

Gómez P, U. E. & Parra J, B. J. (2023). Videojuego formativo para mejorar la atención en terapias de personas con trastorno de marcha por problemas de Neurodesarrollo – Korak. Plumilla Educativa, 31 (1), 59-80. DOI: 10.30554/pe.1.4829.2023

Videojuego formativo para mejorar la atención en terapias de personas con trastorno de marcha por problemas de Neurodesarrollo – Korak

Urbano Eliécer Gómez Prada¹
Brian de Jesús Parra Janaceth²

Resumen

Este artículo presenta un videojuego formativo desarrollado dentro de una investigación en la Universidad Pontificia Bolivariana en el año 2021 que ayuda a mantener la atención por periodos prolongados en terapias de personas con trastorno en marcha por problemas de neurodesarrollo referentes al gesto natural como son: tiempo, número de paradas realizadas durante el intervalo de tiempo, velocidades angulares de cada pie correspondientes a cada eje y aceleración. La investigación tiene un alcance exploratorio descriptivo y el desarrollo del videojuego siguió el proceso unificado racional y fue implementado en Unity 3D para generar un ambiente audiovisual con escenarios, personajes, efectos, interfaces, entre otros. El videojuego fue validado mediante pruebas con personas sin trastornos de marcha y con niños que si tienen problemas referentes al neurodesarrollo. Actualmente, el videojuego es usado en un centro de rehabilitación en Bucaramanga, Colombia.

¹Urbano Eliécer Gómez Prada. Doctor en Tecnología Educativa de la Universidad de Islas Baleares. Docente Asociado. Escuela de Ingeniería. Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia. [Orcid.org/0000-0001-6780-6648](https://orcid.org/0000-0001-6780-6648); correo electrónico: urbano.gomez@upb.edu.co

²Brian de Jesús Parra Janaceth. Ingeniero de Sistemas de la Universidad Pontificia Bolivariana. Estudiante de Maestría en Ingeniería en Computación, Gazi University, Turquía. [Orcid.org/0000-0003-1728-7637](https://orcid.org/0000-0003-1728-7637); correo electrónico: info@magroplay.com

Palabras clave: marcha, neurodesarrollo, rehabilitación, terapia, videojuego serio.

Training video game to improve care in therapies for people with gait disorder due to neuro-developmental problem - Korak

Abstract

This paper presents a training video game by research at the Pontifical Bolivarian University in 2021 that helps maintain attention for prolonged periods in therapies for people with gait disorders due to neurodevelopmental problems related to natural gestures, such as: time, number of stops made during the time interval, angular velocities of each foot corresponding to each axis and acceleration. The research has a descriptive exploratory scope, the development of the video game followed the rational unified process, and it was implemented in Unity 3D to generate an audiovisual environment with scenarios, characters, effects, interfaces, and so on. The video game was validated through tests with people without gait disorders and with children with problems referring to neurodevelopment. Currently, the video game is used in a rehabilitation center in Bucaramanga, Colombia.

Keywords: gait, neurodevelopment, rehabilitation, training, serious video game.

Videogame de treinamento para melhorar o atendimento em terapias de pessoas com distúrbio de marcha por problema de neurodesenvolvimento - Korak

Resumo

Este artigo apresenta um videogame de treinamento desenvolvido por uma investigação na Pontifícia Universidade Bolivariana em 2021 que ajuda a manter a atenção por períodos prolongados em terapias de pessoas com perturbações da marcha devido a problemas de neurodesenvolvimento relacionados com o gesto natural tais como:

tempo, número de paragens feitas durante o intervalo de tempo, velocidades angulares de cada pé correspondentes para cada eixo e aceleração. A investigação tem escopo exploratório descritivo e o desenvolvimento do videogame seguiu o processo unificado racional e foi implementado em Unity 3D para gerar um ambiente audiovisual com cenários, personagens, efeitos, interfaces, entre outros. O videogame foi validado por meio de testes com pessoas sem distúrbios de marcha e com crianças que apresentam problemas referentes ao neurodesenvolvimento. Atualmente, o videogame é usado em um centro de reabilitação em Bucaramanga, Colômbia.

Palavras chave: marcha, neurodesenvolvimento, reabilitação, terapia, videogame educativo.

Introducción

Los videojuegos son herramientas digitales de entretenimiento y entre ellos existe una rama que apoya la formación en áreas o temas específicos pues son diseñados con propósitos formativo cumplen con objetivos de investigación, educación o medicina (Ritteferd, Cody, & Vorderer, 2009, pág. 83). Un ejemplo de un videojuego serio es SENES, el cual promueve el aprendizaje de matemáticas básicas a personas con Síndrome de Down para personas con necesidades especiales (Gómez-Prada, 2010).

El videojuego presentado en este documento es llamado *Korak* y surgió por la necesidad de realizar terapias en trastornos de marcha que permitieran analizar datos motores que se capturaran siguiendo procesos automáticos para facilitar la medición del progreso de las sesiones en el que se siguió (1) la metodología exploratorio-descriptiva descrita por Hernández-Sampieri, et al (2018) participando, con la ayuda de las personas responsables de las terapias, en varias de ellas, y (2) el proceso unificado racional (RUP) propuesta por Jacobson, et al (2000) para el desarrollo del videojuego siguiendo las fases de análisis, diseño, implementación y pruebas del videojuego

Los videojuegos serios pueden generar motivación, y en el caso de *Korak*, además de eso, ayudan, en este caso, al paciente, a sentirse a gusto y a desarrollar la marcha sin sentirse obligado o incomodo por los aparatos empleados para la medición de su avance en las terapias, las

cuales buscan su estimulación neuronal y muscular mediante ejercicios físicos, usando el análisis de la marcha empleando dispositivos electrónicos para tomar los datos del movimiento con el fin de realizar un análisis y seguimiento, con ello dar facilidad para que la toma de datos refleje resultados más similares al sujeto en un ambiente de cotidianidad, sin estrés adicional.

El uso de las mediciones de datos referentes a la marcha son técnicas terapéuticas de gran utilidad para la rehabilitación de la marcha, como los ejercicios físicos y estimulación eléctrica (Bogataj, Gros, Kljajic, Acimovic, & Malezic, 1995), sin embargo, durante la aplicación de las técnicas de tratamiento y rehabilitación, los pacientes experimentan incomodidad o dolor, lo que los puede llevar a tener problemas físicos o psicológicos, y esto impide el correcto desarrollo de la terapia de rehabilitación (Moreno, 2008).

Un ejemplo de la rehabilitación es la medición de la velocidad de marcha, la cual es usada para determinar un punto de corte y así establecer la fragilidad a partir de una medida base sobre la cual concluir si hay o no fragilidad a partir de la velocidad cuando un usuario camina (Valera Pinedo, 2007) tal y como lo hace Gabarello, un juego para rehabilitación de personas con problemas de pérdida de motricidad en miembros inferiores realizado en la Universidad de Artes de Zúrich (Martin A. L., 2014), que se usa para recuperación de traumas cerebrales o limitaciones visuales y es controlado por la fuerza del movimiento al usar diseños que motivan la rehabilitación del cerebro y la del cuerpo.

Otro ejemplo es un sistema de rehabilitación de marcha que usa una ortesis como control de un videojuego y con visualización de electromiografía, el cual se llevó a cabo en la Universidad Pontificia Bolivariana, (Parra Navarro & Mendoza López, 2013) y consiste en el desarrollo de un videojuego serio para la rehabilitación de personas con problemas de neurodesarrollo en donde el usuario interactúa a través de sensores electrónicos ubicados en las piernas.

Marco teórico

Para abordar de manera precisa la temática de la Situación Problema se requiere realizar una indagación sobre ciertos conceptos directamente asociados con el desarrollo del proyecto, entre los cuales está: la medición

de la marcha, el diseño de un Software, diseño de un videojuego, y la plataforma Unity 3D.

Medición de marcha

La marcha consiste en una serie de movimientos alternados y rítmicos de las extremidades y del tronco que determinan un desplazamiento hacia delante del centro de gravedad y se divide en las fases de apoyo y de balanceo y se da en la alternancia en el periodo que se da cuando un solo pie está en contacto con el piso y un periodo doble que se da cuando ambos pies están en contacto con el piso, lo cual conlleva a cinco intervalos: el contacto del talón, el apoyo plantar, apoyo medio, elevación del talón y despegue del pie (Stengele, 2008).

Videojuegos Serios

Un videojuego serio según Squire (2011, pág. 6) es una herramienta software desarrollada con un propósito educativo médico, terapéutico, simulaciones que va más allá del simple entretenimiento y puede generar impacto social, para comprender un tema complejo o promover un cambio organizacional (Ritteferd, Cody, & Vorderer, 2009), en donde prevalece la diversión y la actividad es motivante para aprender sobre la situación para el cual son diseñados y que según Vente & Paradas (2022) debe recopilar respuestas obtenidas en las diferentes didácticas orientadas a los aprendices según la situación que orienta ayudando a los moderadores a llevar a cabo el proceso de formación, en este caso de rehabilitación y que por tratarse de terapias que involucran el movimiento de varias partes del cuerpo, ayuda a ir registrando avances que manualmente sería difíciles de llevar como la velocidades angulares de movimiento para cada pie.

Para el desarrollo se utilizó el *framework MDA*, el cual ofrece aspectos para el desarrollo dando una idea general a través de pautas como mecánicas, dinámicas y estéticas (Kleppe, 2003). Las mecánicas describen los componentes o reglas. Las dinámicas describen el juego y el actuar de los jugadores. Las estéticas describen emociones generadas cuando al interactuar con el juego (Hunicke, LeBlanc, & Zubek, 2004). Cada elemento genera experiencias como reglas, acciones, habilidades, problemas, que

son consolidadas en el Documento de Diseño del Videojuego (GDD) en donde estas se detallan junto a la audiencia a la que va destinado, imágenes, diseño de niveles, historia, personajes e interfaces (Rollings & Radams, 2003).

Unity 3D

Unity es una plataforma de desarrollo de videojuegos multiplataforma con herramientas como diseño de escenarios, programación de objetos, creación de animaciones y eventos de comportamientos, además de la posibilidad de adicionar *plugins* y *assets* para aumentar la robustez de este (Unity 3D, 2021).

Metodología.

La investigación en que se enmarca este videojuego serio incorpora dos metodologías: (1) para comprender las necesidades de las terapias de marcha se usó una metodología exploratorio-descriptiva, que se centra en descubrir y en tener una representación de la situación estudiada (Hernández-Sampieri, Fernández, & Baptista, 2018) y en la que se participó, para identificar necesidades, entrevistando a quienes acompañan las terapias y haciendo observación de las actividades que se siguen, y (2) para el desarrollo del videojuego siguió el proceso unificado racional (RUP) el cual es dirigido por casos de uso y es iterativo e incremental pues se repite a través de ciclos que siguen los siguientes pasos (Jacobson, Booch, & Rumbaugh, 2000):

1. Definición de Requerimientos (Definición de Escenarios, Casos de Prueba)
2. Especificación de los Modelos del aplicativo con los diagramas de Casos de Uso, Entidad-Relación, y documento de diseño (GDD)
3. Implementación del videojuego según los requerimientos, los modelos del aplicativo y el entorno de programación
4. Realización de pruebas y ajustes para revisar si cumple la funcionalidad y si es necesario mejorar la versión o pasar al siguiente prototipo

El videojuego se implementó en el lenguaje C# siguiendo programación orientada a objetos con una base de datos que permite generar informes

históricos de los progresos. Esta fase requirió permanente revisión para reestructuraciones de las fases anteriores dependiendo de las solicitudes de los tutores según lo provisto dentro de los objetivos.

Resultados y Discusión.

El videojuego presentado en este artículo es una herramienta interactiva de apoyo en terapias de personas con trastorno en marcha por problemas de neurodesarrollo. Se presentan brevemente los requerimientos, y posteriormente se presentan la descripción general, los niveles, la implementación y la validación del funcionamiento.

El juego tiene dos roles: El tutor es la persona encargada de interactuar con la interfaz de usuario del videojuego, dado que se debe dar un manejo supervisado a cada partida que realicen los jugadores, es la terapeuta que se apoya en el videojuego para hacer la terapia. El jugador es quien entrena la marcha e interactúa con los dispositivos electrónicos que van dispuestos en sus tobillos y a través del gesto natural de la marcha, mueve al personaje e interactúa con este cuando realiza la partida.

En el videojuego se tiene que identificar el jugador, en donde el tutor puede ingresar sus datos y se pueden crear y guardar partidas, se debe mostrar estadísticas al finalizar una partida, en caso de que se requiera hacer integración de los dispositivos electrónicos para que funcionen como controladores y cuenta con un conjunto de reglas bajo las cuales el jugador interactúa.

Descripción general del videojuego Korak

El videojuego gira en torno a un personaje principal llamado *Korak*, el príncipe que recorre los diferentes escenarios. El nombre de *Korak* viene de la traducción de la palabra paso del esloveno. El videojuego fue implementado en *Unity 3D* y también tiene objetos generados de forma aleatoria que siguen ciertos patrones en mundos diferentes, es decir, cambian cada vez que se inicia una partida para dar dinamismo generando objetos que se van desplazando a constantemente hacia el jugador. Existen otros personajes, como la princesa Nana, quien despide al príncipe al inicio del *Nivel 1* y su función es contar con componentes femeninos en caso de

que lo jueguen niñas. Otros personajes son los animales del bosque que aparecen aleatoriamente en el tiempo y se mueven según la música entreteniéndolo al jugador y un mapache que es la mascota que acompañan al príncipe.

El juego tiene cinco niveles y en los 1, 2 y 4 existe un único enemigo llamado *Slime*, el cual es una figura viscosa en forma de bola que camina hacia *Korak*. Este enemigo fue escogido porque su diseño no es agresivo y su forma es cómica, es decir, no puede contener estímulos negativos.

Los enemigos interactúan con el jugador a través de una propiedad de los *GameObject* llamada *Collider*; que permite que cuando dos objetos entren en contacto se genere una colisión (Unity 3D, 2021). Esta colisión origina un evento para cada enemigo; por ejemplo, el *Slime* activa una animación de *Dead* y se desinfla y *Korak* activa la animación de *Attack* y se agregan 10 puntos al puntaje.

Hay monedas y gemas son objetos que aumentan la puntuación de la partida cuando se recoge. Cada vez que el jugador colisiona con una moneda, esta desaparece y activa partículas y sonidos que da la sensación de ser recogida.

En una partida, la puntuación que va obteniendo el jugador se muestra en la esquina inferior izquierda, el valor cambia en tiempo real y solo se almacena al finalizar la partida, no se incluyen más datos para no distraer al jugador.

Una vez pasados los cinco niveles, el jugador podrá jugar el quinto nivel indefinidamente. El Menú principal tiene tres botones, cuyas funciones son: cargar la pantalla de gestión de usuarios, mostrar los créditos y salir. En el menú de la Figura 1 se puede ver como *Korak* camina haciendo referencia a la marcha. En la pantalla de gestión de usuarios se puede iniciar una partida o generar el histórico estadístico. En la Figura 2 se muestra el progreso histórico por fecha, puntuación y progreso con respecto al mayor puntaje, tiempo de juego, número de paradas y hora de realizada.

Figura 1. Pantalla de Menú Principal



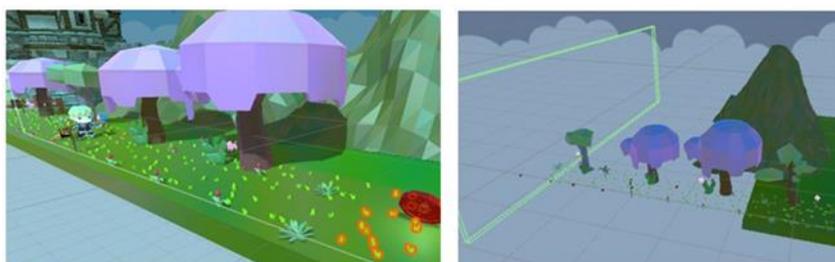
Figura 2. Pantalla de estadísticas



FECHA	PUNTUACIÓN	TIEMPO	PARADAS	HORA
04/09/2017	30	45.9152	1	09:13:02
04/09/2017	60	53.79375	1	09:14:14
04/09/2017	80	65.58351	4	09:15:32
04/09/2017	100	78.54635	6	09:17:04
04/09/2017	160	107.0511	4	09:19:03

En la Figura 3 se muestran algunos de los objetos y como estos continúan su camino hasta ser eliminados. Para evitar sobrecargar la memoria RAM por los objetos, se implementó un objeto *Cleaner* que hace borrado de los no son visibles en la escena cuando colisionan con él (el *Cleaner* se observa a la izquierda, es el marco transparente de bordes verdes).

Figura 3. Generación de objetos y movimientos y *Cleaner* del Videojuego



Niveles

A continuación, se describe cada uno de los cinco niveles implementados:

1. El Bosque: El primer nivel implementó un castillo que hace referencia al hogar de *Korak* desde donde se inicia el camino y los objetos se mueven a medida que *Korak* camina dando ilusión de movimiento.
2. El Bosque de Hongos: El Nivel 2 es similar al primero, pero cambia la ambientación, ya que es un mundo de Hongos gigantes, como el presentado en la Figura 4.
3. El Globo: En el tercer nivel la ambientación cambia de perspectiva, *Korak* está en un globo aerostático en el cual emprende camino como se aprecia en la Figura 5.
4. El Desierto: Para el Nivel 4, se propuso un escenario ambientado en un desierto, con las mecánicas de los anteriores mostrando avances a lugares distantes.
5. El Mar: Para el Nivel 5, la mecánica cambia, en este nivel se ambienta en el mar, en donde *Korak* navegan en un barco de papel como se aprecia en la Figura 6.

Figura 4. Nivel 2, El Camino de príncipe *Korak*



Figura 5. Nivel 3, El Camino del Príncipe *Korak*



Implementación de la base de datos

El videojuego registra los datos de los jugadores y de las partidas que cada uno realiza y para ello cuenta con dos tablas en la base de datos: *Player* y *Game*, la cual fue implementada en *SQLite* y se accede con una clase que contiene los métodos necesarios para gestionarla, y es modificada únicamente cuando el jugador se registra, y cuando se guardan nuevas partidas. Para poner en funcionamiento *SQLite* fue necesario la implementación de diferentes *Plugins* propuestos para *Unity*, y para la gestión manual de la misma, se empleó la herramienta *SQLite Administrator*.

Implementación de las Mecánicas

Para la implementación del videojuego se empleó *Unity 3D*. Para la creación de los diferentes escenarios se implementó un diseño basado en una baja cantidad de polígonos para los modelos 3D para mantener una ambientación infantil a lo largo de la experiencia del usuario. Cada escenario fue diseñado para visualizar diferentes colores, formas, luces, objetos y mantener su atención el mayor tiempo que sea posible.

Figura 6. Nivel 5 - El Camino del Príncipe *Korak*



El videojuego está controlado por un conjunto de reglas que brindan la experiencia del usuario que lo juega, estas son:

1. El estado de la marcha es binario, es decir, se está caminando o está quieto, cuando está caminando el videojuego avanza y cuando está quieto, el entorno se pausa. Existe un grado de tolerancia en el gesto de movimiento del pie para los datos arrojados por los sensores de

- movimiento, el cual fue calibrado para que solo tome movimiento cuando el jugador se encuentre realizando el movimiento natural de la marcha.
2. Si el jugador pasa más de 20 segundos sin hacer un movimiento se dará por terminada la partida, se dará como terminada y se guardaran los datos.
 3. El jugador no debe realizar ningún gesto extra para recolectar las monedas o atacar a los enemigos, el príncipe lo hace automáticamente.
 4. Los únicos objetos con los que se pueden interactuar en los Niveles 1, 2 y 4, durante la partida son las monedas y los enemigos.
 5. En el nivel 3 se debe realizar el gesto de marcha para mover el globo aerostático en que está *Korak*; y solo debe recoger las gemas dado que este es un nivel de *Bonus*.
 6. El Nivel 5 tiene mecánica similar al *Nivel 3*. En este caso, el jugador debe realizar el gesto de la marcha para navegar en un barco de papel, a medida que avanza recogerá monedas y atacará a los *Squids* que se le presentan.
 7. El videojuego realiza un salto de nivel cada 250 puntos acumulados por el usuario, cada vez que recoge una moneda, gema o ataca a un enemigo, suma 10 puntos.

Hay una pantalla de fin de la partida que muestra los resultados obtenidos durante la partida: el nombre de usuario, la puntuación obtenida, número de paradas realizadas y el tiempo total de juego. Se da la posibilidad de regresar al menú principal o de realizar una nueva partida, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Pantalla de Fin de la Partida



Para realizar la carga entre pantallas se empleó una clase de *Unity* llamada *LoadSceneAsync* del *UnityEngine*, lo cual permite junto a la clase *AsyncOperation*, mostrar una pantalla ligera y un proceso de la operación de carga mientras se eliminan los objetos de la escena antigua y se cargan los de la nueva escena. De la propiedad *progress* se puede obtener un porcentaje que fue enlazado con la barra de carga para mostrar el porcentaje de la escena.

Con la ayuda de los modelos 3D se crearon diferentes *Splash Screen* e interfaces mostradas durante la experiencia, fueron realizadas con una pantalla verde y el modelo 3D editado y acomodados para realizar las diferentes escenas artísticas. Para la implementación de la ambientación y el sonido del videojuego se tuvo en cuenta el modelado 3D basado en el concepto de *Low Poly*, los sonidos empleados en el videojuego y los objetos de la partida.

Las escenas son ambientadas de diferentes formas, una de ellas es el cambio climático, el cual está controlado por un script que genera estaciones del año en tiempos aleatorios, como: ventisca de hojas, caída de nieve, caída de lluvia, niebla. Otra forma es el cambio de la hora del día, el cual es controlado por un script, que la asigna entre cinco opciones: medio día, atardecer, media noche, puesta de sol y amanecer. El cambio lo controla un *skybox*, que asigna al cielo presentado y va acompañado con luces que cambia los colores.

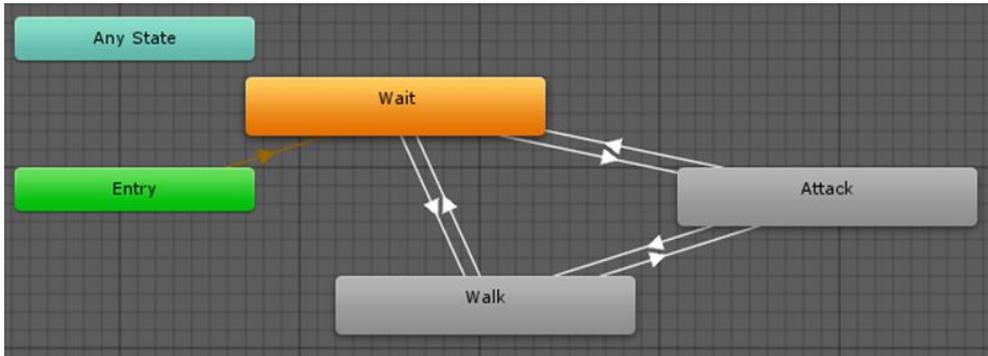
Los sonidos fueron escogidos de la biblioteca de sonidos de *Youtube* sin Copyright canciones infantiles para ambientar el juego e implementadas de tal forma que en el menú y en la partida se escuchara canción animada, y en el fin de la partida una canción tranquila para indicar al usuario que la partida llegó a su fin. Se procuró que, durante la partida, los sonidos de la canción fueran en compás con los movimientos del escenario: los pasos del príncipe, los movimientos de enemigos y animales del bosque.

Para la interacción con las animaciones del personaje se empleó la propiedad *Animator* de *Unity* y las transiciones para hacer cambios entre los estados de movimiento, herramienta que permite contar con diferentes estados y hacer transición entre estos a través de relaciones que se activan con diferentes parámetros (Unity 3D, 2021).

En la Figura 8 se aprecian diferentes estados: *Entry*, *Wait*, *Walk* y *Attack*. El estado *Entry* permite la entrada a la máquina de estados y al primero:

Wait. Este estado está activado siempre que la partida este en un estado de reposo del jugador, es decir, cuando no existe gesto de marcha. Mientras el estado sea activo se muestra a *Korak* en una animación de espera y el videojuego está en un estado de espera.

Figura 8. Animaciones para el personaje *Korak*



Tenga en cuenta que:

1. Una vez exista un gesto de marcha del jugador se activará un booleano que indicará a la máquina que debe cambiar al estado *Walk*, esto desencadena que el videojuego comience a generar objetos y a moverlos (incluye la animación de marcha de *Korak*).
2. Si un enemigo se encuentra con el príncipe se detecta una colisión, se activa el booleano del estado *Attack*, el cual le indica al príncipe que debe dejar de caminar y atacar para eliminar al enemigo, este gesto es automático.
3. En el *Nivel 3*, existe un movimiento del globo aerostático el cual se genera cada cierto tiempo para dar la sensación de que los vientos afectan la navegación del globo.
4. En el *Nivel 5*, se agregó una animación de navegación constante debido a que se tomó el movimiento de una marea constante.
5. Los datos son generados por un script que se activa al finalizar la partida

Integración con dispositivos electrónicos

El videojuego requiere de un dispositivo electrónico que es el control para la interacción algo similar a lo propuesto por Stengele (2008) al expresar que para facilitar la medición de la Biomecánica de la marcha humana se pueden

habilitar sensores y sistemas de control a los desarrollos de software especializado. En este caso al videojuego se le incorpora un sistema para la medición de parámetros del tiempo de la marcha compuesto por dos unidades de medición inercial (*IMU*) que se conectan a una tarjeta *Arduino* y a su vez a un módulo bluetooth para transmitir datos al computador; el dispositivo envía una señal de velocidad angular del eje medio-lateral de la pierna medido con las *IMU*.

El videojuego recibe vía *bluetooth*, un *string* de velocidades angulares propias a los ejes *x,y,z* de cada pie y a sus aceleraciones y las interpreta para definir el momento de marcha y el de quietud. Para el movimiento *Korak* se da un grado de tolerancia al valor leído por los sensores *IMU*, dado el caso en que sea mayor, se tomará como avance del jugador.

Implementación de Assets

Para implementar el ambiente gráfico fueron empleados diferentes *Assets* de *Unity Asset Store*, esto con el fin de mejorar la calidad gráfica del videojuego y ampliar las posibilidades de diseño de este. Por ejemplo, el diseño del príncipe *Korak*, mostrado en la Figura 9. Estos componentes permitieron realizar la ambientación del videojuego como lo fue: el cielo, los árboles, plantas y objetos de cada escena, los animales, montañas, personajes, enemigos, mascota, lluvia, nieve, ventisca de hojas, niebla, luciérnagas, ambientación de hongos, desierto, mar, pájaros, globo aerostático y barcos, monedas y gemas, entre otros.

Figura 9. Ejemplo de *Asset* de *Unity Asset Store*

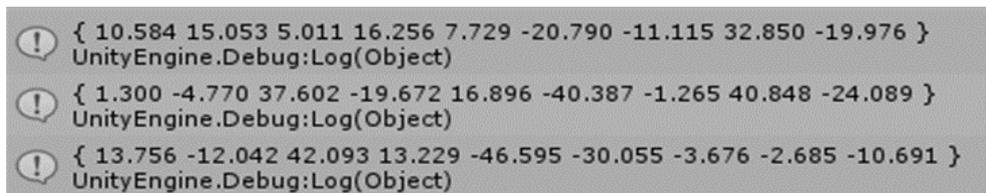


Validación del funcionamiento

Para la etapa de validación del funcionamiento se realizó la integración con dispositivos electrónicos, la cual se realizó a través de la conexión

bluetooth con la red del dispositivo en donde se empleó un adaptador que recibía datos a través de un puerto *COM* utilizando la clase *System.IO.Ports* (MDSN, 2016). En *Unity*, los datos son una cadena de caracteres con velocidades angulares y aceleraciones, que es separada y asignada a variables que guardan el movimiento para hacer calibración según el rango de tolerancia hacia adelante y hacia atrás. Un ejemplo de la cadena enviada por los sensores desde la consola se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Cadenas de parámetros en *String* vía lectura de los sensores IMU



```
{ 10.584 15.053 5.011 16.256 7.729 -20.790 -11.115 32.850 -19.976 }  
UnityEngine.Debug:Log(Object)  
{ 1.300 -4.770 37.602 -19.672 16.896 -40.387 -1.265 40.848 -24.089 }  
UnityEngine.Debug:Log(Object)  
{ 13.756 -12.042 42.093 13.229 -46.595 -30.055 -3.676 -2.685 -10.691 }  
UnityEngine.Debug:Log(Object)
```

Una vez calibrado, sabiendo que el videojuego detecta cuando el jugador está caminando y cuando no, se procedió a realizar diferentes pruebas del funcionamiento realizadas en personas sin trastornos de la marcha y en personas con trastorno en neurodesarrollo.

Validación en personas sin trastornos de la marcha

Para personas sin trastorno de la marcha, se realizaron pruebas en caminadora de midiendo si el movimiento del videojuego era acorde al gesto de la marcha que estaban realizando. En la Figura 11 se muestra una serie de capturas del momento de la prueba en donde se aprecia la validación con los dispositivos electrónicos.

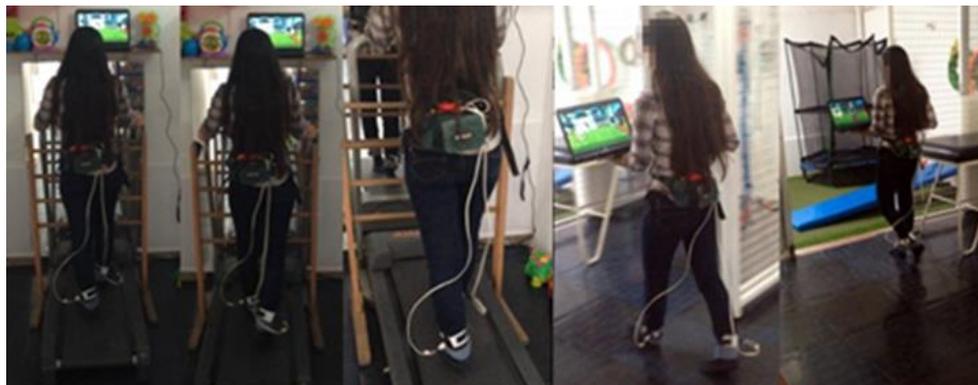
Figura 11. Validación de integración con dispositivos en sujetos sin trastornos



Posteriormente se realizó una prueba de caminata en espacio abierto, dejando la libertad de desplazarse. Esta validación se hizo de dos formas:

1. La validación con dispositivos electrónicos en caminadora en la cual no hay límite de tiempo establecido el cual se registró y se evidenció como el jugador perdía el interés o se cansaba de caminar e interactuar con el sistema. El sistema integrado realizó la medición del tiempo de marcha. En esta prueba el jugador tuvo interés al llegar a un nivel superior por el globo aerostático.
2. La validación con dispositivos electrónicos en espacio abierto en la que el jugador se desplaza como quiere. Se realizó con el fin de validar la capacidad del sistema en un ambiente en el que no se cuenta con la caminadora. Como se evidencia en la Figura 12, la prueba consistió en ubicar en los tobillos los sensores *IMU* y la pantalla en frente de él.

Figura 12. Validación en personas sin trastorno de marcha con y sin caminadora



Validación para el trastorno del neurodesarrollo

Para personas con diferentes trastornos del neurodesarrollo directamente asociados con alteraciones en el gesto natural de la marcha, se realizaron pruebas que requirieron ayuda de una terapeuta experta. En la prueba cada persona interactuó desde una caminadora automática y la actividad duró el tiempo que se dispuso para jugar. La finalización se dio por factores como cansancio de la persona que le impidiera marchar de forma

natural o pérdida de interés (El escenario también tenía un computador ubicado en frente de la caminadora a la altura de la cara de la persona, una valla de seguridad para sostenerse y un banco detrás de la caminadora en donde la terapeuta brinda seguridad en la ejecución correcta de la marcha).

Validación para el trastorno del espectro autista y desintegración sensorial

El trastorno del espectro autista (TEA) son trastornos neurobiológicos que afectan diversos genes, comprometen órganos y ocasionan disfunción predominante del sistema nervioso central (SNC), tiene consecuencias con tres áreas del funcionamiento: socialización, comunicación y conducta (Regatky, Guston, & Salamanco, 2009), con este trastorno la persona padece de desintegración sensorial causando hipersensibilidad en partes del cuerpo (Imperatore Blanche, 2005).

En la prueba, al inicio, la persona tuvo una reacción de rechazo hacia los dispositivos debido a su condición de desintegración sensorial; con la ayuda de dos terapeutas fue posible ubicar los dispositivos utilizando estímulos que agradaran al persona como se aprecia en la Figura 13a. Posteriormente, el persona fue ubicado en la máquina caminadora y mantuvo su atención, pero, en ocasiones se le notaba incómodo por los dispositivos electrónicos y se decidió quitarlo de prueba, el persona se vio envuelto en la experiencia de usuario.

Según la información suministrada por el terapeuta, la persona mantiene un máximo de 5 minutos en terapia, empleando estímulos positivos durante la realización. Por lo cual se tiene que para esta persona no es viable emplear dispositivos electrónicos como los sensores *IMU* dado que son incómodos y dificultan aún más su trabajo de rehabilitación; además, *Korak* mostró que la persona pierde el interés, 16% más rápido.

Validación en persona con válvula por hidrocefalia y retraso psicomotor

Se realizaron pruebas en personas que presentan una corrección con válvula por Hidrocefalia, el cual es un procedimiento que consiste en la implantación quirúrgica de una válvula en la base de las características hidrodinámicas del sistema derivativo (Rodríguez, Herrera, Sánchez, &

Herrera, 2017). Además, presenta retraso del desarrollo psicomotor lo que ocasiona una serie de problemas entre los cuales está relacionado una alteración del gesto natural de la marcha (Schlak & Forster, 1991). En la Figura 13b se evidencia la prueba realizada, en este caso fueron retiradas las vallas dado que la persona era suficientemente hábil para mantener el equilibrio sin ellas.

Según la información suministrada por la terapeuta, esta persona puede mantener la terapia de rehabilitación de la marcha por un lapso máximo de 10 minutos, empleando métodos para estimularlo positivamente durante la realización debido a que el videojuego aumentó un 68% el tiempo que la persona quiere realizar la terapia de rehabilitación de la marcha.

Validación en persona con Hemiplejia Espástica Izquierda

La hemiplejia espástica izquierda, esto indica que presenta una parálisis muscular parcial de la mitad derecha de su cuerpo (Póo Argüelles, 2008), lo que conlleva a que presente una alteración en el gesto natural de la marcha.

Debido a que la persona tiende a realizar la mayoría de las acciones con el brazo izquierdo, en la prueba, se le pidió realizar el gesto de recoger la moneda y de atacar al *Slime*, empleando su brazo derecho para promover la rehabilitación de este brazo, el cual está directamente asociado con su hemiplejia espástica izquierda. La persona presentó un interés significativo con el videojuego obteniendo un puntaje de 2080 en 16,5 minutos, además de un gesto de euforia con cada dramatización de recoger moneda y ataque. Según la información suministrada por la terapeuta, esta persona puede mantener la terapia de rehabilitación de la marcha por un lapso máximo de 10 minutos, empleando métodos para estimularlo durante la realización, es decir, el videojuego aumentó un 65% el tiempo que la persona quiere realizar la terapia.

Conclusiones

El videojuego formativo *Korak* mejoró la atención en terapias de marcha y gracias a su integración con un sistema compuesto por unidades de medición inercial (*IMU*), una tarjeta *Arduino UNO* y un módulo *bluetooth*,

permitió la medición de velocidades angulares en los ejes x, y, z para cada pie y su aceleración. Según opinión de los terapeutas, los efectos o animaciones del videojuego genera motivación en las personas que requieren terapia de marcha.

La metodología exploratorio-descriptiva permitió comprender algunas limitaciones y necesidades de las terapias y el uso del proceso racional unificado dirigido por casos de uso permitió un proceso iterativo que generaba prototipos que la terapeuta iba validando según las mecánicas del videojuego definidas.

La herramienta *Unity 3D* permitió generar un ambiente de juego formativo que ofrece componentes para la creación de videojuegos robustos de calidad competitiva a nivel comercial como son: (1) La generación de niveles de forma procedimental permitiendo experiencias diferentes cada vez que juega una partida del mismo nivel. (2) La creación de interacciones en la experiencia de usuario a pesar de solo realiza el movimiento de marcha. (3) La ambientación musical y los colores promoviendo la atención.

El videojuego permitió que los personas con trastorno del neurodesarrollo referentes a retraso en el desarrollo psicomotor y hemiplejía espástica izquierda aumentaran sus tiempos de marcha un 68% y 65% respectivamente, lo cual indica que *Korak* promueve a que el persona continúe realizando su terapia durante más tiempo, pero cuando hay trastorno del espectro autista y desintegración sensorial, la integración con dispositivos no generaron resultados positivos, debido al estímulo negativo que generan y a la disminución de la atención, por tanto se sugiere abordar otra perspectiva para estas personas.

Referencias

- Bogataj, U., Gros, N., Kljajic, M., Acimovic, R., & Malezic, M. (1995). The Rehabilitation of Gait in Patients with Hemiplegia: A Comparison Between Conventional Therapy and Multichannel Functional Electrical Stimulation Therapy. *Journal of the American Physical Therapy Association and de Fysiotherapeut*, 75(6), 490-502, <https://doi.org/10.1093/ptj/75.6.490>
- Gómez Prada, U. (2010). Diseño de un software para favorecer el aprendizaje de estudiantes con necesidades especiales, *Revista colombiana de educación*, 3 (58), 154-169.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación*, México: McGraw-Hill Interamericana.
- Hunicke, R., LeBlanc, M., y Zubek, R. (2004). MDA: A Formal Approach to Game Design and Game Research, In *Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI*, 4(1), 1722, Northwestern University.
- Imperatore Blanche, E. (2005). Déficit de Integración Sensorial: Efectos a largo plazo sobre la ocupación y el juego. *Revista Chilena de Terapia Ocupacional* (5), 1-6.
- Jacobson, I., Booch, G., & Rumbaugh, J. (2000). *El proceso unificado de desarrollo de software* (Vol. 7). Madrid: Addison Wesley.
- Kleppe, A. (2003). MDA Explained. Addison Wesley. In *Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference*, 279-282, Korea.
- Martin, A. L. (2014). "Gabarello v.1.0" and "Gabarello v.2.0": Development of motivating rehabilitation games for robot-assisted locomotion therapy in childhood. *Games for Health 2014*, 101-104. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- MDSN. (22 de mayo de 2022). Clase SerialPort (System.IO.Ports), MSDN - Microsoft, <https://n9.cl/svqrz>
- Moreno, A. V. (2008). Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría. *Revista Ingeniería Biomédica*, 2(3), 16-26.
- Parra Navarro, L. M., y Mendoza López, D. J. (2013). Prototipo de un sistema de rehabilitación de marcha usando una ortesis como control de un videojuego y con visualización de electromiografía. [Tesis de Ingeniería Electrónica]. Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia.
- Póo Argüelles, P. (2008). *Protocolos de neurología*. Asociación Española de Pediatría, Madrid, segunda edición.
- Regatky, N., Guston, K., y Salamanco, G. (2009). Trastorno del espectro autista. *Revista Hospital de Personas de Buenos Aires*, 51(235), 246-249.

- Ritteferd, U., Cody, M., y Vorderer, P. (2009). *Serious Games Mechanism and Effects*. New York and London: Routledge.
- Rodríguez Roque, M., Herrera Alonso, D., Sánchez Lozano, A., y Herrera Rodríguez, M. (2017). Hidrocefalia normotensa. Presentación de caso. *Medisur*, 15(1), 113-119.
- Rollings, A. y Adams, E. (2003). *Andrew Rollings and Ernest Adams on game design*. New Riders Publishing, EEUU.
- Schlak Poblete, L., y Forster Mujica, J. (1991). Retraso del desarrollo psicomotor. *ARS Médica*, 20(3), 218-220.
- Squire, K. (2011). *Video Games and Learning: Teaching and Participatory Culture in the Digital Age*. Technology, Education--Connections (the TEC Series). Teachers College Press. 1234 Amsterdam Avenue, New York, NY 10027
- Stengele, F. H. (2008). Diseño y construcción de prototipo neumático de prótesis de pierna humana, [Tesis de Grado del programa Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Computadoras], Universidad de las Américas, Puebla, México.
- Unity 3D. (2021). Unity - Game Engine. (Unity 3D) Recuperado el 11 de 12 de 2016, de <https://unity3d.com/es>
- Valera Pinedo, L. (2010). Velocidad de la marcha como indicador de fragilidad en adultos mayores de la comunidad en Lima, *Revista Española de Geriátría y Gerontología*, 41(1), 22-25, 209, <https://doi.org/10.1016/j.regg.2009.07.011>
- Vente, E. y Paradas, A. (2022). Carencias del profesorado de básica primaria para atención de estudiantes con discapacidad intelectual en enseñanza de matemáticas. *Plumilla Educativa*, 30(2) 7-31, <https://doi.org/10.30554/pe.2.4618.2022>

Recibido: 14 de marzo del 2022.

Aceptado: 21 de febrero del 2023.