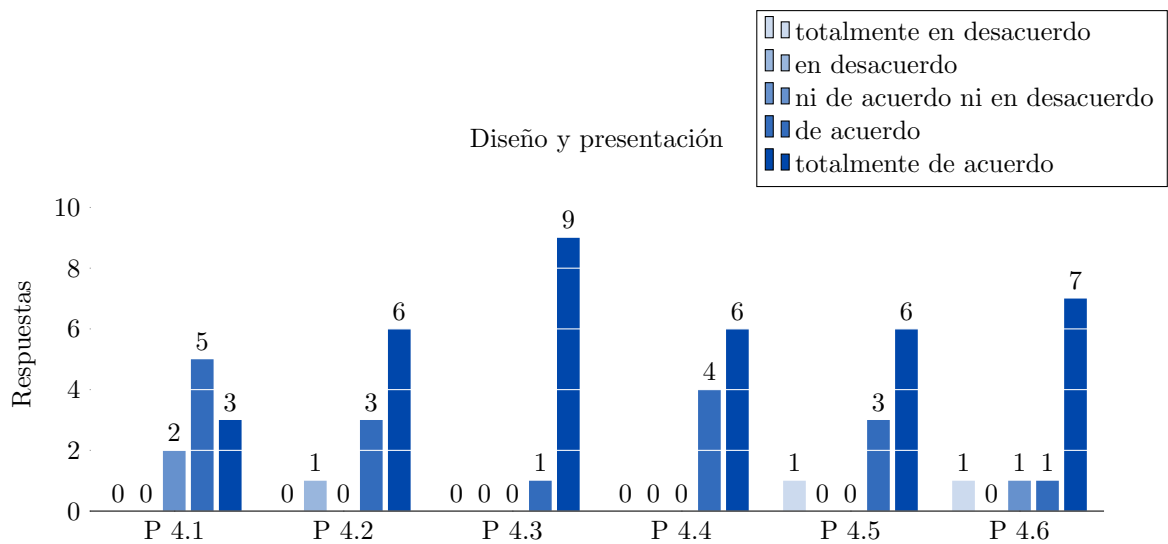


Figura 4.8: Respuestas del segundo formulario enviado correspondientes a la sección de diseño y presentación.

Si bien el número de respuestas recibidas por en la segunda evaluación se redujo a la mitad, creemos que es razonable decir que el impacto de la narración en audio fue lo suficientemente significativo como para establecer la idea de trabajo futuro en esta dirección.

4.3. Tercera evaluación

4.3.1. Metodología de la evaluación

Se envió un formulario con 2 videos explicativos resultantes del proceso de generación por correo a profesores que previamente hayan enseñado algoritmos búsqueda en espacio de estados para que puedan dar su opinión respecto a su valor y parecido con las clases que han impartido previamente. La herramienta utilizada para la creación del formulario fue *Google Forms*. Las respuestas al formulario se hicieron anónimas. El formulario contenía el mismo cuestionario con 18 preguntas para medir la ayuda que los videos les proporcionan para mejorar su comprensión de los algoritmos de búsqueda.

El principal cambio para esta evaluación es que el formulario se dirige a profesores que previamente hayan enseñado algoritmos búsqueda en espacio de estados. Se utilizaron los mismos videos con narración en audio de la segunda evaluación.

Los videos incluidos en formulario enviado se encuentran disponibles en la plataforma *Youtube* en los siguientes enlaces:

1. <https://youtu.be/qkSN9ybQgW8>
2. <https://youtu.be/A4fP9eB-Pao>

4.3.2. Resultados de la evaluación

El formulario enviado fue respondido por 6 personas, los resultados recibidos demostraron una recepción favorable, con un 88,8% de respuestas positivas (“de acuerdo” o “totalmente de acuerdo”) y un 5,5% de respuestas negativas (“en desacuerdo” o “totalmente en desacuerdo”). La sección mejor recibida fue “Calidad del contenido” con un 93,3% de respuestas positivas. Las secciones “Motivación” y “Diseño y presentación” también fueron bien recibidas con un 88,8% de respuestas positivas. Por otro lado, la sección recibida menos favorablemente fue “Calidad del video” con un 83,3% de respuestas positivas.

En particular, en la sección “Calidad del video”, la declaración (P 1.4) “El video explicativo generado presenta la información de manera que favorece la comprensión de la ejecución de los algoritmos de búsqueda” fue la mejor recibida de la sección, con un 83,3% de respuestas “totalmente de acuerdo”. Por otro lado las declaraciones (P 1.1) “El video explicativo generado automáticamente es similar a los videos que podría crear un profesor del ramo”, (P 1.2) “El video explicativo generado automáticamente muestra explicaciones visuales útiles para comprender la ejecución de los algoritmos de búsqueda” y (P 1.3) “El video explicativo generado automáticamente muestra información útil explicaciones

textuales para entender la ejecución de los algoritmos de búsqueda” también fueron bien recibidas con un 83,3 % de respuestas positivas.

En la sección “Calidad del contenido”, la declaración (P 2.5) “El lenguaje utilizado en la explicación es apropiado” destaca como la declaración mejor recibida de todo el cuestionario con un 83,3 % de respuestas “totalmente de acuerdo” y un 100 % de respuestas positivas si se consideran las respuestas “de acuerdo” y “totalmente de acuerdo”. Las declaraciones (P 2.2) “El contenido no presenta errores u omisiones que puedan confundir o malinterpretar su interpretación” y (P 2.3) “Las declaraciones están respaldadas por evidencia o lógica argumentos” también fueron bien recibidas con un 100 % de respuestas positivas. Por otro lado las declaraciones (P 2.1) “El recurso presenta la información de manera objetiva y con buena escritura” y (P 2.4) “La información enfatiza los puntos clave y las ideas más significativas, con un adecuado nivel de detalle” recibieron un 83,3 % de respuestas positivas.

En la sección “Motivación”, la declaración (P 3.2) “La duración de la visualización del contenido favorece la atención del alumno” fue la mejor recibida de la sección, con un 100 % de respuestas positivas. Por otro lado las declaraciones (P 3.3) “Los estudiantes podrían ser motivados con este tipo de recurso” y (P 3.1) “El recurso ofrece una representación cercana a la realidad que estimula el interés del alumno” recibieron un 83,3 % de respuestas positivas.

En la sección “Diseño y presentación”, las declaraciones (P 4.3) “Los videos incluyen narración”, (P 4.5) “La redacción es clara, concisa y sin errores” y (P 4.6) “El color y el diseño son estéticos” fueron las mejor recibidas de la sección, con un 100 % de respuestas positivas. Las declaraciones (P 4.1) “La presentación del video requiere un número mínimo de búsquedas visuales” y (P 4.2) “Los gráficos y tablas son claros, concisos y sin errores” también fueron bien recibidas con un 83,3 % de respuestas positivas. Por otro lado la declaración (P 4.4) “Los párrafos están encabezados por encabezamientos” recibió un 66,6 % de respuestas positivas. Esta ultima declaración resultó ser la peor recibida del cuestionario.

En las Figuras 4.9 a 4.12 se presentan las respuestas recibidas en la tercera evaluación. Hay una figura por cada sección del cuestionario. En cada figura se presenta la cantidad de respuestas separadas por pregunta y distribuidas de acuerdo a la escala de Likert.

El formulario recibió 5 comentarios. La mayoría de estos proporcionó una opinión positiva respecto de la idea de los videos explicativos (Puntos (C 3.2), (C 3.3) y (C 3.5)). Dos comentarios fueron exclusivamente para felicitar el proyecto (Puntos (C 3.2) y (C 3.5)). Los tres comentarios restantes proveyeron distintas sugerencias y ajustes (Puntos (C 3.1), (C 3.3) y (C 3.4)), principalmente enfocándose en la idea de añadir énfasis a la voz para que no sea tan monótona. Al final de este documento se incluye un anexo con la lista completa de comentarios recibidos en esta evaluación.

4.3.3. Análisis de la evaluación

A partir de los resultados de esta evaluación se puede establecer el formulario enviado recibió respuestas mayormente positivas, con comentarios felicitando el proyecto y cali-

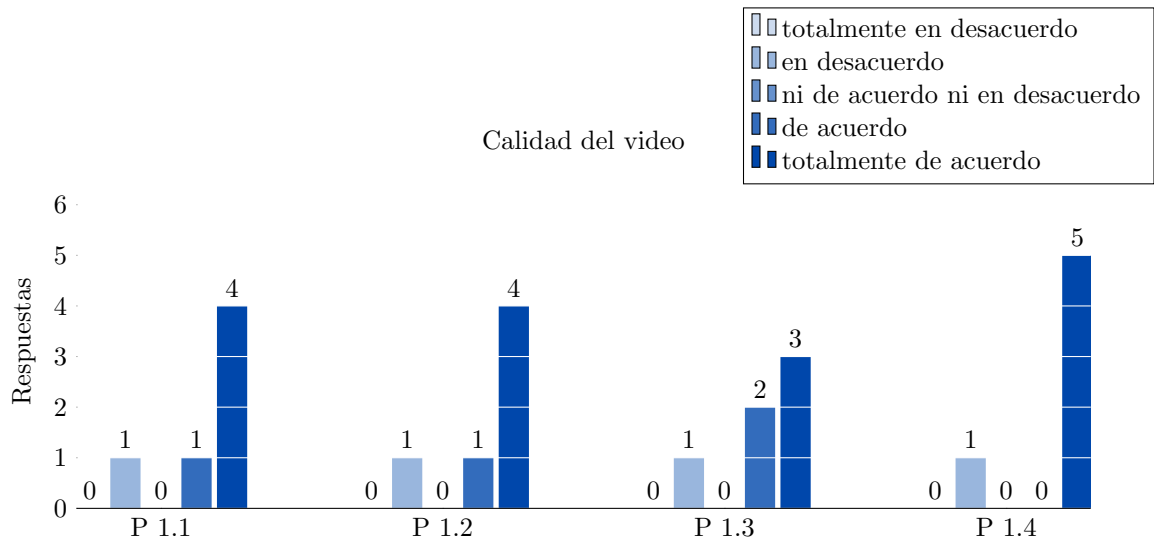


Figura 4.9: Respuestas del tercer formulario enviado correspondientes a la sección de calidad de video.

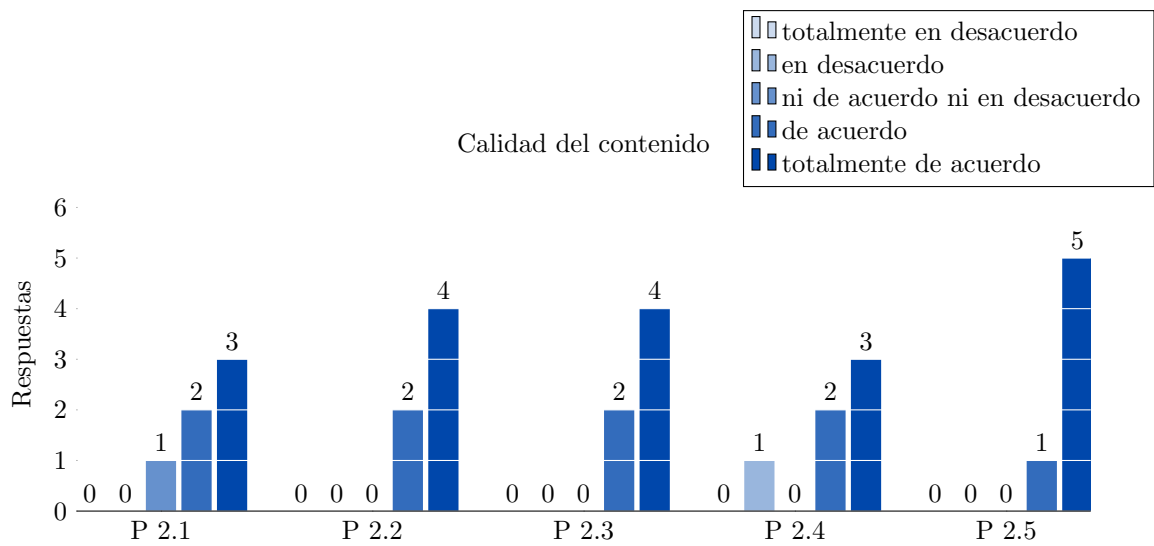


Figura 4.10: Respuestas del tercer formulario enviado correspondientes a la sección de calidad del contenido.

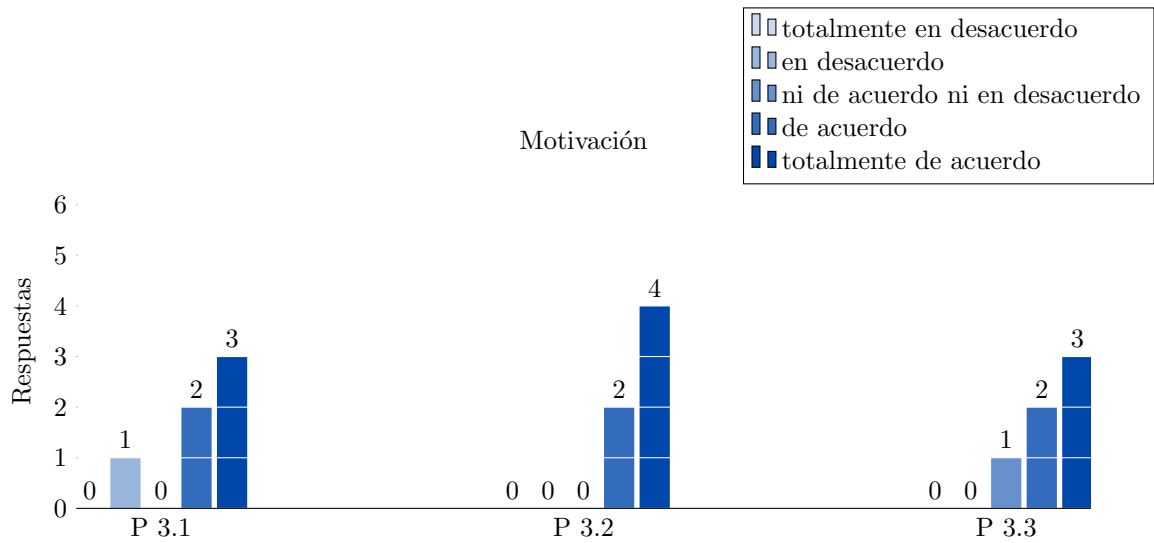


Figura 4.11: Respuestas del tercer formulario enviado correspondientes a la sección de motivación.

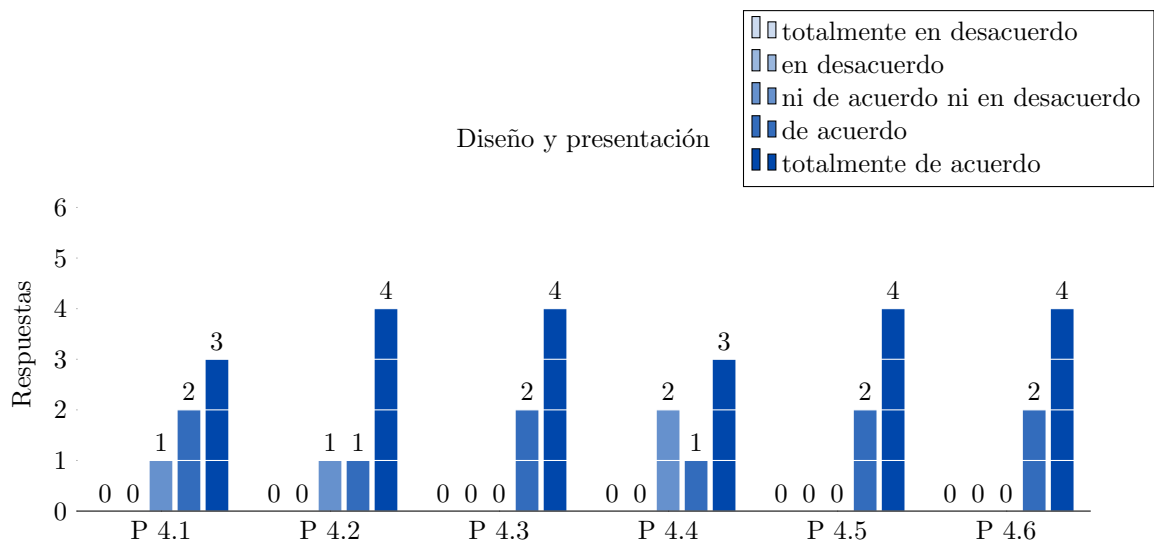


Figura 4.12: Respuestas del tercer formulario enviado correspondientes a la sección de diseño y presentación.

ficándolo como buen recurso. Las respuestas recibidas expresaron gran conformidad con todos los aspectos evaluados en el cuestionario, destacándose que incluso el aspecto peor evaluado (Calidad del video) recibió un 83,3 % de respuestas positivas.

Esta tercera evaluación, aunque es la evaluación con menos respuestas recibidas, demuestra resultados generales similares a los de la segunda evaluación, con un 88,8 % respuestas positivas, el cual es solo un ligero incremento sobre el 85,5 % de la segunda evaluación. Aunque se puede apreciar una considerable diferencia en la sección Motivación, en la cual los profesores demostraron una mayor confianza en la capacidad de los videos explicativos para estimular el interés de y motivar a los estudiantes.

Aún cuando las respuestas obtenidas en esta evaluación fueron limitadas, los resultados en su mayoría fueron consistentes con los de la segunda evaluación.

4.4. Análisis general de las evaluaciones

Las tres evaluaciones fueron recibidas positivamente, con resultados generales que fueron desde 72,2 % de respuestas positivas (“de acuerdo” o “totalmente de acuerdo”) en la primera evaluación hasta un 88,8 % en la tercera evaluación. Los comentarios recibidos en las tres evaluaciones fueron positivos en general, refiriéndose a los videos explicativos como una buena iniciativa y felicitando el proyecto.

De los cuatro aspectos utilizados para evaluar los videos explicativos, “Calidad del contenido” resulto el aspecto mejor evaluado durante las tres evaluaciones. Los resultados obtenidos en la sección “Calidad del contenido” fueron un 81 % de respuestas positivas en la primera evaluación, un 94 % en la segunda y un 93,3 % en la tercera evaluación. Se recibieron comentarios favorables respecto a la utilidad de los videos explicativos como recurso de estudio.

“Calidad del video” fue el aspecto evaluado más consistentemente durante las tres evaluaciones, con un margen de diferencia en el porcentaje de respuestas positivas que no supero el 5 % entre evaluaciones. Los resultados obtenidos en la sección “Calidad del video” fueron 80 % de respuestas positivas en la primera evaluación, 85 % en la segunda evaluación y 83,3 % en la tercera evaluación. Se recibieron comentarios sugiriendo algunas modificaciones, como el tiempo entre fotogramas y correcciones en los fotogramas.

“Diseño y presentación” fue uno de los aspectos recibidos menos favorablemente durante la primera evaluación y el aspecto que más se benefició de la adición de narración en audio. Esto fue principalmente debido a la mejora en las respuestas de la declaración (P 4.3) “Los videos incluyen narración”, la cual se volvió la mejor recibida del cuestionario en la segunda evaluación, yendo de un 35 % de respuestas positivas en la primera evaluación a un 100 % en la segunda evaluación. Los resultados obtenidos en la sección “Diseño y presentación” fueron 65 % de respuestas positivas en la primera evaluación, 90 % en la segunda evaluación y 88,8 % en la tercera evaluación. Los comentarios pasaron de sugerir adición de narraciones en audio a demostrar un mayor grado de satisfacción con su adición y sugerir añadir énfasis a la voz utilizada.

“Motivación” fue un aspecto evaluado muy consistentemente entre los estudiantes, que, aunque recibido positivamente, demostró la mayor incertidumbre entre los estudiantes. Es-

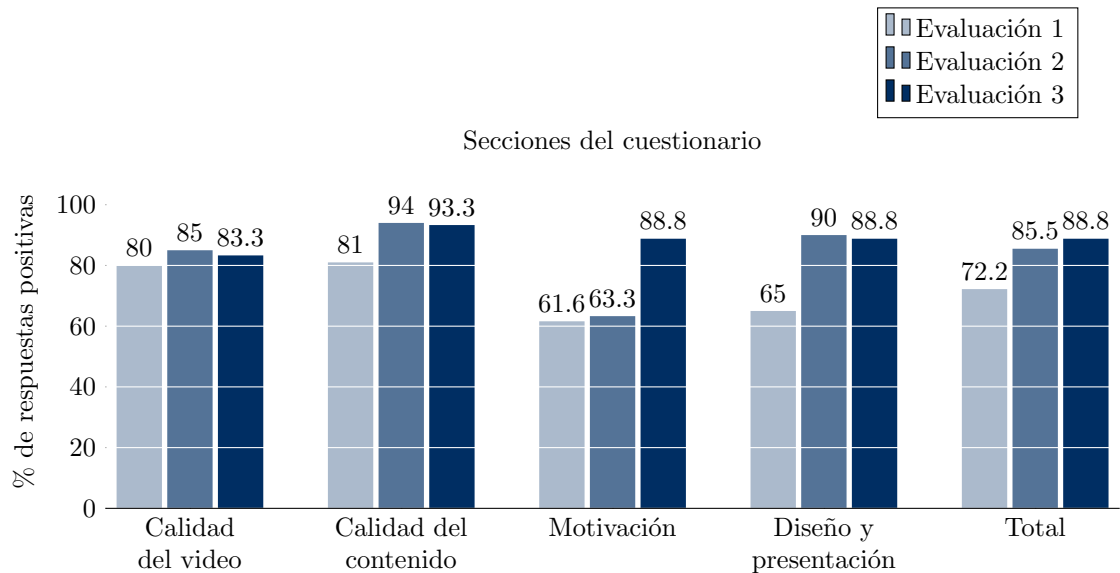


Figura 4.13: Comparativa de respuestas entre evaluaciones. En esta figura se muestra el porcentaje de respuestas positivas (“de acuerdo” o “totalmente de acuerdo”) por cada sección del cuestionario considerando las tres evaluaciones realizadas.

to en contraposición a la evaluación de los profesores, los cuales evaluaron el aspecto de Motivación de forma mucho más positiva. Los resultados apuntarían a una diferencia de opinión entre profesores y estudiantes. Los resultados obtenidos en la sección “Motivación” fueron 61,6 % de respuestas positivas en la primera evaluación, 63,3 % en la segunda evaluación y 88,8 % en la tercera evaluación. Los comentarios recibidos, aunque optimistas en general, no se refieren a la incertidumbre reflejada en los resultados, por lo que es difícil establecer su origen más allá de las posibles correcciones mencionadas en algunos de estos comentarios.

En la Figura 4.13 se presentan una comparativa de los resultados obtenidos en las tres evaluaciones. En particular se muestra el porcentaje de respuestas positivas (“de acuerdo” o “totalmente de acuerdo”) por cada sección del cuestionario considerando las tres evaluaciones realizadas. Evaluación 1 en la Figura, fue la primera evaluación realizada a alumnos que habían cursado la asignatura previamente. Evaluación 2 fue la misma evaluación con la adición de narración en audio a los videos explicativos. Evaluación 3 fue la misma evaluación previa, pero dirigida a profesores que hayan enseñado la asignatura con anterioridad.

Capítulo 5

Conclusiones y Trabajo futuro

En esta tesis se ha mostrado la importancia de los videos explicativos en la comunidad educativa y se han revisado los trabajos de investigación que tratan sobre su uso para explicar conceptos complejos y/o para garantizar la transparencia y explicación de ciertos procesos. Se han destacado los principales desafíos y las líneas de investigación abiertas en este área.

Por otro lado, se ha presentado la hipótesis de investigación, se han enunciado los objetivos y presentado nuestra principal aportación, metodología basada en seis fases: creación de trazas de ejecución, traducción de trazas de ejecución a ontologías, generación de fotogramas, incorporación de discurso entre fragmentos, creación del video y evaluación.

Hemos visto cómo la metodología propuesta permite desarrollar sistemas expertos que son capaces de transformar trazas de ejecución en ontologías y generar un conjunto de fotogramas formados por gráficos y explicaciones textuales a partir de ellas. Entonces, se explicó cómo los fotogramas generados se organizan de acuerdo a una planificación para crear un vídeo narrado automáticamente.

Además, se ha explicado en detalle la implementación de la metodología propuesta dando como resultado una aplicación que permite obtener videos explicativos reales. Estos fueron evaluados tres veces por dos grupos (alumnos -2 encuestas- y profesores -una-) empleando cuestionario basado en el estándar LORI (Instrumento de revisión de objetos de aprendizaje) desde diferentes aspectos: Calidad del video y del contenido, Motivación y Diseño/presentación. Los videos fueron recibidos positivamente durante todas las evaluaciones. La primera evaluación demostró conformidad con los aspectos de calidad de video y calidad de contenido, e incertidumbre con los aspectos de motivación y diseño y presentación, con múltiples sugerencias pidiendo la adición de narración en audio como una posible mejora futura.

Para la segunda evaluación se añadió narración en audio para observar la importancia de esta adición, el resultado fue una mejora notable en las respuestas relacionadas al aspecto de diseño y presentación. La tercera evaluación se dirigió hacia profesores, los cuales demostraron una conformidad general con los videos incluyendo el aspecto de motivación, el cual fue recibido con mayor incertidumbre por parte de los alumnos.

A partir de estos resultados podemos concluir que los videos resultantes fueron valo-

rados positivamente como un buen recurso de aprendizaje, apuntando a la validez de la metodología utilizada para la generación de videos explicativos, y el establecimiento de esta como una opción para la generación de recursos educativos digitales. También se puede concluir que la adición de narración en audio resulta de gran importancia en el aspecto de Diseño y presentación, aún si esta adición iba más allá de los límites de este trabajo. Hay una importante diferencia en términos de percepción del aspecto de Motivación entre alumnos y profesores, lo cual plantea la idea de profundizar una investigación en las causas o validez, dados los limitados números obtenidos en la tercera evaluación.

Como trabajo futuro se propone la mejora de la metodología para que permita la representación de búsquedas concurrentes (Ej. El caso del uso de más de un agente computacional en un videojuego, donde dos entidades buscándose interactúan). El diseño actual asume la enseñanza de búsquedas únicas que no interactúan con otras búsquedas, en el caso de querer presentar múltiples búsquedas actualmente, se requerirían múltiples videos. Otro trabajo futuro podría ser la adición de más representaciones de estado y perfeccionar las existentes. Las representaciones de estado fueron mencionadas en los comentarios recibidos durante las evaluaciones, en particular, en comentarios sugiriendo correcciones o modificaciones. Lo cual indica una necesidad de un mayor desarrollo en este ámbito. También se propone la adición de narración en audio a la metodología. Aunque su adición plantea mayores desafíos, creemos que la cantidad de comentarios recibidos al respecto justifica su investigación y desarrollo. Otra posible investigación futura es verificar las causas o validez de la diferencia vista en los resultados del aspecto de motivación. Es posible que profesores y alumnos vean la utilidad de los videos explicativos de forma muy diferente y que esta diferencia justifique diseños distintos de los videos para alumnos y profesores.

Referencias

- Carolina Almeida y Pedro Almeida. Online educational videos: The teenagers' preferences. En María José Abásolo, Pedro Almeida, y Joaquín Pina Amargós, eds., *Applications and Usability of Interactive TV*, págs. 65–76. Springer International Publishing, Cham, 2017. ISBN 978-3-319-63321-3.
- Jose M. Alonso, Senén Barro, Alberto Bugarín, Kees van Deemter, Claire Gardent, Albert Gatt, Ehud Reiter, Carles Sierra, Mariët Theune, Nava Tintarev, Hitoshi Yano, y Katarzyna Budzynska. Interactive natural language technology for explainable artificial intelligence. En Fredrik Heintz, Michela Milano, y Barry O'Sullivan, eds., *Trustworthy AI - Integrating Learning, Optimization and Reasoning*, págs. 63–70. Springer International Publishing, Cham, 2021. ISBN 978-3-030-73959-1.
- Fereshteh Amini, Nathalie Henry Riche, Bongshin Lee, Andres Monroy-Hernandez, y Pourang Irani. Authoring data-driven videos with dataclips. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23(1):501–510, 2017. ISSN 1941-0506. doi:10.1109/TVCG.2016.2598647.
- Gilles R. Bloch. From concepts to film sequences. En *User-Oriented Content-Based Text and Image Handling*, RIAO '88, pág. 760–767. LE CENTRE DE HAUTES ETUDES INTERNATIONALES D'INFORMATIQUE DOCUMENTAIRE, Paris, FRA, 1988.
- Alexandre Chanson, Faten El Outa, Nicolas Labroche, Patrick Marcel, Verónika Peralta, Willeme Verdeaux, y Lucile Jacquemart. Generating personalized data narrations from eda notebooks. En *DOLAP*, págs. 91–95. 2022.
- Chin Soon Cheah. Factors contributing to the difficulties in teaching and learning of computer programming: A literature review. *Contemporary Educational Technology*, 12(2):ep272, 2020.
- Qing Chen, Shixiong Cao, Jiazhe Wang, y Nan Cao. How does automation shape the process of narrative visualization: A survey on tools. 2022. doi:10.48550/ARXIV.2206.12118. URL <https://arxiv.org/abs/2206.12118>.
- Hao Cheng, Junhong Wang, Yun Wang, Bongshin Lee, Haidong Zhang, y Dongmei Zhang. Investigating the role and interplay of narrations and animations in data videos. *Computer Graphics Forum (Proceedings of EuroVis 2022)*, 2022. URL

- <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/investigating-the-role-and-interplay-of-narrations-and-animations-in-data-videos/>.
- Louis J. Chmura y Henry F. Ledgard. *COBOL with Style; Programming Proverbs*. Sams, USA, 1976. ISBN 0810457814.
- Ericsson Consumerlab. Tv and media 2017. *A consumer-driven future of media*, 2017.
- Keith D. Cooper y Linda Torczon. Chapter 2 - scanners. En Keith D. Cooper y Linda Torczon, eds., *Engineering a Compiler (Second Edition)*, págs. 25–82. Morgan Kaufmann, Boston, second edition ed^{ón}., 2012a. ISBN 978-0-12-088478-0. doi: 10.1016/B978-0-12-088478-0.00002-5. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780120884780000025>.
- Keith D. Cooper y Linda Torczon. Chapter 3 - parsers. En Keith D. Cooper y Linda Torczon, eds., *Engineering a Compiler (Second Edition)*, págs. 83–159. Morgan Kaufmann, Boston, second edition ed^{ón}., 2012b. ISBN 978-0-12-088478-0. doi: 10.1016/B978-0-12-088478-0.00003-7. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780120884780000037>.
- Veronika Dashuber y Michael Philippsen. Trace visualization within the software city metaphor: Controlled experiments on program comprehension. *Information and Software Technology*, 150:106989, 2022.
- Andrea de Giorgio, Stefania Cacace, Antonio Maffei, Fabio Marco Monetti, Malvina Roci, Mauro Onori, y Lihui Wang. Assessing the influence of expert video aid on assembly learning curves. *Journal of Manufacturing Systems*, 62:263–269, 2022. ISSN 0278-6125. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.11.019>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612521002491>.
- Nicholas Diakopoulos. Accountability in algorithmic decision making. *Commun. ACM*, 59(2):56–62, 2016. ISSN 0001-0782. doi:10.1145/2844110. URL <https://doi.org/10.1145/2844110>.
- Seyfullah Gökoğlu y Servet Kilic. Programming learning and teaching of pre-service computer science teachers: Challenges, concerns, and solutions. *E-Learning and Digital Media*, 20(5):498–518, 2023. doi:10.1177/20427530221117331. URL <https://doi.org/10.1177/20427530221117331>.
- David Lee King. Types of videos to make. *Library Technology Reports*, 54(7):12, 2018.
- Kenneth C. Knowlton. A programmer’s description of l6. *Commun. ACM*, 9(8):616–625, 1966. ISSN 0001-0782. doi:10.1145/365758.365792. URL <https://doi.org/10.1145/365758.365792>.
- Tracey L. Leacock y John C. Nesbit. A framework for evaluating the quality of multimedia learning resources. *Journal of Educational Technology & Society*, 10(2):44–59, 2007. ISSN 11763647, 14364522. URL <http://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.10.2.44>.

- R. Likert. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22(140):5–55, 1932.
- Richard E. Mayer. Systematic thinking fostered by illustrations in scientific text. *Journal of Educational Psychology*, 81(2):240–246, 1989. doi:10.1037/0022-0663.81.2.240. URL <https://psycnet.apa.org/record/1989-34646-001>.
- Didier Nadeau, Naser Ezzati-Jivan, y Michel R. Dagenais. Efficient large-scale heterogeneous debugging using dynamic tracing. *Journal of Systems Architecture*, 98:346–360, 2019. ISSN 1383-7621. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2019.02.016>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383762118301838>.
- J v Neumann y Hermann H Goldstine. Planning and coding of problems for an electronic computing instrument. *Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey*, 1948.
- Michael Noetel, Shantell Griffith, Oscar Delaney, Taren Sanders, Philip Parker, Borja del Pozo Cruz, y Chris Lonsdale. Video improves learning in higher education: A systematic review. *Review of Educational Research*, 91(2):204–236, 2021. doi:10.3102/0034654321990713. URL <https://doi.org/10.3102/0034654321990713>.
- Blaine A. Price, Ronald M. Baecker, y Ian S. Small. A principled taxonomy of software visualization. *Journal of Visual Languages & Computing*, 4(3):211–266, 1993. ISSN 1045-926X. doi:<https://doi.org/10.1006/jvlc.1993.1015>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1045926X83710153>.
- Clemente Rubio-Manzano, Alejandra Segura-Navarrete, Claudia Martinez-Araneda, y Christian Vidal-Castro. Explainable hopfield neural networks using an automatic video-generation system. *Applied Sciences*, 11(13), 2021. ISSN 2076-3417. doi:10.3390/app11135771. URL <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/13/5771>.
- A. Runceanu y M.A. Runceanu. Challenges in teaching programming and algorithms. En *INTED2016 Proceedings*, 10th International Technology, Education and Development Conference, págs. 4120–4126. IATED, 2016. ISBN 978-84-608-5617-7. ISSN 2340-1079. doi:10.21125/inted.2016.2003. URL <https://doi.org/10.21125/inted.2016.2003>.
- D. Shi, F. Sun, X. Xu, X. Lan, D. Gotz, y N. Cao. Autoclips: An automatic approach to video generation from data facts. *Computer Graphics Forum*, 40(3):495–505, 2021. doi:10.1111/cgf.14324. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/cgf.14324>.
- Srećko Stamenković, Nenad Jovanović, Bojan Vasović, Miloš Cvjetković, y Zoran Jovanović. Software tools for learning artificial intelligence algorithms. *Artificial Intelligence Review*, 56(9):10297–10326, 2023. ISSN 1573-7462. doi:10.1007/s10462-023-10436-0. URL <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10436-0>.
- Jamilly Souza Tenorio, Cleide Jane de Sá Araújo Costa, y Givaldo Oliveira dos Santos. O uso de vídeos como recurso avaliativo para aprendizagem: uma experiência na educação

- do ensino superior. *Revista Interdisciplinar de Ciência Aplicada*, 6(10):37–43, 2022. doi: 10.18226/25253824.v6.n10.05. URL <https://sou.ucs.br/revistas/index.php/rica/ucs/article/view/110>.
- Andrés Cencerrado Barraqué Vicenç Tuesta y Reventós, Jordi Delgado Pin. *Resolución de problemas y búsqueda. Tercera edición*. Fundación para la Universitat Oberta de Catalunya (FUOC), 2019.
- Weixiong Zhang y Richard E. Korf. Performance of linear-space search algorithms. *Artificial Intelligence*, 79(2):241–292, 1995. ISSN 0004-3702. doi:[https://doi.org/10.1016/0004-3702\(94\)00047-6](https://doi.org/10.1016/0004-3702(94)00047-6). URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0004370294000476>.

Apéndice A

Preguntas del cuestionario

Calidad del video

- (P 1.1) “El video explicativo generado automáticamente es similar a los videos que podría crear un profesor del ramo”;
- (P 1.2) “El video explicativo generado automáticamente muestra explicaciones visuales útiles para comprender la ejecución de los algoritmos de búsqueda”;
- (P 1.3) “El video explicativo generado automáticamente muestra información útil explicaciones textuales para entender la ejecución de los algoritmos de búsqueda”;
- (P 1.4) “El video explicativo generado presenta la información de manera que favorece la comprensión de la ejecución de los algoritmos de búsqueda”.

Calidad del contenido

- (P 2.1) “El recurso presenta la información de manera objetiva y con buena escritura”;
- (P 2.2) “El contenido no presenta errores u omisiones que puedan confundir o malinterpretar su interpretación”;
- (P 2.3) “Las declaraciones están respaldadas por evidencia o lógica argumentos”;
- (P 2.4) “La información enfatiza los puntos clave y las ideas más significativas, con un adecuado nivel de detalle”;
- (P 2.5) “El lenguaje utilizado en la explicación es apropiado”.

Motivación

- (P 3.1) “El recurso ofrece una representación cercana a la realidad que estimula el interés del alumno”;
- (P 3.2) “La duración de la visualización del contenido favorece la atención del alumno”;
- (P 3.3) “Los estudiantes podrían ser motivados con este tipo de recurso”.

Diseño y presentación

- (P 4.1) “La presentación del video requiere un número mínimo de búsquedas visuales”;
- (P 4.2) “Los gráficos y tablas son claros, concisos y sin errores”;
- (P 4.3) “Los videos incluyen narración”;
- (P 4.4) “Los párrafos están encabezados por encabezamientos”;
- (P 4.5) “La redacción es clara, concisa y sin errores”;
- (P 4.6) “El color y el diseño son estéticos”.

Apéndice B

Comentarios recibidos

Primer cuestionario enviado

- (C 1.1) “El tiempo de cada diapositiva es muy corto. Sería mejor que las explicaciones estuvieran animadas, por ejemplo en el de ordenamiento ver cómo se mueven los colores. En 8 puzzle ver un ejemplo más detallado de como se ramifica el árbol de búsqueda con las posibilidades.”;
- (C 1.2) “una excelente iniciativa, agregar una narración entregaría mayor facilidad al estudiante que utilice la IA, agregar un enlace a las fuentes permitiría al alumno ahondar en los conocimientos.”;
- (C 1.3) “Lo único que añadiría sería agregar audio a las explicaciones, por lo demás muy bien sirve mucho ver una representación mas visual para comprender la materia.”;
- (C 1.4) “Opino que la herramienta tambien puede verse como orientada a profesores para facilitar la explicacion de algoritmos en clases.”;
- (C 1.5) “Super buenos videos, pero el que no tengan audio es un poco desconcertante”;
- (C 1.6) “100/100”;
- (C 1.7) “Buena iniciativa”;
- (C 1.8) “Las instrucciones tienen un par de errores de ortografía. En la declaración de variables de estado inicial en el segundo video, h12348765 no se sabe de que tipo es; si estuviera con comillas se subentendería que es un string, si sólo fueran números se entendería que es una variable de tipo numérico. Asumo que debe ser un arreglo que admite múltiples tipos de datos. Creo que debería haber más claridad en eso. Creo que sería una herramienta útil para los profesores. Se puede utilizar para crear una presentación base que después es mejorada a mano. Haría el trabajo de crear presentaciones para clases más rápido y productivo.”;

Primer cuestionario enviado

(C 1.9) “La declaración "Los videos incluyen narración "no comprendí si es sobre si se desea o si esta implementado, tampoco entendí "Los párrafos están encabezados por encabezamientos "La presentación del video requiere un número mínimo de búsquedas visuales".

Por otro lado me parece una buena idea generar videos de manera automática, pero encuentro que si se realizan sin audio pausarlos para leer termina siendo como un ppt y al no tener audio mas aun. Quizás es buena idea que por lo menos te lea lo que se muestra dentro del video (entiendo que puede ser complejo, pero seria mas interesante que estar viendo como pasa)”;

(C 1.10) “Añadir detalles estéticos como transiciones o musica de fondo tipo lo-fi puede darle una perspectiva más orgánica al alumno del video”;

(C 1.11) “La idea está buena, pero los videos son como pasar un ppt solamente y los estudiantes no van a estar motivados para verlos. Recomendaría que posterior a generar el video se pudiera agregar un audio explicando la materia que se ve, o por último, poner una música suave de fondo para que no esté ese silencio.”;

(C 1.12) “Los textos a veces se estiran demasiado cuando hay mucha información en el cuadro por temas de espacio pero en respecto a todo lo anterior, está todo muy bien.”

Segundo cuestionario enviado

(C 2.1) “Por lo general, gran parte de lo que uno aprende en programación es programando. Entonces, tener videos explicativos, lo único que hace es favorecer al aprendizaje, ya que algunos profesores que no les gusta subir material a las plataformas y tener todo en clases, se les olvida que todos somos humanos, y la capacidad de retención es limitada. Por eso, que hagan videos así, no solo favorece a el aprendizaje, sino que también, ayuda a que las universidades se adapten a los nuevos tiempos, y las nuevas formas de aprendizaje.”;

Segundo cuestionario enviado

- (C 2.2) “La generación del contenido esta interesante y valiosa. Exito en tu trabajo, tiene un futuro prometedor

Para el video: Puzzle simple (tres colores) Vi el video varias veces y en el proceso de búsqueda (4) no quede tan conforme de que es lo que esta ocurriendo. El audio para mi estuvo de sobra y tuve que pausar el video para interpretar lo que estaba ocurriendo, entonces siento que con eso desaparece el asistente que ayuda a entender el video.

Para el video: Ocho puzzle (sliding puzzle) Mis sugerencias apuntan a distribuir de mejor forma los mensajes en las diapositivas, hacer uso correcto del espacio en pantalla, por ejemplo: cuando se coloca un mensaje "mover derecha"que este mensaje no se solape con otro mensaje. Si el video comienza mostrando una matriz de 3x3 cuadrada, que no finalice mostrando un rectángulo de 3x3, cuando hay espacio de sobra para mostrar un cuadrado.

Otra sugerencia, cuando se usa Git, este te detecta los cambios realizados en cada commit, color verde lo nuevo, color rojo lo modificado. Acá en el video, no hay colores ni señáleticas que acompañen visualmente que se esta modificando, añadir un color de los cambios realizados o flechas pueden facilitar a entender que es lo que esta ocurriendo en el algoritmo. (en el powerpoint, sección transición & animaciones).”;

La transición entre cada diapositiva es muy brusca, se sugiere añadir unos segundos mas entre cada diapositiva.”;

- (C 2.3) “Mucho mejor visualmente y puede generar interés en estudiar a través de estos videos generados.”;

- (C 2.4) “En mi opinión habría sacado la música de fondo pero está bien”;

- (C 2.5) “En “Ocho puzzle (sliding puzzle)” a pesar de que se dice que se utilizan 8 piezas, tal vez se podría definir el significado de la variable “H” antes de utilizarla como “hueco”, también en la declaración de variables aparece como “h” minúscula y en la matriz como mayúscula, aunque sea solo algo visual igual como que tiende a distraer un poco.

Además, la disposición de las dispositivas ralentiza la búsqueda del estado objetivo ya que hay que retroceder el vídeo para ver el estado objetivo y luego volver a donde estaba para ver si coincide.”

- (C 2.6) “A decir verdad esta mucho mejor la versión narrada pero da la sensación de incomerciable o estafa la utilización de IA,es solo una apreciación personal, fuera de eso buen video 10/10”

Tercer cuestionario enviado (Profesores)

- (C 3.1) “En algunos láminas que aparecen en el segundo vídeo dice contine cuando creo que debería decir contiene”;
- (C 3.2) “Me parece un recurso muy bueno.”;
- (C 3.3) “El tono de voz de la relatora suele ser monótona, pero al ser videos cortos, no debiera aburrir al receptor. Felicitaciones.”;
- (C 3.4) “no entendí encabezamientos?, sería bueno configurar los tonos de la voz, para enfatizar”;
- (C 3.5) “Felicidades por el proyecto”