

JUEGOS SERIOS BASADOS EN TÉCNICAS DE INTERACCIÓN DE REALIDAD AUMENTADA TANGIBLE PARA LA REHABILITACIÓN COGNITIVA

SERIOUS GAMES BASED ON TANGIBLE AUGMENTED REALITY INTERACTION TECHNIQUES FOR COGNITIVE REHABILITATION

José Antonio Leyva Regalón

Docente del Departamento de Informática. Universidad de Granma (Cuba).
E-mail: jaleyva@udg.co.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8420-7102>

Irisleydis Mayol Céspedes

Docente del Departamento de Informática. Universidad de Granma (Cuba).
E-mail: imayolc@udg.co.cu

Yolanda Soler Pellicer

Docente del Departamento de Informática. Universidad de Granma (Cuba).
E-mail: yoly@udg.co.cu

Pedro Gómez Ávila

Docente del Departamento de Informática. Universidad de Granma (Cuba).
E-mail: pgomeza@udg.co.cu

Recepción: 06/05/2018. **Aceptación:** 31/08/2018. **Publicación:** 28/09/2018

Citación sugerida:

Leyva Regalón, J. A., Mayol Céspedes, I., Soler Pellicer, Y. y Gómez Ávila, P. (2018). Juegos serios basados en técnicas de interacción de realidad aumentada tangible para la rehabilitación cognitiva. *3C TIC. Cuadernos de desarrollo aplicados a las TIC*, 7(3), 58-79. doi:<http://dx.doi.org/10.17993/3ctic.2018.61.58-79/>

RESUMEN

Las afecciones de las funciones cognitivas suelen ser tratadas mediante un programa de rehabilitación que pretende restaurar, compensar o sustituir estos impedimentos. A pesar de la eficiencia en la aplicación de la rehabilitación cognitiva persisten inconvenientes como la desmotivación de algunos pacientes que impide el cumplimiento total del programa. Los juegos serios se han convertido en herramientas útiles para mitigar este problema y favorecer el tiempo de realización de las tareas terapéuticas. El objetivo de este trabajo es la elaboración de un software que agrupe juegos serios basados en diferentes técnicas de interacción de Realidad Aumentada Tangible, sustentado en ejercicios terapéuticos tradicionales concebidos en los programas de rehabilitación cognitiva, que permitan incidir positivamente en la motivación de los pacientes. Para el desarrollo del programa se utilizó la biblioteca osgART que integra el motor gráfico Open Scene Graph y la biblioteca ARToolKit, todas tecnologías libres, multiplataforma y de código abierto. Las técnicas empleadas para la interacción con los elementos virtuales están basadas en el uso de marcadores fiduciales de ARToolKit. Se realizó un estudio para comparar la usabilidad de las técnicas de interacción implementadas con otras basadas en el uso del teclado y el ratón. El resultado fue analizado mediante el cálculo de la ANOVA de un factor, el cual evidenció que los juegos serios basados en las técnicas de interacción desarrolladas, inciden de manera positiva en la motivación de los pacientes.

ABSTRACT

Cognitive function disorders are usually treated through a rehabilitation program that aims to restore, compensate, or replace these impairments. Despite the efficiency in the application of cognitive rehabilitation, drawbacks remain, such as the lack of motivation of some patients that prevents the program from being fully complied with. Serious games have become useful tools to mitigate this problem and favor the time for accomplishing therapeutic tasks. The objective of this work is the elaboration of a software that groups serious games based on different Tangible Augmented Reality interaction techniques, based on traditional therapeutic exercises conceived in cognitive rehabilitation programs that allow a positive impact on the motivation of the patients. For the development of the program there was used the osgART library that integrates the Open Scene Graph graphic engine and the ARToolKit library, all of the kind free technologies, multiplatform and open source. The techniques used for the interaction with the virtual elements are based on the use of fiducial markers of ARToolKit. A study was carried out to compare the usability of the interaction techniques implemented with other interaction techniques based on the use of the keyboard and the mouse. The result was analyzed by calculating the ANOVA of a factor, which showed that serious games based on the interaction techniques developed, have a positive effect on the motivation of the patients.

PALABRAS CLAVE

Realidad Aumentada Tangible, Técnicas de interacción, Juegos serios, Rehabilitación cognitiva.

KEY WORDS

Tangible Augmented Reality, Interaction techniques, Serious games, Cognitive rehabilitation.

1. INTRODUCCIÓN

Una persona afectada por una lesión cerebral experimenta niveles de alteraciones físicas (motoras y sensitivas) y neuropsicológicas (cognitivas, conductuales y emocionales). Los déficits cognitivos pueden ser alteraciones en la percepción, la memoria, el aprendizaje, la velocidad de procesamiento de la información, la concentración o problemas de comunicación verbal (Molina et al., 2014).

Para la intervención de los déficits cognitivos en muchos de los casos se aplica un programa de rehabilitación cognitiva, en el cual la persona con lesión cerebral trabaja junto a profesionales del servicio de la salud para remediar o aliviar las capacidades mentales (Forn & Mallol, 2005). Según Tsousides and Gordon (2009) este tipo de rehabilitación es efectiva en ambientes hospitalarios y domésticos, tanto para daños moderados como severos en cualquier momento posterior a la lesión.

A pesar de la eficiencia en la aplicación de la rehabilitación cognitiva persisten inconvenientes como la desmotivación de algunos pacientes que impide el cumplimiento total de un programa. Las tecnologías de la información y las comunicaciones favorecen la realización de los programas de rehabilitación cognitiva, entre ellas la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada. Las mismas han incidido positivamente en la evaluación y rehabilitación de funciones cognitivas como la memoria, la atención, la percepción y el razonamiento (Ballester et al., 2015; Orueta et al., 2016; Pazmiño & Harari, 2017). De igual forma, el uso de juegos serios en los programas de rehabilitación cognitiva contribuye a elevar la motivación de los pacientes involucrados (Pinilla Giménez, 2017; Shapi'i et al., 2015).

Según Marcano (2008) los juegos serios son un grupo de videojuegos y simuladores cuyo objetivo principal es anteponer la formación al entretenimiento. Pomper et al. (2009) afirman que la esencia de un juego serio consiste en una partida mental que entrena ciertas habilidades mentales que un jugador necesita fuera del mundo del juego. De acuerdo con Jonsdottir et al. (2018) en la neurorehabilitación son concebidos y desarrollados con el propósito de rehabilitar una función limitada.

El uso de los juegos serios en la rehabilitación de pacientes con daños cerebrales ha sido de gran aceptación por los especialistas de la disciplina de las neurociencias y fueron incluidos desde hace algunos años en los programas de la carrera de diseñador de juegos (Lange et al., 2009). Uno de los procedimientos más comunes en la rehabilitación es la repetición y el entrenamiento sistemático de las funciones cognitivas dañadas. Los juegos serios basados en la Realidad Virtual pueden proveer ambientes de entrenamiento donde la repetición, la visualización y la retroalimentación auditiva

sean manipulados sistemáticamente de acuerdo con las diferencias de cada individuo (Gamito et al., 2010).

A diferencia de la Realidad Virtual, la Realidad Aumentada permite al usuario ver el mundo real con elementos virtuales añadidos (de França Pereira et al., 2017; Li et al., 2017). La escena resultante es conocida como escena aumentada donde el usuario interactúa en tiempo real con la información virtual agregada.

Existen diversos métodos para la manipulación de la información virtual en una escena aumentada. Uno de ellos es el control mediante agentes que incluye el uso del concepto de interfaces de usuario tangibles. Estas interfaces permiten a los usuarios manipular la información digital por medio de objetos físicos y controlar los sistemas a través de los movimientos realizados por dichos objetos. La aplicación de este concepto en los sistemas de Realidad Aumentada se conoce como Realidad Aumentada Tangible (Brock, 2017; Rojas & Díaz, 2012).

Existen diversos métodos para la manipulación de la información virtual en una escena aumentada. Uno de ellos es el control mediante agentes que incluye el uso del concepto de interfaces de usuario tangibles.

La rehabilitación cognitiva mediante la Realidad Aumentada proporciona más realismo y motivación que la Realidad Virtual, pues el paciente interactúa en un ambiente real con la información virtual a través de dispositivos no electrónicos, el reconocimiento de gestos u otros movimientos corporales. La interacción es un punto clave en los sistemas de Realidad Aumentada porque atribuye dinamismo e independencia a la comunicación entre la escena aumentada y el usuario.

El objetivo de esta investigación es la elaboración de un software que agrupe juegos serios basados en diferentes técnicas de interacción de Realidad Aumentada Tangible, sustentado en ejercicios terapéuticos tradicionales concebidos en los programas de rehabilitación cognitiva, que permitan incidir positivamente en la motivación de los pacientes.

1.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS JUEGOS SERIOS

El objetivo principal de los juegos serios es que los pacientes se sientan motivados a realizar los retos de la rehabilitación de las distintas funciones cognitivas afectadas mediante los ambientes de Realidad Aumentada. Conforme a los principios que propone la metodología MDA (*Mechanics, Dynamics, and Aesthetics*) de Hunicke et al., (2004) y a las diversas limitantes que pueden presentar los

pacientes, los juegos fueron diseñados con la base de proporcionar una experiencia de interacción sencilla y agradable al usuario, así como un bajo nivel de estrés y dependencia de un especialista u otra persona para realizar las tareas terapéuticas.

El software cuenta con 6 juegos que son presentados de forma secuencial con sus respectivos niveles. La secuencia de los juegos y sus niveles es generada aleatoriamente por el sistema, aunque puede ser configurada con un orden deseado antes de comenzar los juegos. Cada juego tiene su objetivo propio y las habilidades en la que incide como medio rehabilitador, lo cual es detallado en la Tabla 1.

Tabla 1. Nombre y objetivos de los juegos serios.

Nombre	Objetivo y breve descripción del juego	Habilidades cognitivas
Encontrar parejas	Encontrar la pareja correspondiente de cada elemento virtual de un conjunto. Los elementos son mostrados en diferentes lugares físicos de la escena en un breve intervalo de tiempo los cuales debe memorizar el paciente. Luego de ocultarse el conjunto debe encontrar el similar de un elemento dado en el lugar adecuado.	Atención. Memoria
Patrón en la secuencia	Determinar el patrón que le sigue a una secuencia de elementos virtuales. Dada una serie de elementos virtuales el paciente debe determinar el patrón que debe aparecer al final de la secuencia.	Función ejecutiva: capacidad de razonamiento. Atención
Ordenación	Ordenar elementos virtuales. Una situación determinada es expuesta mediante diversos objetos virtuales de manera desordenada. El paciente debe ordenar consecutivamente cada objeto de manera que represente el orden lógico de la situación.	Función ejecutiva: resolución de problemas. Atención. Memoria
Reconocimiento de forma y color	Reconocer los colores y formas en una escena aumentada. Dados diversos elementos virtuales el paciente debe reconocer los colores que los conforman y seleccionar los que se corresponden con un pequeño conjunto de elementos solapados con bajo nivel de detalle.	Percepción. Atención.
Escucha y cuenta	Contar elementos virtuales y sonidos que se repiten. El paciente debe contar la cantidad de veces que aparece un mismo elemento virtual en un conjunto. Paralelamente mientras transcurre el reto de este juego el paciente debe contar las veces que un sonido determinado se repite en una secuencia de sonidos. Luego debe brindar el resultado final del conteo para su evaluación.	Atención. Memoria
Elementos diferentes	Identificar y excluir objetos que no pertenezcan a un conjunto con características similares. Dado un conjunto de elementos virtuales el paciente debe identificar el o los elementos que no se relacionan con el resto basado en las características comunes de todos.	Atención .Memoria

En cada estado en el que se desarrolla un juego se lleva un control y almacenamiento de la destreza del paciente en la realización de todos los retos, la cual está expresada mediante la puntuación, los errores en el juego y el tiempo de realización de cada nivel. Al final de todos los niveles el especialista puede observar el progreso de un paciente a través de la comparación con otros parámetros similares almacenados en una pequeña base de datos.

La interfaz gráfica del software le permite al especialista configurar el grado de dificultad de los juegos dadas las peculiaridades de cada paciente. El grado de dificultad puede implicar la selección inicial de diferentes elementos virtuales o la incorporación de nuevos desde otro lugar del equipo, cargar diferentes tipos de sonidos en el caso del juego “escucha y cuenta”, establecer nuevos colores, la posición, la rotación y el tamaño de cada objeto virtual en las distintas escenas de los juegos. El especialista puede preestablecer un orden a cada juego o sus niveles, eliminar uno o varios de ellos, y cambiar las herramientas físicas para la interacción con la información virtual.

2. METODOLOGÍA

2.1. FUNDAMENTOS

Para la creación de todas las escenas aumentadas de los juegos serios se utilizó la biblioteca osgART (Hamada, 2018), la cual está conformada por el motor gráfico de código abierto Open Scene Graph (OSG) y la biblioteca para el desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada ARTToolKit. OSG facilitó organizar todas las escenas del sistema mediante una escena gráfica que consiste en una estructura de datos de árbol jerárquico dada por un nodo raíz, nodos padres y nodos hojas.

OSG ofrece diferentes tipos de nodos que contienen un gran rango de funcionalidades. Todos los nodos que integran la escena gráfica comparten una clase base común con métodos especializados definidos en las clases derivadas (Martz, 2007). Un tipo de nodo implementado ampliamente en el sistema desarrollado fue el de transformación, el cual cuenta con funcionalidades que permiten modificar el estado de transformación de sus nodos hijos.

ARTToolKit es un sistema fiducial visual que utiliza marcadores cuadrados de color blanco y negro con un patrón de imagen en el centro (Nithin & Bhooshan, 2016; Zheng et al., 2017). Mediante un video en tiempo real obtenido por una cámara se identifican los marcadores y se proyectan los modelos virtuales. El reconocimiento de cada patrón de imagen se realiza a través del método de tracking, el cual está basado en algoritmos de visión por computador que permiten determinar la posición y la orientación de la cámara y los marcadores para establecer sistemas de coordenadas locales y globales (Rabbi et al., 2017).

2.2. TÉCNICAS DE INTERACCIÓN BASADAS EN MARCADORES FIDUCIALES

El uso de los marcadores fiduciales constituye un método de manipulación basado en el control de agentes que permite posicionar e interactuar con los elementos virtuales de todas las escenas aumentadas tangibles del software. En la Figura 1 se muestra la implementación de la estructura del grafo de escena de osgART que admite la adición de múltiples marcadores, el método de tracking y conocer la dependencia entre cada uno de ellos.

Una cualidad importante del grafo de escena de osgART es que distintos marcadores pueden actuar como uno solo, lo cual minimiza el problema de oclusión (Sagitov et al., 2017), pues hay mayor posibilidad de identificar como mínimo un patrón de imagen, entre todos los existentes de un conjunto. Esta propiedad permitió utilizar la técnica de interacción basada en el uso del marcador paleta, que constituye una herramienta física para manipular los elementos virtuales encontrados en un marcador base compuesto por diversos marcadores.

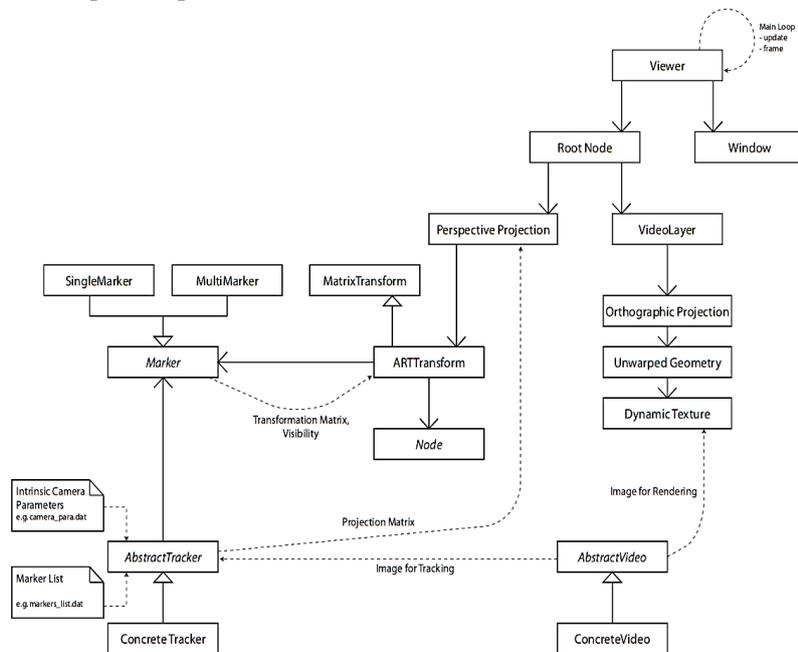


Figura 1. Estructura del grafo de escena de osgART (Looser, 2007).

El marcador paleta opera en un sistema de coordenadas global provisto por el marcador base, donde su posición es relativa a la de la base y las posiciones de ambos relativas a la de la cámara. Por tanto, el cálculo de la transformación entre éstos está dado por la siguiente ecuación:

$$T_{paleta\ y\ base} = T_{paleta} * T_{base}^{-1} T_{paleta\ y\ base} = T_{paleta} * T_{base}^{-1} \quad (1)$$

Donde $T_{paleta} T_{paleta}$ es la transformación del marcador paleta y $T_{base}^{-1} T_{base}^{-1}$ la transformación del marcador base respecto a la cámara. Este cálculo facilita obtener en cualquier momento la posición relativa real de la paleta al sistema de coordenadas global, necesario para comprobar acciones esenciales como la colisión entre el marcador paleta y los elementos virtuales de la escena aumentada.

Otra técnica de interacción empleada en el *software* es la proximidad entre marcadores. Similar a la técnica anterior, esta variante utiliza la relación espacial entre marcadores respecto a la cámara para conocer la transformación de ellos de manera independiente. El sistema de coordenadas global de cada marcador es el de la cámara y cada uno tiene su propio sistema de coordenadas local.

La distancia entre dos marcadores es determinada por:

$$V_{dist} = P_{marcador\ A} - P_{marcador\ B} \quad V_{dist} = P_{marcador\ A} - P_{marcador\ B} \quad (2)$$

Donde $P_{marcador\ A} P_{marcador\ A}$ y $P_{marcador\ B} P_{marcador\ B}$ representan las respectivas posiciones relativas a la cámara de dos marcadores, dadas por el nodo de transformación asociado a cada objeto marcador. Esta técnica permite determinar la distancia sin distinción entre sus tamaños físicos. La matriz de transformación asociada a cada uno tiene un nodo hijo de OSG llamado *switch* que posibilita la visualización de un solo nodo de sus hijos. Esta propiedad permite adicionar diferentes elementos virtuales a un mismo marcador y mostrar el deseado en la escena de acuerdo a la lógica del juego.

La tercera técnica empleada para la interacción con la información virtual de las escenas aumentadas se basa en la oclusión de los marcadores. osgART facilita determinar si un marcador es visible o no mediante el fallo del método de tracking.

2.3. CONFIGURACIÓN DE LA ESCENA AUMENTADA

El grafo de escena definido en el sistema desarrollado se rige por la estructura del grafo de escena de osgART. Cada nodo correspondiente a un marcador fiducial tiene que ser asociado a uno o varios nodos de la matriz de transformación que contienen como nodos hijos la geometría de los

objetos virtuales. Esta organización facilita el traslado de elementos virtuales de un marcador a otro, operación que no modifica las propiedades de transformación y geometría de la información virtual. Una cámara real proporciona el video en vivo cuyos parámetros intrínsecos son utilizados por el objeto *tracker* en la creación de la matriz de proyección que determina la proyección de perspectiva. Estos parámetros son esenciales en el *tracking* exacto de los marcadores y en la correcta construcción de la matriz de proyección para el renderizado de los objetos tridimensionales.

El proceso de calibración se le realizó a la cámara de video empleada en todas las escenas aumentadas. El propósito fue eliminar efectos como la distorsión de la imagen, la cual afecta el reconocimiento preciso de los marcadores mediante el método de tracking. Los parámetros intrínsecos de esta cámara obtenidos en el proceso de calibración fueron a través del uso de la aplicación *calib_dist.exe* de ARToolKit. Sin embargo, ARToolKit provee un archivo nombrado *camera_para.dat* con parámetros estándares que funcionan con muchas de las cámaras comerciales existentes.

Los parámetros específicos de la cámara, la dimensión y la posición del sistema de coordenadas global del marcador y la incorporación de elementos virtuales en cualquiera de las escenas de los juegos serios deben ser proporcionados por un especialista.

Otro aspecto esencial en la configuración de la escena aumentada es la posición del sistema de coordenadas y la dimensión del marcador. El sistema de coordenadas es establecido por defecto en el centro del marcador fiducial y puede ser movido para cualquier lugar físico dentro o fuera de éste. La aplicación *mk_patt.exe* del paquete de ARToolKit posibilita generar nuevos marcadores. El procedimiento consiste en mostrar frente a la cámara un marcador físico y el programa crea un fichero que contiene 4 matrices con el valor de gris de cada píxel del patrón. Cada matriz se corresponde con el patrón físicamente rotado 90 grados.

Los parámetros específicos de la cámara, la dimensión y la posición del sistema de coordenadas global del marcador y la incorporación de elementos virtuales en cualquiera de las escenas de los juegos serios deben ser proporcionados por un especialista. Para ello, se diseña una interfaz gráfica que permita establecer estos requerimientos y personalizar todas las opciones de los juegos. Para la recolección de esta información se presentan formularios y los correspondientes paneles de acceso diseñados con el programa Qt Designer del entorno de desarrollo integrado Qt (Navas Flores et al., 2018).

El diseño de la interfaz gráfica del software tuvo como base las tres reglas de oro de Mandel (1997): dar el control al usuario, reducirle la carga de memoria y construir una interfaz consecuente. Cada regla contiene una serie de principios que guiaron la concepción e implementación de la interfaz, y por consiguiente se favoreció la usabilidad del sistema.

2.4. OTROS ELEMENTOS DEL SOFTWARE

Para todos los sonidos de los juegos se utilizó la librería OpenAL. Esta es una API de audio multiplataforma de alto nivel que permite reproducir sonidos, canciones y posicionar elementos sonoros en un entorno tridimensional. En los juegos desarrollados el sonido desempeña un papel importante para favorecer la interacción del usuario con la escena aumentada. Los sonidos consisten en una música de fondo que puede ser modificada por el especialista, los sonidos de efectos especiales cuando ocurre una interacción con los elementos virtuales y los sonidos intencionados en el juego “Escucha y cuenta”. En todo el sistema el formato de audio utilizado es el *wav*, el cual constituye un estándar de formato de audio para PC.

Para lograr la reproducción de un sonido deben configurarse los objetos emisor o fuente (*source*) y el receptor u oyente (*listener*). El emisor es un punto en el espacio que emite un sonido, por tanto, tiene una posición en la escena de los juegos, una velocidad y un volumen. Este objeto manipula datos de un espacio de memoria llamado *buffer*. El receptor representa el lugar donde se encuentra un paciente. Las características del receptor junto a las de la fuente determinan cómo la muestra de audio será escuchada, es decir, sus posiciones relativas determinarán la intensidad del sonido.

Mediante la configuración de estos tres objetos de la librería OpenAL se logró reproducir diferentes sonidos simultáneamente, como la música de fondo y los efectos especiales de sonido. Los métodos `alSourcePlay(Source)`, `alSourceStop(Source)` y `alSourcePause(Source)` de esta API de audio permiten reproducir, detener y pausar respectivamente un sonido determinado.

El sistema de gestión de bases de datos utilizado fue SQLite. Fueron definidas 3 tablas donde se registran los principales datos de los pacientes, la puntuación en cada nivel del juego, la fecha de los intentos y la cantidad de errores cometidos. El especialista debe especificar o agregar un paciente para que interactúe con los juegos, cuyo progreso es almacenado en la base de datos. Mediante los datos almacenados en una cuarta tabla llamada sistema, el especialista puede cargar una configuración utilizada en otro paciente, realizarle nuevas modificaciones y asociarla a un nuevo paciente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2 se muestra la interacción mediante el uso de un marcador paleta con la información virtual de la base. En este caso se ha dado una configuración básica del juego “Encontrar parejas” donde se ha mantenido visible el conjunto en el marcador base con un bajo nivel de detalle de los elementos virtuales. En este juego el software permite utilizar la técnica de proximidad entre marcadores como otra variante de interacción. En la Figura 3 se utiliza la técnica de interacción basada en la oclusión de marcadores en el juego “Elementos diferentes”. Esta técnica permitió utilizar tres marcadores que actúan como un panel de botones físicos.

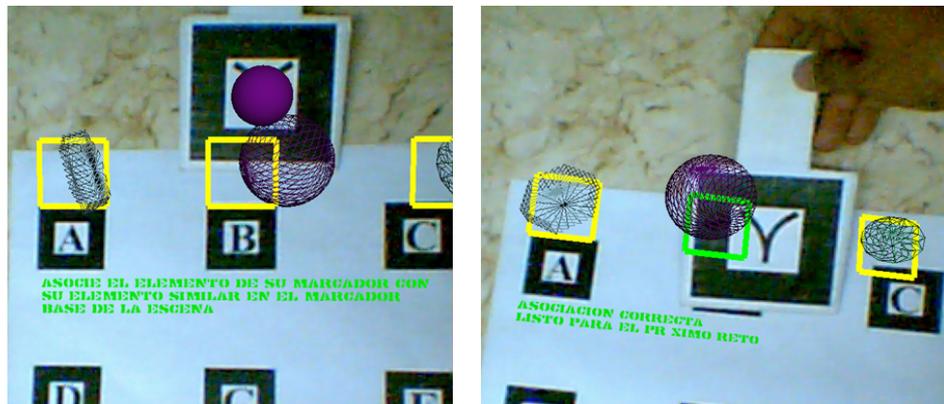


Figura 2. Interacción mediante el marcador paleta en el juego “Encontrar parejas”.

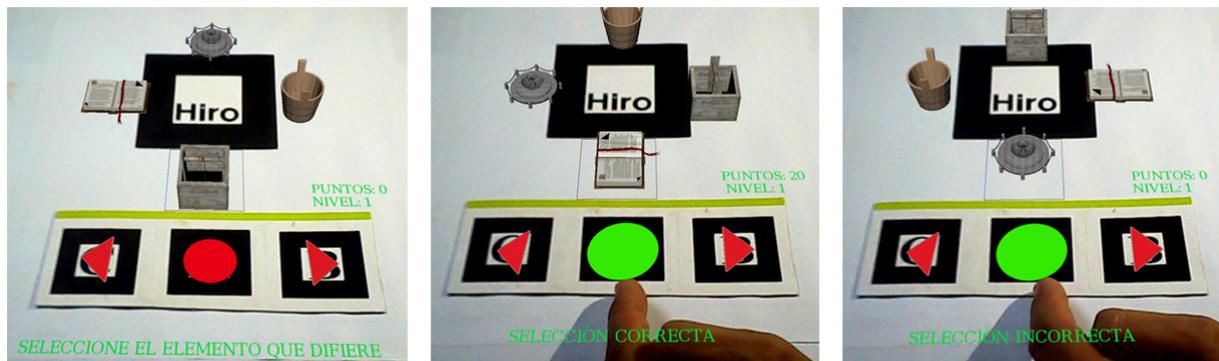


Figura 3. Interacción mediante la oclusión en el juego “Elementos diferentes”.

3.1. CASO DE ESTUDIO

Se realizó un estudio que figura una prueba piloto de usabilidad a las técnicas de interacción de los juegos serios, que permitió valorar otras cualidades del sistema a través de las opiniones de los usuarios y especialistas que participaron en la prueba. Para evaluar la usabilidad fue necesario desarrollar otro prototipo con los mismos juegos serios y técnicas de interacción basadas en el uso del ratón y el teclado. Una de las tareas en el estudio fue determinar cuáles técnicas son más eficientes para utilizar por los usuarios y cuáles tuvieron mayor grado de fallos en la ejecución del programa o del participante.

La realización de la prueba se planificó en dos sesiones, en un día cada una. El total de participantes fue de 10 personas con afecciones de una o varias funciones cognitivas, de ellos 4 mujeres y 6 hombres, todos con edad entre los 25 y 65 años. Colaboraron 4 especialistas de la salud en la observación y evaluación de todo el estudio.

El programa fue ejecutado en una Laptop HP con procesador Intel Core i5-6200U a 2.40 GHz, memoria DDR4 de 6 GB y sistema operativo Microsoft Windows 10 Pro. La cámara que proporcionó el video es una Logitech QuickCam con una resolución de 640x480 píxeles a 30 FPS (*frames per second*). Como herramientas para la interacción se emplearon un teclado, un ratón y marcadores fiduciales de ARToolKit.

Antes de realizar las sesiones de pruebas se capacitaron a los especialistas y participantes en la lógica de los juegos y cómo interactuar con ellos. En la primera sesión los participantes interactuaron con los elementos virtuales de las escenas aumentadas mediante el uso del ratón y el teclado. El segundo día la interacción fue realizada mediante el uso de marcadores fiduciales. Los especialistas configuraron todos los juegos con distintos niveles de dificultad de acuerdo al grado de afección del participante.

Al terminar las sesiones los participantes completaron un cuestionario de usabilidad y expresaron sus experiencias acerca de los juegos (Tabla 2). Todas las preguntas tienen como propósito que el participante evalúe numéricamente el método de interacción basado en el uso de marcadores fiduciales y el del uso de periféricos tradicionales. En cada caso indicaron la respuesta en una escala del 1 al 10 en orden ascendente de importancia.

Tabla 2. Cuestionario de usabilidad para participantes.

Preguntas de usabilidad	
P1.	Motivación
P2.	Natural
P3.	Facilidad de uso
P4.	Intuitivo
P5.	Facilidad de aprendizaje
P6.	Satisfacción

3.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CUESTIONARIO

El análisis estadístico de los resultados del cuestionario se realizó mediante el análisis de la varianza de un factor (ANOVA). Los participantes evaluaron el grado de motivación que sintieron interactuando con las escenas aumentadas para completar cada nivel de los juegos. Se utilizó el programa estadístico SPSS (Chiu & Lee, 2018) para procesar todos los datos de los cuestionarios.

En la tabla 3 se muestra la tabla de ANOVA generada por el programa SPSS referente a los datos de P1. La hipótesis nula definida considera que no hay diferencia en el grado de motivación de los participantes al interactuar con las distintas técnicas. La hipótesis alternativa está dada porque existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las técnicas de interacción.

El nivel de significación establecido es de 0,05. Se emplea la distribución F de Snedecor como distribución de muestreo. Como $F(2,27) = 7,076$ tiene un valor $p = 0,003 < 0,05$ se rechaza la hipótesis nula y se afirma estadísticamente que existe diferencia significativa entre las medias de todas las técnicas de interacción. En la tabla 4 se exponen los resultados de la prueba Turkey donde los asteriscos representan que las medias de las técnicas de interacción basadas en el uso del teclado y el ratón, son significativamente diferentes al nivel 0,05 precisado. De acuerdo con la prueba Turkey, se concluye que las técnicas basadas en el uso de marcadores fiduciales fueron las que más incidieron a elevar el grado de motivación de los participantes en el cumplimiento de los objetivos de los juegos serios.

Tabla 3. Tabla de ANOVA para la pregunta de motivación.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Significancia (p)
Intergrupo	27,467	2	13,733	7,076	0,003
Intragrupo	52,400	27	1,941		
Total	79,867	29			

Tabla 4. Prueba de Turkey para la pregunta de motivación.

(I) TÉCNICA	(J) TÉCNICA	Diferencias de medias (I - J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Uso de marcadores	Uso de teclado Uso del ratón	1,8000*	0,62302	0,020	0,2553	3,3447
		2,2000*	0,62302	0,004	0,6553	37447
Uso de marcadores	Uso de teclado Uso del ratón	-1,8000*	0,62302	0,020	-3,3447	-0,2553
		0,4000	0,62302	0,798	-1,1447	1,9447
Uso de marcadores	Uso de teclado Uso del ratón	-2,2000*	0,62302	0,004	-3,7447	-0,6553
		-0,4000	0,62302	0,798	-1,9447	1,1447

De igual forma los valores resultantes del procesamiento del resto de las preguntas mostraron diferencias significativas con P2: $F(2,27) = 7,633 < 0,05$, P3: $F(2,27) = 9,825 < 0,05$, P4: $F(2,27) = 15,331 < 0,05$, P5: $F(2,27) = 12,330 < 0,05$ y P6: $F(2,27) = 12,905 < 0,05$. La prueba de Turkey en todos los casos favoreció a las técnicas de interacción basadas en marcadores fiduciales, por lo que esta variante representa mayor usabilidad que las variantes de los periféricos tradicionales.

3.3. ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO

En todas las sesiones del estudio se registraron los errores que cometieron los usuarios, los tiempos en completar cada reto de los juegos y los errores del software. También se tuvo en cuenta la opinión de los especialistas en cuanto a los criterios anteriores, sugerencias y críticas de todo el proceso. En la Figura 4 se presentan los tiempos promedios que demoraron los participantes en realizar todos los retos de cada juego del *software*. El cálculo de la ANOVA de los errores de los 10 usuarios efectuado durante las dos sesiones determinó que con el uso de marcadores el participante es menos propenso a cometer errores en las tareas de interacción, lo que le atribuye mayor grado de confianza a los individuos y más robustez al *software*.

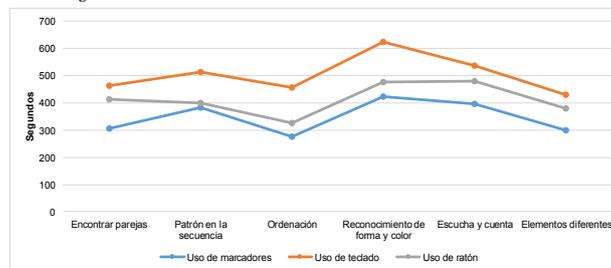


Figura 4. Tiempo en completar los juegos.

La preferencia por los marcadores fiduciales como herramienta terapéutica por parte de los especialistas colaboradores queda reflejada en la Figura 5 y justificada por los correspondientes cálculos estadísticos en el SPSS. Igualmente, el análisis del número de errores del programa permitió comprobar que el 90% en el uso de marcadores estuvo dado por fallos del tracking de los patrones de imágenes, a causa de la oclusión provocada por los participantes y en menor medida por la iluminación del local del estudio. Todos los errores fueron corregidos y el software fue sometido nuevamente a una evaluación con resultados satisfactorios.

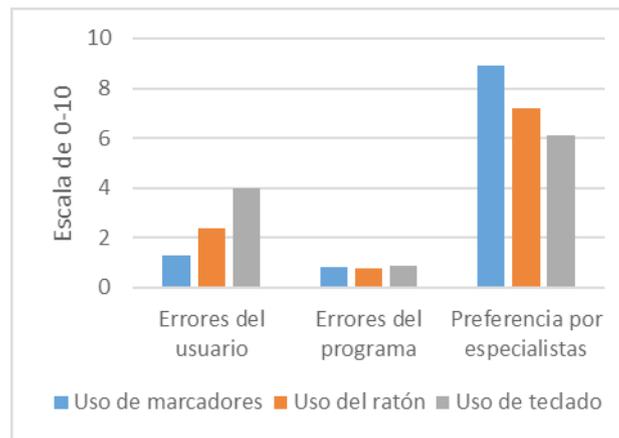


Figura 5. Errores del usuario, del programa y preferencia de las técnicas por los especialistas.

Al finalizar el estudio los especialistas respondieron el cuestionario de escala de usabilidad del sistema (SUS por sus siglas en inglés) de Brooke (1996) para evaluar las conformidades e inconvenientes que experimentaron con el software. El cuestionario de SUS está compuesto por 10 ítems que se responden numéricamente en una escala del 1 (completamente en desacuerdo) al 5 (completamente de acuerdo). En la Figura 6 se expone el promedio de las respuestas de cada ítem del cuestionario de SUS.

Para facilitar las respuestas de los colaboradores de la salud se recomendó tener en cuenta diversos aspectos del software como la personalización y las sugerencias de configuración de los juegos serios, la visualización de los reportes de progresos, el diseño de los formularios y la organización de las ventanas y los menús.

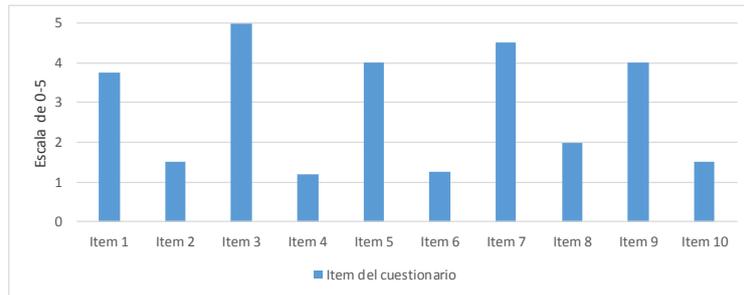


Figura 6. Promedio de respuestas del cuestionario de SUS.

4. CONCLUSIONES

A través de la prueba piloto de usabilidad se comprobó que las técnicas de interacción desarrolladas proporcionan mayor experiencia con las escenas aumentadas que con las basadas en el uso del teclado y el ratón. Se evidenció que la recreación de ejercicios terapéuticos tradicionales en juegos serios basados en técnicas de interacción de Realidad Aumentada Tangible incide en la motivación de los pacientes para cumplir los retos que propone la rehabilitación cognitiva.

Los errores del programa detectados durante las sesiones del estudio, permitieron evaluar aspectos como la precisión del sistema de tracking y la correcta calibración de la cámara para el adecuado reconocimiento de los patrones de imágenes. Se continuará perfeccionando la implementación de las técnicas de interacción basadas en el uso de marcadores fiduciales, la lógica y el diseño de los

La recreación de ejercicios terapéuticos tradicionales en juegos serios basados en técnicas de interacción de Realidad Aumentada Tangible incide en la motivación de los pacientes para cumplir los retos que propone la rehabilitación cognitiva.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ballester, B. R., et al.** (2015). The visual amplification of goal-oriented movements counteracts acquired non-use in hemiparetic stroke patients. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 12(50). doi:<http://dx.doi.org/10.1186/s12984-015-0039-z>
- Brock, A. M.** (2017). *Tangible Interaction for Visually Impaired People: why and how*. Paper presented at the World Haptics Conference-Workshop on Haptic Interfaces for Accessibility.
- Brooke, J.** (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194), pp. 4-7.
- Chiu, C.-C., y Lee, L.-C.** (2018). System satisfaction survey for the App to integrate search and augmented reality with geographical information technology. *Microsystem Technologies*, 24(1), pp. 319-341.
- França Pereira, de, P., Lourenço, P. G., y Bergamaschi, M. P.** (2017). Fundamentals of Augmented Reality. *Unisantia Science and Technology*, 6(2), pp. 101-107.
- Forn, C., y Mallol, R.** (2005). Proceso de rehabilitación cognitiva en un caso de infarto bitalámico. *Revista de Neurología*, 41(4), pp. 209-215.
- Gamito, P., Oliveira, J., Morais, D., Rosa, P., y Saraiva, T.** (2010). *Serious Games for Serious problems: from Ludicus to Therapeuticus*, *Virtual Reality*. En Jae-Jin Kim (Ed.) *Virtual Reality* (pp. 516-536). Nueva York, EE.UU.: Springer International Publishing.
- Hamada, S.** (2018). *Education and Knowledge Based Augmented Reality (AR) Intelligent Natural Language Processing: Trends and Applications* (pp. 741-759). Nueva York, EE.UU.: Springer International Publishing.
- Hunicke, R., LeBlanc, M., y Zubek, R.** (2004). *MDA: A formal approach to game design and game research*. Paper presented at the Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI.
- Jonsdottir, J., Bertoni, R., Lawo, M., Montesano, A., Bowman, T., y Gabrielli, S.** (2018). Serious games for arm rehabilitation of persons with multiple sclerosis. A randomized controlled pilot study. *Multiple sclerosis and related disorders*, 19, pp. 25-29.
- Lange, B., Flynn, S. M., y Rizzo, A. A.** (2009). Game-based telerehabilitation. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 45(1), pp. 43-51.
- Li, W., Nee, A., y Ong, S.** (2017). A State-of-the-Art Review of Augmented Reality in Engineering Analysis and Simulation. *Multimodal Technologies and Interaction*, 1(3), p. 17.

- Looser, J.** (2007). *AR Magic Lenses: Addressing the Challenge of Focus and Context in Augmented Reality*.
- Mandel, T.** (1997). *The elements of user interface design*. Nueva York, EE.UU.: Wiley.
- Marcano, B.** (2008). Juegos serios y entrenamiento en la sociedad digital. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 9(3).
- Martz, P.** (2007). *OpenSceneGraph Quick Start Guide: a quick introduction to the cross-platform open source scene graph API*. Louisville, EE.UU.: Skew Matrix Software LLC.
- Molina, A. G., Rovira, T. R., Cantalops, A. E., y Carrión, R. S.** (2014). Neuropsicoterapia en la rehabilitación del daño cerebral. *Rev Neurol*, 58, pp. 125-132.
- Navas Flores, D. F., Suasnavas, V., y Ramiro, J.** (2018). *Diseño e implementación de un prototipo de detección y localización de obstáculos a través de reconstrucción tridimensional mediante el uso de una cámara estereoscópica*. Quito, Ecuador: EPN.
- Nithin, G., y Bhooshan, R. S.** (2016). ARTAR-Artistic Augmented Reality. *Procedia Technology*, 24, pp. 1468-1474.
- Orueta, U. D., Climent, G., Cardas-Ibáñez, J., Alonso, L., Olmo-Osa, J., y Tirapu-Ustárrroz, J.** (2016). Evaluación de la memoria mediante realidad virtual: presente y futuro. *Revista de Neurología*, 62(2), pp. 75-84.
- Pazmiño, M. R., y Harari, I.** (2017). Uso de nuevas tecnologías TICS-realidad aumentada para tratamiento de niños TEA un diagnóstico inicial. *Revista CienciAmérica*, 6(3), pp. 131-137.
- Pinilla Giménez, I.** (2017). Juego serio para terapias de rehabilitación motora y cognitiva con realidad virtual.
- Pomper, A.-J., Jordaan, B. y Ravesloot, J.** (2009). *The added value of serious games in management development programs: The Slowesa case*.
- Rabbi, I., Ullah, S., Javed, M. y Zen, K.** (2017). Analysing the attributes of fiducial markers for robust tracking in augmented reality applications. *International Journal of Computational Vision and Robotics*, 7(1-2), pp. 68-82.
- Rojas, L. E. B., y Díaz, J. F. A.** (2012). Tareas fundamentales en la Realidad Aumentada, un nuevo enfoque. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(19).
- Sagitov, A., Shabalina, K., Lavrenov, R., y Magid, E.** (2017). *Comparing fiducial marker systems in the presence of occlusion*. Paper presented at the Mechanical, System and Control Engineering (ICMSC), 2017 International Conference on.

Shapi'i, A., Zin, N. A. M., y Elaklouk, A. M. (2015). A Game System for Cognitive Rehabilitation. *BioMed Research International*.

Tsaousides, T., y Gordon, W. A. (2009). Cognitive Rehabilitation Following Traumatic Brain Injury: Assessment to Treatment. *Mount Sinai Journal of Medicine*, 76, pp. 173-181. doi:<http://dx.doi.org/10.1002/msj.20099>

Zheng, Z., et al. (2017). *Aristo: An augmented reality platform for immersion and interactivity*. Paper presented at the Proceedings of the 2017 ACM on Multimedia Conference.

