

Modelo de videojuegos para mejorar habilidades matemático-geométricas en aprendices ciegos

Jaime Sánchez

Departamento de Ciencias de la Computación y
Centro de Investigación Avanzada en Educación,
Universidad de Chile
Chile
jsanchez@dcc.uchile.cl

Matías Espinoza

Departamento de Ciencias de la Computación y
Centro de Investigación Avanzada en Educación,
Universidad de Chile
Chile
maespino@dcc.uchile.cl

Marcela Carrasco

Departamento de Ciencias de la Computación y
Centro de Investigación Avanzada en Educación,
Universidad de Chile
Chile
mcarrasco@c5.cl

José Miguel Garrido

Facultad de Educación, Pontificia Universidad
Católica de Valparaíso y Centro de Investigación
Avanzada en Educación, Universidad de Chile
Chile
jgarrido@ucv.cl

ABSTRACT

Learning geometry is mainly supported through forms of visual communication of information to solve a math problem or exercise. This reason motivates to research and to develop mechanisms for visually impaired learners improve their math skills in geometry, which is fundamental to their performance in daily life. One way to tackle this problem is through multimodal based videogames, such as audio and haptic interfaces, that aim to the development of these skills. These videogames should be designed according to the objectives, methodologies and resources, as well as considering the interests and ways of interacting of end users. We present a model for videogame development to improve math skills in geometry by visually impaired learners.

RESUMEN

El aprendizaje de la geometría es principalmente apoyado por formas de comunicación visual de la información para resolver un ejercicio o problema matemático. Esta razón motiva a investigar y desarrollar mecanismos para que aprendices con discapacidad visual mejoren sus habilidades matemáticas en geometría, lo cual es fundamental para su desempeño en la vida diaria. Una forma de atacar el problema es a través de videojuegos basados en interfaces multimodales, tales como audio y háptica, que apunten al desarrollo de estas habilidades. Estos videojuegos deben ser diseñados acorde a los objetivos, metodologías y recursos disponibles, así como también considerando los intereses y formas de interacción de los usuarios finales. En este trabajo presentamos un modelo de desarrollo de videojuegos para mejorar habilidades matemáticas en geometría en aprendices con discapacidad visual.

KEYWORDS

Modelo de ingeniería de software, videojuegos, aprendizaje de geometría.

INTRODUCCION

El propósito formativo que actualmente posee la educación matemática a nivel internacional está fuertemente ligado al desarrollo de tendencias que prestan mayor atención y predilección por una matemática aplicada que enfatiza la construcción de modelos matemáticos para el análisis de problemas de la vida real. Esto ha implicado abandonar el foco en los modelos axiomáticos y las teorías de conjuntos que fue la tónica de muchos currículos en las décadas de los 70, 80 y 90 del s.XX. Este tránsito se manifiesta en currículos que acentúan el desarrollo del razonamiento y habilidades para la resolución de problemas.

En el caso chileno este tránsito ha sido similar. De esta manera es posible constatar que dentro del curriculum nacional la enseñanza de la matemática tiene como propósito formativo enriquecer la comprensión de la realidad, facilitar la selección de estrategias para resolver problemas y contribuir al desarrollo del pensamiento crítico y autónomo para que los estudiantes sepan adaptarse y enfrentar situaciones cada vez más complejas en su vida cotidiana. A la hora de desarrollar el pensamiento a través del aprendizaje de la Matemática, no sólo se está abordando el desarrollo de capacidades cognitivas claves sino que también otros tipos de competencias ligadas al desarrollo personal, la conducta moral y social como son: la perseverancia, el trabajo colaborativo, la toma de decisiones, el sentido común, etc.; todas las cuales buscan habilitar a los estudiantes a utilizarlas en la vida diaria y en el desarrollo de otros saberes, aprehendiendo para ello del lenguaje y lógica de construcción del conocimiento matemático [14].

Como resultado de lo anterior, se espera que los estudiantes puedan desarrollar habilidades para interpretar y explicar la realidad estableciendo relaciones lógico-matemáticas y de causalidad, resolviendo para esto problemas donde dicha relación pueda ser aplicada [15], aportando con ello también al desarrollo de una capacidad creatividad e indagadora.



Enseñanza de Matemática y Geometría

La educación matemática es uno de los pilares de la formación que se busca entregar a los nuevos aprendices, esto responde al papel que juega como medio para enriquecer la comprensión de la realidad, facilitar la selección de estrategias para resolver problemas y contribuir al desarrollo del pensamiento crítico y autónomo para que los estudiantes sepan adaptarse y enfrentar situaciones cada vez más complejas en su vida cotidiana. En las últimas décadas esta valoración ha ido acompañada de un énfasis por la matemática aplicada que permitan desarrollar el razonamiento matemático y con ello las capacidades para analizar y resolver situaciones problemáticas reales. De la misma manera, el aprendizaje matemático apunta al desarrollo de competencias ligadas al desarrollo personal, la conducta moral y social como son: la perseverancia, el trabajo colaborativo, la toma de decisiones, el sentido común, etc.; todas las cuales buscan habilitar a los estudiantes a utilizarlas en la vida diaria y en el desarrollo de otros saberes, aprehendiendo para ello del lenguaje y lógica de construcción del conocimiento matemático. Como resultado de lo anterior, se espera que los estudiantes puedan desarrollar habilidades para interpretar y explicar la realidad estableciendo relaciones lógico-matemáticas y de causalidad, resolviendo para esto problemas donde dicha relación pueda ser aplicada [14], aportando con ello también al desarrollo de una capacidad creatividad e indagadora.

En el caso del currículum chileno, este propósito se evidencia en aprendizajes que buscan que un estudiante sea capaz de dar solución situaciones diversas aplicando para ello un procedimiento para resolver un problema, o sea, que sea capaz de experimentar, seleccionar, crear y aplicar diferentes estrategias, así como usar y evaluar vías diversas de solución [16]. Para esto el currículum identifica habilidades y ejes temáticos (ver figura 1) que en su conjunto propician en los estudiantes la resolución de problemas, la representación, el modelamiento y la interpretación de situaciones que involucran el uso de un tipo de razonamiento que podemos denominar matemático.

Nivel	Habilidad	Ejes temáticos
Educación Parvularia	<ul style="list-style-type: none"> • Interpretar y explicar la realidad • Resolver problemas • Cuantificar • Relaciones de causalidad • Dimensiones de Tiempo-Espacio 	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades de los Objetos • Nociones Matemáticas • Geometría • Representaciones Simbólicas • Orientación Espacial
Educación Básica: 1° a 6°	<ul style="list-style-type: none"> • Resolver Problemas • Argumentar y Comunicar • Modelar • Representar 	<ul style="list-style-type: none"> • Números y Operaciones • Patrones y Álgebra • Geometría • Medición • Datos y probabilidades
Educación Básica: 7° a 8° Educación Media: 1° a 4°	<ul style="list-style-type: none"> • Resolver Problemas • Argumentar y Comunicar • Modelar • Representar • Razonamiento Matemático 	<ul style="list-style-type: none"> • Números • Álgebra • Geometría • Datos y Azar

Figura 1. Currículum chileno, habilidades y ejes temáticos [15][17][18]

Es desde este marco referencial desde el cual debe ser entendido

el eje temático de la geometría que, como área de conocimiento matemático presenta algunas características peculiares para su aprendizaje que influyen en la manera en que es tratada como objeto de enseñanza. Así, por ejemplo, posee una característica recursiva no lineal de sus conceptos y aplicaciones que impiden que su enseñanza sea lineal y jerárquica como otros ejes temáticos de la matemática, es decir, sus nociones deben ser reconsideradas desde diferentes puntos de vistas en distintas etapas de su tratamiento. Su aporte al desarrollo de habilidades y aprendizajes es amplio debido a que permite la convergencia entre lo abstracto y lo concreto como parte de su propio naturaleza como conocimiento, esto implica que las demostraciones o materialización de sus nociones en la realidad no son un ejemplo para comprender el concepto, sino que es en sí mismo el objeto a comprender [9].

Los aportes de la geometría al desarrollo de habilidades cognitivas se vinculan con: (i) la ciencia del espacio o el estudio del mundo físico mediante modelos idealizados, basados en perspectivas euclidianas y No euclidianas; (ii) un método de representación visual de conceptos y procesos que se vinculan tanto a otras ramas de las matemáticas como de otras ciencias; (iii) un medio para materializar el pensamiento deductivo y el desarrollo de aplicaciones; (iv) la distinción entre una geometría estática y una geometría dinámica diferencia que se funda en la continuidad y cambio de los objetos en el espacio.

Tal y como puede observarse en el currículum chileno, junto con ser uno de los ejes temáticos de aprendizaje que cruza la totalidad del currículum nacional de educación matemática, los aprendizajes a los que apunta la enseñanza de la geometría, se relacionan directamente con el desarrollo de capacidades antes descrita: configurar y utilizar un pensamiento espacial, el movimiento y el tratamiento de problemas mediante el uso de formas, tamaños y posiciones.

De esta manera se pueden identificar los siguientes aprendizajes como los claves de este eje:

- Reconocer, visualizar y dibujar figuras.
- Describir las características y propiedades de figuras en 3D y 2D tanto en situaciones estáticas como dinámicas.
- Reconocer aspectos espaciales y de ubicación de los cuerpos.
- Construcción de Figuras.
- Nociones de Medición en figuras planas
- Mediciones y representación

Tecnologías Digitales y enseñanza de la geometría

El uso de tecnologías digitales en la enseñanza de la geometría adquiere un valor esencial porque propicia la representación, construcción y reproducción de figuras geométricas lo cual favorece el desarrollo de procesos deductivos e inductivos de razonamiento interpretativo [4][12]. Esto se relación directamente con el modelamiento matemático que como habilidad permite construir una versión simplificada y abstracta de sistemas más complejo, esto permite, a los estudiantes, aprender a utilizar diferentes representaciones de datos, seleccionar y aplicar métodos y herramientas para resolver problemas. Un modelo básico, de ejemplo, es el planteamiento de una ecuación para expresar una

situación problema de la vida cotidiana.

Otra habilidad que se ve favorecida con el uso de tecnologías digitales en el aprendizaje de la geometría es la representación, la cual permite entender y operar de mejor forma conceptos y objetos ya construidos. Se puede dar a través de metáforas, es decir, transportando experiencias y objetos a un ámbito concreto o familiar a uno abstracto y nuevo. Los estudiantes aprenden a utilizar representaciones pictóricas (diagrama, esquemas, gráficos), lenguaje simbólico y vocabulario para comunicar. En cada una de las habilidades mencionadas resalta la necesidad de contar con situaciones, sean estas concretas o no, que vayan entregando experiencias para resolver diferentes tipos de problemas, oportunidades para usar diversas formas de comunicación de ideas, manejar variadas formas de representación de un mismo concepto.

Desde esta perspectiva, las herramientas tecnológicas digitales contribuyen al ambiente de aprendizaje, ya que permiten explorar y crear patrones, examinar relaciones en configuraciones geométricas y ecuaciones simples, ensayar respuestas, testear conjeturas, organizar y mostrar datos y abreviar la duración de cálculos laboriosos necesarios para resolver ciertos tipos de problemas. Esto se relaciona con una perspectiva situada y sociocultural de los procesos de enseñanza y aprendizaje [28][29], en los cuales las tecnologías digitales actúan como instrumentos culturales de mediación de las actividades humanas [26]. En la actualidad diversas investigaciones muestran como los desarrollos tecnológicos aportan el mejoramiento de la educación matemática y en particular a la enseñanza y aprendizaje de la geometría [19][22].

Enseñanza de la geometría y estudiantes con discapacidad visual

Si bien, la Matemática, puede obtenerse a través de una expresión verbal, gráfica, simbólico formal, etc.; ésta subyace en la realidad física (Fernández, 1986). En la mayoría de los casos, el aprendizaje de Geometría en el aula, es apoyado por gráficos, diagramas, dibujos y fotografías, todas ellas, muy utilizadas como formas de comunicación de información visual para resolver un ejercicio o problema matemático. Estos elementos gráficos deben cumplir la función de permitir que los aprendices hagan conexiones visuales que contribuyan a la comprensión de conceptos, ideas y relaciones ya sea en guías de trabajo, pruebas, libro de estudio, etc. En algunas ocasiones, y dependiendo del contenido, estas ilustraciones pueden no ser suficientes para explicar un fenómeno, necesitando que el profesor, adicionalmente, utilice como apoyo un video descriptivo, una animación flash o material didáctico manipulable durante la clase para la comprensión de conceptos geométricos abstractos.

Cabe preguntarse, entonces, ¿qué tan simple o complejo o pertinente será comunicar información visual de referencia a estudiantes ciegos durante una clase de geometría? En este caso existen limitaciones para realizar representaciones pictóricas de figuras 3D en 2D, esta dificultad demanda la necesidad de estímulo mayor que el uso de imágenes en relieve, es por ello que este material no siempre es adecuado como alternativa de acceso a la información visual de personas ciegas y se opta por utilizar recursos didácticos

más concretos ya sean reales o elaborados a escala. Aquí es donde la percepción háptica para “leer” representaciones de este tipo de objetos, toma relevancia como medio de acceso a la información de aprendices ciegos. La posibilidad de percibir los lados de una pirámide cerrada de cartón y luego percibir su altura en un modelo de pirámide abierta, confeccionada posiblemente solo con perfiles de metal, es una experiencia que debe estar mediada por una buena exploración por parte del aprendiz ciego, es decir, generar los movimientos manuales de forma organizada y con un fin que le permita manipular y explorar la figura 3D y sus elementos (ubicar altura, comprender su posición perpendicular respecto a la base, tipo de base, etc.), realizar cálculos a partir de los datos y posteriormente comprender e interpretar la información para resolver un problema geométrico.

Es por ello que la enseñanza de técnicas de exploración para hacer uso de diversos tipos de materiales táctiles debe ser abordada en la educación de aprendices ciegos. Consideraciones importantes respecto al uso de material concreto o didáctico a la hora de enseñar geometría tienen que plantearse para puedan hacer correcto uso de instrumentos para medir figuras y calcular volumen, utilizar teoremas, etc.). Necesario es destacar que la manipulación de lo físico, no sólo desarrolla capacidades sensoriales sino que también motrices y de observación, independientemente si se es estudiante con visión o ciego.

En el caso de experiencias con estudiantes ciegos, la enseñanza de la geometría se ha basado justamente en la elaboración de material que permita la exploración táctil y concreta de figuras y representaciones, lo cual ha permitido la aproximación a nociones geométricas de volumen, áreas y perímetros [21]. Algunos de estos estudios muestran que junto con dispositivo (material didáctico) adquiere relevancia el uso del lenguaje matemático y la gesticulación en torno a la actividad que realizan estudiante ciego y profesor [5][11]. Estas maneras de enseñar geometría son coherentes con otras áreas de las matemáticas que también son enseñados a estudiantes ciegos con apoyo multimodal [27].

Mapas Mentales e Interfaces basadas en audio y/o háptica

El ejemplo ilustrado anteriormente permite reconocer una problemática cognitiva a la que se ven expuesto los estudiantes con discapacidad visual y que tiene que ver con el uso de sus sentidos. Los aprendices con discapacidad visual pueden presentar dificultades en distintas áreas curriculares [8], por lo que, en un aprendiz ciego, resulta evidente que, parte de estas dificultades, se den a nivel perceptivo-visual, sobre todo respecto del aprendizaje geométrico. Es pertinente decir en cuanto a la percepción visual, que la misma deficiencia visual en dos aprendices influye en el acceso a la información de forma diferente, por ejemplo, el resto visual disponible para captar detalles de un mismo objeto variará entre un caso y otro. Los colores de un objeto no podrán ser percibidos o serán captados de forma distorsionada, el aspecto de iluminación dependerá de la acomodación del ojo y el contraste figura fondo influirá en la percepción del objeto.

En general, la mayoría de las personas pueden escuchar la geometría



espacial. Navegar una habitación en la oscuridad mediante escucha, notar el vacío de una casa sin muebles, reconocer que la acústica singular que posee una Iglesia entrega al espacio un significado simbólico o que la experiencia de la música en una sala de conciertos dependerá de donde se esté ubicado, siendo diferente en primera fila que en un balcón pueden ser ejemplo de ello. Aprender a “ver” los objetos con los oídos es una habilidad que algunas personas ciegas desarrollan para interactuar con el ambiente, mediante lo que se denomina ecolocación. Se entiende entonces, que la percepción auditiva permite experimentar el espacio, esta se entrena, en personas ciegas, tanto en educación especial como regular y aunque se relaciona muchas veces con el logro de habilidades de Orientación y Movilidad, trabajar la conciencia auditiva apoya otros aspectos del aprendizaje como la comprensión lectora mediante audio o el seguimiento de instrucciones verbales.

Respecto al tacto, es conocido el hecho que existe un uso preferente, por parte de personas ciegas, para obtener información e interactuar con el medio. La percepción háptica, entendida siempre como tacto activo, se diferencia de la percepción táctil (sentido cutáneo) y kinestésica (músculos y tendones) debido que éstos se usan mediante una recepción pasiva de la estimulación. A partir de la modalidad háptica (combinación de tacto y kinestesia) se obtiene información de las características de los objetos como textura, dureza, peso, rugosidad, forma, tamaño, temperatura, etc; es decir, información más completa, en donde la actividad voluntaria y el movimiento cumplen un rol muy importante en el caso de los estudiantes con discapacidad visual. Según Ballesteros (1993) [2], la percepción háptica no depende de la visual, sino que suministra información importante sobre los objetos que no son perceptibles a través de otros canales sensoriales, así la percepción háptica no es secundaria a la visión, si bien el conocimiento del mundo y la mayor parte de la información significativa que recibimos sobre las cosas, está basado en la función visual [1], el tacto puede sobrepasar a la visión, por ejemplo, al juzgar el grosor del papel o detectar vibraciones, esto es debido a que ambos sentidos tienen especializaciones diferentes.

El mapa cognitivo como proceso de razonamiento espacial entrega información espacial útil para la movilidad [23]. Es necesario diferenciar respecto al concepto de Mapa mental (mind map) elaborado por Tony Buzan, en este sentido, el mapa mental es un diagrama usado para representar ideas, su construcción también es subjetiva, pero tiene relación con una forma o estrategia para aprender o explicar algo, es entonces, una habilidad aprendida que se puede utilizar en diversas materias. La confección se caracteriza por la disposición radial de los elementos en torno a una idea, palabra, imagen clave principal en el centro. Su estructura, preferentemente visual, ayuda a la memoria, por lo tanto es posible aprender más fácilmente que sólo leyendo o atendiendo la explicación de una clase sobre o un tema.

Según Andrade (2010) [1], la necesaria intervención de los

sistemas háptico y auditivo como mediadores del aprendizaje en la adquisición de conceptos en el niño ciego, implica que sus representaciones mentales no serán equiparables a las elaboradas por un niño que vea sin dificultad, pues presentarán características peculiares, tanto de forma como de fondo. Según Lahav y Mioduser (2008) [13], el apoyo a nivel perceptual y conceptual es importante para el desarrollo de habilidades de orientación y elaboración de mapas cognitivos. La noción de mapa habla de una representación internalizada del espacio, mezcla de conocimiento objetivo y percepción subjetiva. El conocimiento espacial conformado por conceptos simples, ideas complejas, localizaciones y relaciones se encuentra retenido en la mente mediante imágenes cognitivas del medio las cuales forman los mapas cognitivos o mapas mentales. Como la mayor parte de la información requerida para realizar el mapeo es recopilada por el canal visual [13]; algunos autores postulan que los individuos ciegos utilizan, de forma compensatoria, otros canales sensoriales y métodos de exploración alternativos para construirlos [23].

La elaboración de mapa mentales se establece con la información de donde se encuentran los objetos, sus dimensiones (tamaño y forma) y su densidad, referida esta última a la solidez de los objetos (sólido - ralo, duro - suave). De acuerdo a lo que se ha estudiado respecto a la ecolocación humana, se ha establecido que, generalmente, es más fácil percibir objetos grandes, que pequeños, porque suelen reflejar más sonido de vuelta al oyente, creando el eco más fuerte y amplio, objetos cercanos que lejanos por razones similares como se indica anteriormente, la ubicación relativa de objetivos individuales que de varios objetivos. La excepción a esta última observación consiste en la comparación de las funciones del objetivo, tales como la absorción (suavidad versus dureza), o dimensión. Así también, es mucho más fácil comparar dos calidades diferentes de eco cuando se presentan juntos que en diferentes momentos, pudiendo establecer por ejemplo, la existencia de un edificio y otro detrás de él sin usar una guía táctil para llegar a él, cuando un obstáculo es sólido o no (muro o reja), entre otras características. Sólo mediante la comprensión de las interrelaciones de calidades sonoras se puede percibir la naturaleza de uno o varios objetos, así es necesaria la técnica para usar de forma apropiada las eco señales generadas por el propio individuo [10].

MODELO DE DESARROLLO DE VIDEOJUEGOS PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL

Para la confección del presente se tomó como referencia el modelo de [24]. Este modelo se ajustó y mejoró de acuerdo a las características planteadas en esta ocasión.

Luego de un análisis, reestructuración y generación de nuevos componentes, se generó un modelo completo de desarrollo de aplicaciones basadas en videojuegos que integra aspectos de educación, ingeniería de software y cognición para mejorar las habilidades matemáticas en geometría en personas con discapacidad visual.



Figura 2. Ciclo iterativo de desarrollo de software para el desarrollo de habilidades matemáticas en geometría en personas con discapacidad visual.

Para el desarrollo de aplicaciones basadas en videojuegos para mejorar habilidades matemáticas en geometría en usuarios con discapacidad visual, es necesario considerar tres procesos: (i) Definición de las habilidades matemáticas en geometría, (ii) El proceso de ingeniería de software para el diseño y desarrollo de las aplicaciones, y (iii) Un proceso de evaluación de impacto en los usuarios a partir del uso de las herramientas desarrolladas. Como se muestra en la figura 3, estos procesos deben ejecutarse de manera cíclica e iterativa. Esto genera un proceso global que va ajustando, de manera incremental, la herramienta tecnológica que se está desarrollando y los objetivos cognitivos relacionados a la navegación de los usuarios no videntes. A continuación se describen estos tres procesos.

Habilidades Matemáticas en Geometría

En este ámbito se requiere que los estudiantes construyan una comprensión del mundo y accedan al conocimiento en forma progresivamente autónoma. Ello exige que usen el lenguaje matemático, sus conceptos, procedimientos y razonamientos, como herramientas para entender el mundo y actuar frente a problemas cotidianos. Lo anterior tiene influencia en aprendizajes del mundo natural, social y tecnológico.

El aprendizaje geométrico, en segundo ciclo de Enseñanza Básica y primeros años de Enseñanza Media (1° a 2°) se enfoca en lograr reconocer, visualizar y dibujar figuras, describir sus características y propiedades de figuras 3D y figuras 2D en situaciones estáticas y dinámicas, entender la estructura del espacio y describir a través de conceptos y estudiar el movimiento de los objetos, para desarrollar pensamiento espacial. Habilidades como la visualización espacial, el pensamiento analítico, el cálculo, el modelamiento y las destrezas para resolver problemas, analizar los procedimientos y estrategias de resolución utilizadas, argumentar y comunicar, opinar y tomar decisiones, verificar y demostrar propiedades, se deben lograr atendiendo a la diversidad. Es decir, promocionando los aprendizajes a través de la comprensión que la necesidad de educar en forma diferenciada, implica en el reconocimiento de los

requerimientos didácticos personales que los alumnos necesitan.

Evaluación de Impacto

Dada la naturaleza de los usuarios con discapacidad visual, es complejo trabajar con muestras muy grandes de usuarios finales, principalmente cuando éstos son ciegos totales. Por este motivo generalmente la metodología sigue una lógica de estudio de casos, en que se involucra un análisis transversal y en profundidad de las instancias o eventos [25]. Al hacer un estudio de casos se elimina el requisito de trabajar con muestras aleatorias o contar con un número mínimo de sujetos [20].

Aún con un estudio de casos, nos interesa conocer la ganancia en términos de aprendizaje de puntajes pretest-postest como resultado del uso de la aplicación [3]. La variable dependiente corresponde a las habilidades en torno a la creación de mapas mentales para la comprensión de figuras, cuerpos y competencias en Geometría que se están estudiando. Básicamente este diseño responde a tres pasos: (i) Aplicación de un pretest, midiendo el comportamiento de la variable dependiente previo a la intervención; (ii) Aplicación de la intervención, esto es, utilización del software; y (iii) Aplicación de un postest, midiendo el comportamiento de la variable dependiente después de la intervención.

Dependiendo del enfoque del software, son diferentes las habilidades de movilidad y orientación que se pueden estudiar en la evaluación de impacto de la aplicación [7]. Para identificar la generación de imágenes mentales de figuras y la representación espacial de objetos se utilizan indicadores como “representa con material concreto, dibuja, explica qué formas visualiza en la situación problema planteada”, “reconoce cambios en la orientación espacial de la figura”, “explora figuras y cuerpos geométricos mediante háptica y sonido, interna y externamente, identificando sus elementos componentes” y “explora las posibilidades de movimiento de objetos geométricos creando un mapa mental de las nuevas posiciones”, “representa el espacio recorrido y lo asocia a una forma”, “representa correctamente cambios en la posición espacial de figuras y cuerpos geométricos”, “resuelve problemas geométricos comunicando sus estrategias de resolución” y “Construye y descompone cuerpos geométricos en partes“. Finalmente, el conocimiento matemático geométricos se puede obtener utilizando indicadores como “identifica relaciones espaciales entre diferentes objetos”, “reconoce cantidad de caras y las asocia a un volumen particular” y “comprende conceptos geométricos básicos (línea, lados, vértices, bordes, ángulos, volumen, perímetro, área)“.

Ingeniería de Software

Se propone un modelo basado en las 5 capas tradicionales de desarrollo de sistemas: Aprestó, Análisis, Diseño, Implementación y Evaluación (ver Figura 3). Este modelo tiene como objetivo guiar a investigadores y desarrolladores en el proceso de Ingeniería de Software para el diseño y desarrollo de videojuegos orientados a mejorar las habilidades matemático geométricas en niños y jóvenes con discapacidad visual.

En esta parte del modelo se modifica el modelo anterior [24], ampliándolo respecto de las habilidades cognitivas implicadas en

el pensamiento geométrico y apuntando directamente al diseño de videojuegos para desarrollar estas habilidades en personas con discapacidad visual.

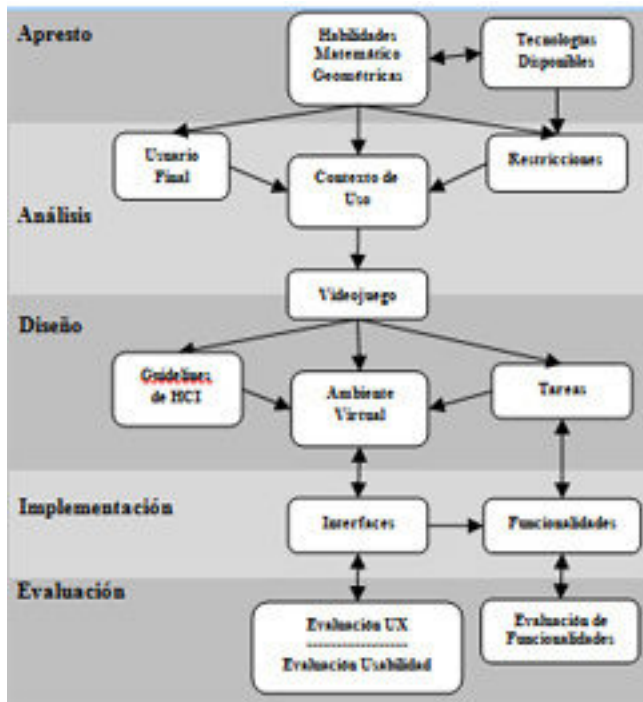


Figura 3. *Modelo para el desarrollo de videojuegos para el desarrollo de habilidades matemáticas en geometría.*

A continuación, se explica el proceso por fases y sus componentes principales a modo de guidelines, entregando el objetivo de cada uno, las actividades a realizar y los resultados esperados.

Fase de Apresto

Durante esta fase se determinan los elementos factibles de emplear para el desarrollo del videojuego. Esta fase se inicia a partir de la información relevante que proviene de la definición de habilidades en base a las cuales se trabajará. (ver Figura 3). Sus etapas son:

Habilidades matemático geométricas

- **Objetivo.** Determinar qué habilidades cognitivas efectivas, relacionadas con el aprendizaje de Geometría, serán apoyadas por el videojuego a desarrollar.
- **Actividades.** Listar las habilidades a desarrollar tentativamente, considerando a priori la tecnología disponible.
- **Resultado.** Se determinan a priori las habilidades que serán trabajadas a través del videojuego y en las que se espera obtener un impacto positivo.

Tecnologías Disponibles

- **Objetivo.** Determinar las tecnologías disponibles en el mercado que serán consideradas para el desarrollo del videojuego.
- **Actividades.** Listar las tecnologías disponibles e identificar su costo/beneficio.
- **Resultado.** Se obtendrá información sobre qué dispositivos tecnológicos y que herramientas se utilizarán para el desarrollo del videojuego.

Fase de Análisis

El objetivo de esta fase es comprender el problema que se está resolviendo, analizando a los usuarios finales del videojuego, las restricciones internas y externas, y el contexto de uso. Sus etapas son:

Usuario Final

- **Objetivo.** Analizar al usuario final del videojuego.
- **Actividades.** Especificar las características de los usuarios finales a nivel cognitivo, modelo mental, grado de visión y sus variables descriptivas más importantes.
- **Resultado.** Se determina específicamente el perfil de usuario final del videojuego.

Restricciones

- **Objetivo.** Analizar las restricciones en el uso del videojuego por parte de los usuarios finales.
- **Actividades.** Identificar las características conductuales del usuario final usando las tecnologías disponibles y las conductas sociales involucradas.
- **Resultado.** Se obtienen las reglas de conducta o restricciones del usuario final con el videojuego, para que pueda desarrollar correctamente las habilidades cognitivas deseadas.

Contexto de Uso

- **Objetivo.** Analizar el contexto real de desenvolvimiento de los usuarios en relación a las habilidades cognitivas que el videojuego apoyará.
- **Actividades.** Identificar los problemas de este perfil de usuarios en diferentes contextos reales, considerando un perfil completo de usuario final y las restricciones de uso del videojuego.
- **Resultado.** Se identifican específicamente los tipos de problemas de los usuarios finales con el videojuego en contextos reales de uso.

Fase de Diseño

En esta fase se diseña la mejor solución posible, considerando que el problema fue claramente definido en las fases de apresto y análisis. Sus etapas son:

Videojuego

- **Objetivo.** Definir como a través de un videojuego se apoyará la creación de mapas mentales para la comprensión de figuras, cuerpos y desarrollo de competencias en Geometría que serán estudiadas.
- **Actividades.** Determinar los elementos didácticos y lúdicos de interacción del usuario con el videojuego (jugabilidad), como mecanismo de apoyo al desarrollo de las habilidades planteadas.
- **Resultado.** Diseño de un perfil de videojuego para apoyar habilidades cognitivas específicas en Geometría.

Guidelines de HCI

- **Objetivo.** Determinar guidelines específicos de HCI sobre cómo se deben diseñar las interfaces y la interacción de los usuarios con el videojuego, para apoyar el desarrollo de habilidades matemático geométricas.

- **Actividades.** Crear o reutilizar guidelines para el diseño de interfaces de software y de interacción de los usuarios finales con el videojuego.
- **Resultado.** Se definen las interfaces y la interacción del usuario con el videojuego, asegurando que este facilitará un correcto desarrollo de las habilidades matemático geométricas que se desean estudiar.

Tareas

- **Objetivo.** Definir las tareas que realizará el usuario final con el videojuego, para apoyar la creación de mapas mentales para la comprensión de figuras, cuerpos y desarrollo de competencias en Geometría a estudiar.
- **Actividades.** Determinar los objetivos, procedimiento y tiempos esperados por cada tarea a realizar.
- **Resultado.** Se obtienen las tareas que soportará el videojuego para el desarrollo de las habilidades matemático geométricas a estudiar en los usuarios finales.

Ambiente Virtual

- **Objetivo.** Definir la representación del ambiente virtual y su relación con la realidad, para el desarrollo de las habilidades estudiadas a través de las tareas que realizarán los usuarios con el videojuego, considerando además los guidelines de HCI.
- **Actividades.** Diseñar los elementos virtuales del videojuego, determinando su relación con la realidad y el apoyo al desarrollo de las habilidades estudiadas, aplicando métodos de evaluación de usabilidad para el diseño de software.
- **Resultado.** Se definen claramente los elementos de las interfaces que facilitarán el desarrollo de las habilidades cognitivas estudiadas, estableciendo además una relación entre la realidad y la representación virtual.

Fase de Implementación

El objetivo de esta fase es implementar el videojuego, tomando como base las etapas anteriores donde se definió claramente el problema y se diseñó una forma de solucionarlo. Sus etapas son:

Interfaces

- **Objetivo.** Producir las interfaces diseñadas para que el usuario final pueda desarrollar las habilidades a estudiar.
- **Actividades.** Diseñar e implementar iterativamente las interfaces considerando la aplicación de métodos de evaluación de usabilidad con usuarios finales o bien con expertos.
- **Resultado.** Se obtendrán interfaces que facilitarán la interacción de los usuarios con el videojuego y el proceso de desarrollo de las habilidades a estudiar.

Funcionalidades

- **Objetivos.** Producir las funcionalidades específicas para el videojuego.
- **Actividades.** Definir e Implementar funcionalidades necesarias, diseñando las clases y estructuras de datos asociadas, y relacionando las interfaces.
- **Resultado.** Se obtiene una implementación de las funcionalidades del videojuego que apunta al desarrollo satisfactorio de las habilidades en los usuarios finales.

Fase de Evaluación

Durante esta fase se realizan pruebas de evaluación de usabilidad y de funcionalidad, para solucionar posibles errores y defectos, como también, para modificar o mejorar el videojuego. Sus etapas son:

Evaluación de Usabilidad

- **Objetivo.** Validar las interfaces del videojuego a través de evaluaciones de usabilidad específicas, para asegurar que la interacción de los usuarios con el videojuego sea adecuada y pertinente.
- **Actividades.** Evaluar la usabilidad antes, durante y después del desarrollo de las interfaces siguiendo la lógica de una metodología de diseño centrado en el usuario. Para esto se deben considerar evaluaciones en contexto de uso y en laboratorio.
- **Resultado.** El videojuego desarrollado considerará el modelo mental, intereses y formas de interacción de los usuarios, esto a partir de las evaluaciones de usabilidad realizadas. La usabilidad permitirá conocer y validar las etapas previas del modelo en que se identifican modos de interacción de los usuarios, sus problemas y formas de enfrentarlos.

Evaluación de funcionalidades

- **Objetivos.** Validar que las funcionalidades del videojuego desarrollado hagan y cumplan con lo que fue trazado en la etapa de diseño.
- **Actividades.** Realizar pruebas exhaustivas en laboratorio sobre el comportamiento del videojuego bajo distintas condiciones de uso simuladas.
- **Resultado.** Se determina si las funciones implementadas realmente permiten al usuario realizar las tareas de desarrollo de habilidades cognitivas con el videojuego desarrollado.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó y describió un modelo de desarrollo de videojuegos para el mejoramiento de habilidades cognitivas en usuarios finales objetivo.

En particular nuestro modelo se orientó en la construcción de videojuegos para abordar el desarrollo de habilidades matemático geométricas y de representación mental por parte de usuarios finales. Se realizó una revisión teórica de los conceptos de geometría, del uso de tecnología para este objetivo. Luego, se presentó el modelo propuesto, sus distintas etapas e impacto en el proceso de desarrollo.

El desarrollo de habilidades matemático geométricas en aprendices ciegos es fundamental para el aprendizaje escolar y la vida cotidiana. Por esta razón el presente modelo constituye un aporte importante para producir videojuegos de apoyo al pensamiento, ya que sustenta la generación de imágenes y representaciones mentales a partir de audio y háptica mediante mecanismos innovadores para mejorar la comprensión del espacio. El usuario final tiene un rol protagónico en el diseño de los videojuegos, lo cual mejora la aceptación, en base a su modelo mental y ajustando

de mejor forma su interacción. Esto en definitiva se traduce en la obtención de una herramienta usable que ayudará a mejorar habilidades que, se piensan son adquiridas, preferentemente, por vía visual.

De esta forma la construcción del modelo tiene por objetivo apoyar el diseño y desarrollo de estas herramientas, mejorando considerablemente la pertinencia, aceptación y uso de los sistemas por parte de los usuarios finales.

Como trabajo futuro, este modelo, se usará como base para el desarrollo de videojuegos que potencien habilidades matemático geométricas en usuarios ciegos o con baja visión, los cuales tendrán como objetivo o ayudarán a mejorar la comprensión de figuras y cuerpos lo que facilitará la integración curricular de alumnos con necesidades educativas especiales derivadas de discapacidad visual en el aula.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado en parte por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología, Fondecyt #1120330 y el Proyecto CIE-05 Programa de Centros de Educación PBCT-Conicyt.

REFERENCIAS

- [1] Andrade P. (2010). Alumnos Con Discapacidad Visual. Necesidades y respuesta educativa.
- [2] Ballesteros, S. (1993). Percepción háptica de objetos y patrones realzados: una revisión. *Psicothema* 5(2).
- [3] Campbell, D., Stanley, J. (1963). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research*. Houghton Mifflin Company, July 13, 1963, p.7.
- [4] Castelnuovo, E. (1985): *La geometría*. Ed. Ketres, Barcelona.
- [5] Fernández, S. & Healy, L. (2010). Inclusion of bild student in the mathematics classroom: tactile exploration of area, perimeter and volume. *Mathematics Education Bulletin*, 23(37), pp. 1111-1135.
- [6] Fernández del Campo J. (1986) *La enseñanza de las Matemáticas a los ciegos*. Madrid: Juma.
- [7] González, F., Millán, L., Rodríguez, C. (2003). *Orientación y Movilidad*. Apuntes del curso "Psicomotricidad, y Orientación y Movilidad para la persona con discapacidad visual", VII semestre Trastornos de la visión, Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación.
- [8] Hidalgo, A. (2011). Dificultades de aprendizaje en el alumnado con déficit visual y ciego. Texto virtual http://www.foal.es/sites/default/files/docs/4_dificultad_de_aprendizaje_0.pdf.
- [9] ICMI. (2001). *Perspectives en l'ensenyament de la geometria pel segle XXI*. ICMI-PMME-UNISON.
- [10] Kish, D. & Bleier, H. (1995). *Echolocation: What It Is, and How It Can Be Taught and Learned*. Review. World Access for the Blind.
- [11] Klingenberg, O. (s/d). *Geometry: Educational implicarions for children with visual impairment*. Norwegian University of Science and Technology.
- [12] Laborde C. & Capponi B. (1994). Cabri-géomètre constituant d'un milieu pour l'apprentissage de la notion de figure géométrique. *Recherches en didactique des mathématiques* 14 (1) 165-210.
- [13] Lahav & Mioduser (2008), Haptic-feedback support for cognitive mapping of unknown spaces by people who are blind. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(1), pp. 23-35
- [14] MINEDUC (2012) Bases Curriculares de Matemática.
- [15] MINEDUC (2012b) Programa de Estudio de Matemática 5° a 8° año de Enseñanza General Básica.
- [16] MINEDUC (2010) Mapas de progreso de Matemática.
- [17] MINEDUC (2009). Programa de Estudio de Matemáticas 1° a 4° año de Enseñanza Media.
- [18] MINEDUC (2009b). Bases Curriculares de Educación Parvularia.
- [19] Oldknow, A., Taylor, R. & Tetlow, L. (2010). *Teaching mathematics using ICT*. New York: Continuum.
- [20] Robert Y, (2003). *Case Study Research: Design and Methods*, Third Edition, Applied Social Research Methods Series, Vol 5, Sage Publications.
- [21] Rovira, K., Gapenne, O. & Ammar, A. (2010). Learning to recognize shapes with a sensory substitution system: A longitudinal study with 4 non-sighted adolescents. 2010 IEEE 9th International Conference on Development and Learning, ICDL-2010 - Conference Program, Pages 1-6.
- [22] Ruthven, K., Hennessy, S. & Deaney, R. (2010). Constructions of dynamic geometry: A study of the interpretative flexibility of educational software in classroom practice. *Computer & Education*, 51(1), pp. 297-317.
- [23] Sanabria, L. (2007). Mapeo cognitivo y exploración háptica para comprender la disposición del espacio de videntes e invidentes. *Tecné, episteme y didaxis: revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología*, 21, pp. 45-65
- [24] Sánchez, J., Guerrero, L., Sáenz, M., Flores, H. (2009). Modelo de Desarrollo de Aplicaciones Móviles Basadas en Videojuegos para la Navegación de Personas Ciegas. In Jaime Sánchez (ed.), *Proc. XIV Taller Internacional de Software Educativo (TISE)*, pp. 177-187, Dec 2009. Santiago, Chile. Appears as vol. 5 of "Nuevas Ideas en Informática Educativa".
- [25] Soy, S. (1996). The case study as a research method. Presentation at the Uses and Users of Information Seminar, Austin, University of Texas. <http://fiat.gslis.utexas.edu/~ssoy/usesusers/l391d1b.htm> (Accesado Octubre 2009)
- [26] Sutherland, R., Armstrong, V., Barnes, S., Brawn, R., Breeze, N., Gall, M. 1, Matthewman, S., Olivero, F., et all. (2004). Transforming teaching and learning: embedding ICT into everyday classroom practices. *Journal of Computer Assisted Learning*, 20(6), pp.413-425.
- [27] Stevens, R., Edwards, A. & Harling, P. (1997). Access to mathematics for visually disabled students through multimodal interaction. *Human-Computer Interaction*, 12 (1-2), pp.47-92.
- [28] Wertsch J. (1991) *Voices of the Mind; A Sociocultural Approach to Mediated Action*. Harvester, London.
- [29] Vygotsky L.S. (1978) *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press, Cambridge, MA.

