



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

IGASCE: UN VIDEOJUEGO EDUCATIVO PARA ENSEÑAR ALGORITMOS
RELACIONADOS A GRAFOS A ESTUDIANTES DE UNIVERSIDAD

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN CIENCIAS, MENCIÓN COMPUTACIÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN COMPUTACIÓN

ALONSO UTRERAS MIRANDA

PROFESOR GUÍA:
IVÁN SIPIRÁN MENDOZA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
NOMBRE COMPLETO UNO
NOMBRE COMPLETO DOS
NOMBRE COMPLETO TRES

SANTIAGO DE CHILE
2023

Resumen

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

A mi abuelo, que siempre me apoyó en mis estudios.

Agradecimientos

Gracias a Noemí por acompañarme en todo este proceso, de inicio a fin. A mi familia por su apoyo incondicional en todos los niveles.

A mí profesor guía y maestro, Iván Sipirán, quien siempre me recibió con una sonrisa, una conversación muy amena y dando excelentes consejos.

A mis profesores por su ayuda, por ayudarme a crecer no solo como profesional y como estudiante, sino también como persona. No sería quien soy de no ser por ustedes.

Gracias a mis amistades, por su apoyo, pero también a quienes me pidieron apoyo, porque en la ayuda mutua es donde surgen las mejores ideas. Gracias Alfonso, Gabriel, Ricardo, Felipes, Jeremy, Nancy, Isa, Enri, Fernanda, Dani, Nico, Mati, Martín, Bea, Tommy. Se pasaron, sin ustedes no estaría escribiendo la tesis.

Gracias a mis colegas, que me ayudaron sin esperar nada a cambio. Me dieron excelentes guías que jamás se me hubieran ocurrido.

Gracias a la Facultad por brindarme el espacio de trabajo, donde sufrí, disfruté, lloré de tristeza y felicidad más de una vez. Por permitirme trabajar de lunes a domingo, de sol a sol. Por poder pasar la noche aquí y vivir en un ambiente de trabajo propicio.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivo General	2
1.3. Objetivos Específicos	3
2. Trabajo Relacionado	4
3. Diseño de la Solución	6
3.1. Referentes	6
3.2. Descripción de la aplicación al momento de la realización de los experimentos	6
3.2.1. Diagrama de flujo de juego	9
3.2.2. Menú principal	9
3.2.3. Tutoriales	9
3.2.4. Niveles jugables	9
3.2.5. Narrativa	9
3.3. Requisitos de usuario	9
3.4. Requisitos de software	9
3.5. Requisitos no funcionales	9
3.6. Proceso de diseño	9
3.6.1. Diseño de la interfaz de usuario	9
3.6.2. Diseño de mecánicas de juego	9
3.7. Arquitectura de software	9

3.8. Implementación de la solución	9
3.9. Diseño experimental	9
3.9.1. Fase exploratoria	9
3.9.2. Medición de resultados académicos	9
3.9.3. B testing	9
3.9.4. Trabajo y encuesta libre	9
4. Resultados	10
5. Discusión	11
5.1. Fortalezas de la metodología aplicada	11
5.2. Debilidades de la metodología aplicada	11
5.3. Mejoras en una experiencia futura	11
5.4. Trabajo futuro	11
6. Conclusión	12
Bibliografía	14
Apéndice A. Anexo	15

Índice de Ilustraciones

6.1. Logo de la Facultad	12
------------------------------------	----

Índice de Tablas

6.1. Tabla 1	13
------------------------	----

Capítulo 1

Introducción

La presente investigación busca llevar las instrucciones llevadas a cabo por los algoritmos relacionados a grafos a una representación visual e interactiva para que los estudiantes de computación puedan aprender acompañándose con esta herramienta con el fin de determinar si el uso de herramientas interactivas y con feedback visual logra mejores resultados a nivel de aprendizaje y motivación en los estudiantes.

El trabajo consiste en presentar a estudiantes de ciencias de la computación un videojuego donde se muestren grafos, en que el jugador debe ejecutar las instrucciones de estos algoritmos, apoyándose en elementos visuales. El objetivo de esta investigación de tesis es determinar si se ven diferencias en los niveles de motivación percibidos por el estudiantado y en el entendimiento de los algoritmos, medido a través de una prueba donde se pregunta por algoritmos de grafos. El público objetivo son estudiantes que estén en su primer año de ciencias de la computación (CS por sus siglas en inglés), aunque también es aplicable a estudiantes de otras carreras relacionadas a ingeniería que sepan de programación pero que no hayan aprendido de grafos todavía.

1.1. Motivación

El uso de tecnologías digitales ha permitido acelerar el acceso al conocimiento y su escabilidad, permitiendo que estudiantes que habrían sido excluidos en otros contextos, ahora puedan acceder a la educación. Sin embargo, la educación en línea tiene sus propios retos [7]. En este contexto, se vuelve importante buscar metodologías que permitan acelerar el aprendizaje de los estudiantes con tecnologías adaptables, escalables, y que permitan un aprendizaje más eficiente. Se postula popularmente que la capacidad de atención de forma prolongada ha disminuido en las nuevas generaciones. Hay estudios que contradicen estas afirmaciones [6], indicando que las habilidades cognitivas de los estudiantes han cambiado, pero no necesariamente empeorado. Existen términos como “doomsters” y “boosters” [8], para describir la polarización entre estas miradas con respecto a la tecnología. En lo que sí existe consenso, es que la tecnología y su portabilidad ha incrementado la cantidad de distracciones a las que se exponen los estudiantes [11, 9]. A intentar realizar más de una tarea a la vez se le llama

multitasking, y se ha demostrado que disminuye la productividad y el aprendizaje, aunque las personas creen que pueden hacer más de una cosa a la vez [2]. Con la popularización de los smartphones y las clases en línea, el multitasking -desde hacer labores del hogar hasta sacar el celular y revisar alguna aplicación- durante clases se ha incrementado [9]. Una forma de distracción reconocida en la literatura es la interferencia motivacional, propuesta y explicada por Fries y Dietz [3]. Esta indica que la motivación respecto a la clase disminuye debido a la presencia de tentaciones más atractivas para la atención, como los smartphones. En este contexto, donde los estudiantes se ven tentados a distraerse, es importante buscar formas de mantenerlos motivados y enfocados durante las clases. Es aquí donde se proponen utilizar videojuegos educativos como una manera de mantener a los estudiantes motivados y enfocados en la tarea que se les pide realizar. Estos se destacan porque tienen potencial como una herramienta complementaria para la enseñanza, evaluación y entretenimiento para los estudiantes. Entre los beneficios que reportan los videojuegos educativos se destaca la motivación. En [1] se indica que para disfrutar una actividad, primero se debe permitir a la mente de un individuo percibir tal actividad como motivante. En [10], Yu hace una revisión sistemática de la literatura sobre los efectos de los videojuegos educativos en el aprendizaje de los estudiantes y su motivación. En este estudio, con respecto a la motivación, se señala que en un contexto de aprendizaje que utilice o se complemente con videojuegos educativos afecta positivamente la motivación e incluso los logros académicos, pero también indica que han habido estudios que contradicen esta afirmación, por lo que se requiere más investigación en el área. Además, Yu también indica que los juegos logran resultados positivos en el aprendizaje, pero indicando que son utilizados como complementos a la enseñanza tradicional, y no como un reemplazo total, además, se indica que el diseño del videojuego afecta totalmente el resultado final. Por ejemplo, los juegos de acción o realidad aumentada tenían mejores resultados que un juego tradicional, y que las mecánicas, elementos visuales y narrativos afectan significativamente el resultado final. Considerando estos antecedentes, de que un videojuego educativo puede enseñar, es escalable, repetible y flexible, es que se presenta una oportunidad para analizar la percepción de estudiantes de computación con respecto a un videojuego educativo que enseñe algoritmos relacionados a grafos. En la mayoría de los estudios citados previamente se indica que falta tener certeza respecto de la percepción de los usuarios al jugar videojuegos educativos y que se requiere indagar más. Por lo mismo, resulta conveniente utilizar la misma prueba estandarizada para probar distintos diseños de videojuegos, con distintas poblaciones objetivo. Por esta razón, se utilizó el formulario MEEGA+ para medir la motivación de los estudiantes, y una prueba de conocimiento para medir el aprendizaje de los estudiantes.

1.2. Objetivo General

El objetivo principal de este trabajo es medir el aprendizaje y la motivación de los estudiantes de computación al utilizar un videojuego educativo para enseñar algoritmos relacionados a grafos con las características presentadas en este trabajo.

1.3. Objetivos Específicos

- Diseñar una aplicación interactiva que muestre grafos y permita seguir los pasos relacionados a algoritmos que trabajen con grafos.
- Aplicar una prueba estandarizada para medir la percepción de los estudiantes sobre el videojuego creado.
- Proponer, diseñar e implementar una mecánica de juego y arquitectura de programación que permita ser transferida a otros videojuegos que enseñen materias relacionadas a la programación.

Capítulo 2

Trabajo Relacionado

Un videojuego es una forma de aprendizaje activo, pues el proceso de enseñanza no se desarrolla partiendo por un profesor exponiendo frente a un estudiante. En este caso, quien aprende debe ejecutar pasos y participar en alguna actividad a través de la cual se construye el conocimiento. En la reseña realizada por Hartikainen et al. [?] se enumeran justificaciones para el aprendizaje activo: mejores resultados, recomendaciones políticas y las nuevas demandas de la vida laboral actual, como capacidades de comunicación o descubrimiento por cuenta propia.

Los videojuegos serios (Serious Gaming) son una forma de aprendizaje activo. Un trabajo de Bell y Gibson [?] indican que los juegos educativos son más efectivos que las clases, lecturas, videos y tareas. Se resume que el uso de juegos resulta en 1) mejor retención, 2) mejor conocimiento fáctico, 3) mejor conocimiento basado en habilidades y 4) mayor autoeficacia. Sin embargo, recomiendan que los juegos deben ser acompañados de otras formas de enseñanza, así como hacer actividades post juego donde se le pregunta al estudiantado cómo se relacionan los juegos a la materia.

Bell y Gibson [?] identificaron y clasificaron videojuegos de Ciencias de la Computación (CS), considerando un total de 41 videojuegos. Uno de ellos, Map Coloring, se trata sobre grafos, tomando el tema de coloreo de grafos. Se realizó una búsqueda del juego a la fecha (2022), pero no se encontró ningún material al respecto.

Kiili y su equipo [?] analizaron el uso de videojuegos en enseñanza y evaluación en matemáticas a través de los títulos "Semideusz" "Wuzzit Trouble". A través de estos, llegaron a la conclusión de que es posible utilizar videojuegos para enseñar y evaluar al mismo tiempo. Además, caracterizaron estadísticamente las diferencias producidas por el uso de videojuegos entre resultados de un pre test y un post test.

En el trabajo realizado por Zhao y Shute [?] se enumeran ejemplos de videojuegos pensados para enseñar programación, tales como Wu's Castle [?], CodeCombat [?], CodeSpell [?], MiniColon [?], tales ejemplos utilizan programación con texto. Sin embargo, también hay numerosos ejemplos que utilizan programación por bloques, como LightBot [?], Scratch [?], [?] y RoboBuilder [?], los cuales abstraen el trabajo de aprender una sintaxis relacionada a los lenguajes de programación.

Sin embargo, el impacto de estos videojuegos no ha sido evaluado en muchos casos. En los casos documentados, se cuenta con muestras pequeñas, además de que se trata principalmente de evaluaciones puramente cualitativas [?], [?].

Kiili y su equipo, Bell et al., Giani y otros [?] están de acuerdo en que no hay sistematización en la evaluación de videojuegos educativos. En efecto, hay juegos serios que ni siquiera se denominan o consideran como tales [?]. Por otra parte, no existe una forma estándar de evaluarlos, razón por la cual Petri, Giani y otros [?] crearon el modelo MEEGA+ (Model for the Evaluation of Educational Games and EGameFlow scale).

Entre las faltas mencionadas al momento de crear videojuegos, se mencionan las faltas de 1) Definición de un objetivo de evaluación; 2) Diseño de investigación; 3) Programa de medición; 4) Instrumentos de recolección de datos y 5) Métodos de análisis de datos. Un ejemplo de falta de sistematización: una práctica común al analizar estas herramientas son los comentarios informales por parte del estudiantado [?].

Capítulo 3

Diseño de la Solución

La aplicación creada, llamada IGACSE (Interactive Graph Algorithms for Computer Science Education) de ahora en adelante, es propuesta y diseñada en base a diversos requerimientos y necesidades de los estudiantes de computación.

3.1. Referentes

Se tiene como supuesto de que muchas veces los estudiantes creen entender cómo funciona cierto código o algoritmo, pero no lo aplican paso a paso con papel y lápiz o en su imaginación propia. Cuando se asigna como ejercicio realizar el procedimiento siguiendo cada instrucción rigurosamente, los estudiantes no lo realizan, o lo hacen de forma incorrecta sin darse cuenta.

El videojuego logrado debe evitar la mecanización por parte del estudiante, obligándolo a revisar exhaustivamente cada paso relacionado con el algoritmo, de manera que no sé por sentado que se entiende el código o de que se comprendió a cabalidad.

Por otra parte, para que enseñar conceptos relacionados con programación, lo ideal es buscar usuarios que sepan cómo funciona, pero que no tengan tanta experiencia y que no necesariamente visualicen cómo funciona instrucción por instrucción. Por lo mismo, se propone basarse en un modelo similar a los debuggers, donde se puede ver el estado de las variables en cada paso, así como la instrucción por ejecutarse y el resultado de la misma.

3.2. Descripción de la aplicación al momento de la realización de los experimentos

El videojuego se separa en distintos niveles. Consta de un menú principal, tutoriales y niveles jugables. En el menú principal se puede seleccionar el nivel a jugar o un modo historia. En el modo historia, se juegan todos los niveles en orden, y se desbloquean a medida que se avanza.

En los tutoriales se enseñan los conceptos básicos de grafos, pero sin indicarle al usuario explícitamente qué es un grafo. Además, se enseñan conceptos de jugabilidad, cómo explorar o seleccionar un nodo, cómo navegar en el código ejecutando instrucciones, y cómo contestar preguntas del tipo Sí/No cuando el código tiene una instrucción que incluya un `if`.

Finalmente, se presentan los niveles jugables, que corresponden a los dos algoritmos que se buscan enseñar: BFS (Breadth First Search) y DFS (Depth First Search). En estos niveles no se presenta historia y hay menos ayuda para el usuario.

- 3.2.1. Diagrama de flujo de juego
- 3.2.2. Menú principal
- 3.2.3. Tutoriales
- 3.2.4. Niveles jugables
- 3.2.5. Narrativa
- 3.3. Requisitos de usuario
- 3.4. Requisitos de software
- 3.5. Requisitos no funcionales
- 3.6. Proceso de diseño
 - 3.6.1. Diseño de la interfaz de usuario
 - 3.6.2. Diseño de mecánicas de juego
- 3.7. Arquitectura de software
- 3.8. Implementación de la solución
- 3.9. Diseño experimental
 - 3.9.1. Fase exploratoria
 - 3.9.2. Medición de resultados académicos
 - 3.9.3. B testing
 - 3.9.4. Trabajo y encuesta libre

Capítulo 4

Resultados

Capítulo 5

Discusión

- 5.1. Fortalezas de la metodología aplicada
- 5.2. Debilidades de la metodología aplicada
- 5.3. Mejoras en una experiencia futura
- 5.4. Trabajo futuro

Capítulo 6

Conclusión

Mauris ac ipsum. Duis ultrices erat ac felis. Donec dignissim luctus orci. Fusce pede odio, feugiat sit amet, aliquam eu, viverra eleifend, ipsum. Fusce arcu massa, posuere id, nonummy eu, pulvinar ut, wisi. Sed dui. Vestibulum nunc nisl, rutrum quis, pharetra eget, congue sed, dui. Donec justo neque, euismod eget, nonummy adipiscing, iaculis eu, leo. Duis lectus. Morbi pellentesque nonummy dui.

Aenean sem dolor, fermentum nec, gravida hendrerit, mattis eget, felis. Nullam non diam vitae mi lacinia consectetur. Fusce non massa eget quam luctus posuere. Aenean vulputate velit. Quisque et dolor. Donec ipsum tortor, rutrum quis, mollis eu, mollis a, pede. Donec nulla. Duis molestie. Duis lobortis commodo purus. Pellentesque vel quam. Ut congue congue risus. Sed ligula. Aenean dictum pede vitae felis. Donec sit amet nibh. Maecenas eu orci. Quisque gravida quam sed massa.

Nunc euismod, mauris luctus adipiscing pellentesque, augue ligula pellentesque lectus, vitae posuere purus velit a pede. Phasellus leo mi, egestas imperdiet, blandit non, sollicitudin pharetra, enim. Nullam faucibus tellus non enim. Sed egestas nunc eu eros. Nunc euismod venenatis urna. Phasellus ullamcorper. Vivamus varius est ac lorem. In id pede eleifend nibh consectetur faucibus. Phasellus accumsan euismod elit. Etiam vitae elit. Integer imperdiet nibh. Morbi imperdiet orci euismod mi.

Donec tincidunt tempor metus. Aenean egestas cursus nulla. Fusce ac metus at enim viverra lacinia. Vestibulum in magna non eros varius suscipit. Nullam cursus nibh. Mauris neque. In nunc quam, convallis vitae, posuere in, consequat sed, wisi. Phasellus bibendum consectetur massa. Curabitur quis urna. Pellentesque a justo.



Figura 6.1: Logo de la Facultad

Tabla 6.1: Tabla 1

Campo 1	Campo 2	Num
Valor 1a	Valor 2a	3
Valor 1b	Valor 2b	3

In sit amet dui eget lacus rutrum accumsan. Phasellus ac metus sed massa varius auctor. Curabitur velit elit, pellentesque eget, molestie nec, congue at, pede. Maecenas quis tellus non lorem vulputate ornare. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Etiam magna arcu, vulputate egestas, aliquet ut, facilisis ut, nisl. Donec vulputate wisi ac dolor. Aliquam feugiat nibh id tellus. Morbi eget massa sit amet purus accumsan dictum. Aenean a lorem. Fusce semper porta sapien.

Curabitur sit amet libero eget enim eleifend lacinia. Vivamus sagittis volutpat dui. Suspendisse potenti. Morbi a nibh eu augue fermentum posuere. Curabitur elit augue, porta quis, congue aliquam, rutrum non, massa. Integer mattis mollis ipsum. Sed tellus enim, mattis id, feugiat sed, eleifend in, elit. Phasellus non purus sed elit viverra rhoncus. Vestibulum id tellus vel sem imperdiet congue. Aenean in arcu. Nullam urna justo, imperdiet eget, volutpat vitae, semper eu, quam. Sed turpis dui, porttitor ut, egestas ac, condimentum non, wisi. Fusce iaculis turpis eget dui. Quisque pulvinar est pellentesque leo. Ut nulla elit, mattis vel, scelerisque vel, blandit ut, justo. Nulla feugiat risus in erat.

Bibliografia

- [1] Christian Bisson and John L. Luckner. Fun in learning: The pedagogical role of fun in adventure education. *Journal of Experiential Education*, 19:108 – 112, 1996.
- [2] Sarah E. Domoff, Ryan P. Foley, and Rick C. Ferkel. Addictive phone use and academic performance in adolescents. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 2019.
- [3] Stefan Fries and F. Meredith Dietz. Learning in the face of temptation: The case of motivational interference. *The Journal of Experimental Education*, 76:112 – 93, 2007.
- [4] Sarah Victoria Gentry, Andrea Gauthier, Beatrice L’Estrade Ehrstrom, David Wortley, Anneliese Lilienthal, Lorainne Tudor Car, Shoko Dauwels-Okutsu, Charoula K Nikolaou, Nabil Zary, James Campbell, and Josip Car. Serious gaming and gamification education in health professions: Systematic review. *J Med Internet Res*, 21(3):e12994, Mar 2019.
- [5] Ioannis Karatzas. and Steven E. Shreve. *Brownian Motion and Stochastic Calculus*. Springer, Berlin, 2nd edition, 2000.
- [6] Jason M. Lodge and William J. Harrison. The role of attention in learning in the digital age. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 92:21 – 28, 2019.
- [7] United Nations. The impact of digital technologies, 2023. Accessed: yyyy-mm-dd.
- [8] Neil Selwyn. Looking forward : Reimagining digital technology and the contemporary university. 2014.
- [9] Cheng-Hsin Wang. Comprehensively summarizing what distracts students from online learning: A literature review. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 2022.
- [10] Zhonggen Yu, Min Gao, and Lifei Wang. The effect of educational games on learning outcomes, student motivation, engagement and satisfaction. *Journal of Educational Computing Research*, 59:522 – 546, 2020.
- [11] B. Zimmerman and Dale H. Schunk. Handbook of self-regulation of learning and performance. 2011.

Apéndice A

Anexo