




Artículo Original.

**Puzzle de Realidad Aumentada para el entrenamiento cognitivo****Augmented Reality Puzzle for cognitive training**

Irisleydis Mayol Céspedes, Ingeniero. Instructor. [[imayolc@udg.co.cu](mailto:imayolc@udg.co.cu)]. Universidad de Granma. Bayamo. Cuba. 

José Antonio Leyva Regalón, MSc. Profesor Asistente. [[jaleyva@udg.co.cu](mailto:jaleyva@udg.co.cu)]. Universidad de Granma. Bayamo. Cuba 

José Antonio Leyva Reyes, MSc. Profesor Auxiliar. [[jleyvar@udg.co.cu](mailto:jleyvar@udg.co.cu)]. Universidad de Granma. Bayamo. Cuba 

**Recibido:** 3 de diciembre 2020 | **Aceptado:** 29 de abril 2021

**Resumen**

El entrenamiento cognitivo posibilita conservar o maximizar las capacidades cognitivas de una persona. Las técnicas y las actividades que se aplican en esta terapia han sido ampliamente apoyadas en los últimos tiempos por tecnologías de la información y las comunicaciones. La Realidad Aumentada es una de estas tecnologías que permite nuevas formas de interacción tangible para manipular la información virtual añadida a un entorno físico en tiempo real. El sistema computacional de juegos serios de Realidad Aumentada para la rehabilitación cognitiva (JSRARC) presenta ejercicios terapéuticos en formato de juegos, para incrementar la motivación de los pacientes en las actividades cognitivas computarizadas. A pesar de la disponibilidad de sus juegos con propósitos para la rehabilitación, se requieren juegos enfocados al entrenamiento cognitivo para potenciar principalmente las capacidades de la atención y la memoria. El objetivo del presente trabajo es el desarrollo de un puzzle de Realidad Aumentada para el entrenamiento cognitivo. El puzzle constituye un juego serio que se integra al sistema computacional JSRARC y puede ser parametrizado con la herramienta de autor de este software. Para su desarrollo se utilizó la librería osgART con el framework Qt, OpenAL para la gestión del audio y SQLite para el almacenamiento de los datos. Para evaluar la usabilidad del juego se diseñó y ejecutó una prueba de usabilidad donde se aplicó un cuestionario. Las respuestas fueron procesadas con el análisis estadístico ANOVA de un factor.

**Palabras clave:** Realidad Aumentada; entrenamiento cognitivo; juego serio; puzzle

## Abstract

Cognitive training allows preserving or maximizing a person's cognitive abilities. The techniques and activities applied in this therapy have been widely supported in recent times by information and communication technologies. Augmented Reality is one of these technologies that allows new forms of tangible interaction to manipulate the virtual information added to a physical environment in real time. The JSRARC Serious Augmented Reality computer game system for cognitive rehabilitation presents therapeutic exercises in game format to increase the motivation of patients in computerized cognitive activities. Despite the availability of their purposeful games for rehabilitation, games focused on cognitive training are required to primarily enhance attention and memory capabilities. The objective of this work is the development of an Augmented Reality puzzle for cognitive training. The puzzle is a serious game that is integrated into the JSRARC computer system and can be parameterized with the authoring tool of this software. The osgART library with the Qt framework, OpenAL for audio management and SQLite for data storage were used for its development. To evaluate the usability of the game, a usability test was designed and executed where a questionnaire was applied. The responses were processed with the one-way ANOVA statistical analysis.

**Keywords:** Augmented Reality; cognitive training; serious games; puzzle

## Introducción

Una persona puede sufrir diversas afectaciones en las capacidades cognitivas de la percepción, la memoria, la comprensión, la orientación, la atención, el aprendizaje, el razonamiento y el lenguaje producto de las enfermedades neurodegenerativas, los accidentes cerebrovasculares, la discapacidad intelectual e incluso, del envejecimiento natural. Las enfermedades y los trastornos que generan un deterioro cognitivo cambian el estilo de vida de cualquier individuo y por lo general requiere de una intervención terapéutica para sustituir, compensar o restaurar su disfunción cognitiva (Ginarte-Arias, 2002).

El entrenamiento y la rehabilitación cognitiva constituyen métodos no farmacológicos que han demostrado su efectividad en los casos donde se experimente una lesión cerebral o para minimizar el continuo deterioro cognitivo producidos por diversas enfermedades o patologías mentales. El entrenamiento cognitivo comúnmente engloba un conjunto de técnicas y actividades enfocadas a conservar o maximizar el funcionamiento de las capacidades cognitivas con un nivel normal o un deterioro leve Aguirre, Cruz, Miró, Bueichekú, Solozano,

## Puzzle de Realidad Aumentada

Broseta, Avila, Sanchis y Forn (2018); Fernandes y de Lima (2016); Jiménez, Herrea, Macías, Pérez, Díaz y Forn (2017).

Las actividades de este tipo de tratamiento han sido ampliamente apoyadas, en la última década, por el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones Aldana, García y Jacobo (2012) y Fernández, Rodríguez, Contador, Rubio y Ramos (2011).

Una de ellas es la Realidad Aumentada (RA) dada su propiedad de enriquecer un entorno real con información virtual.

Esta tecnología, combinada con juegos serios, ha sido aplicada por diferentes especialistas de las neurociencias para incrementar la motivación de sus pacientes y acelerar el tiempo del tratamiento (Leyva y Mayol, 2019). La principal meta de un juego es el entretenimiento de los jugadores o sus espectadores. Sin embargo, en el entrenamiento cognitivo el juego serio adiciona un objetivo terapéutico.

El principio de la combinación de los juegos serios con la RA radica en introducir al paciente en un espacio de entretenimiento mientras realiza actividades cognitivas propias del juego, con las mismas finalidades que tienen los ejercicios terapéuticos tradicionales. De esta forma la persona en un estado de diversión puede interactuar de manera natural con la información virtual mediante técnicas de interacción tangible, lo que lo separa del uso de los periféricos convencionales Ma, Jain y Anderson (2014).

Un sistema computacional de juegos serios de RA para la rehabilitación cognitiva (JSRARC) fue desarrollado por Leyva, Mayol, Soler y Gómez (2018) basado en técnicas de interacción tangible. El sistema JSRARC permite la realización de sesiones terapéuticas a través de juegos computarizados para motivar al paciente en su programa de rehabilitación cognitiva. En las actividades de entretenimiento, el especialista no requiere supervisar todo el proceso para ofrecer ayuda o registrar los errores que comete el jugador, pues el sistema automatiza estas acciones y emite reportes del progreso necesario para la toma de decisiones del facultativo.

A pesar de la utilidad de esa herramienta informática en el tratamiento de los déficits cognitivos, no se dispone de un juego específico que permita el entrenamiento sistemático de una persona con sus capacidades en un nivel normal o que haya transitado por un proceso de rehabilitación. Por tanto, se precisa el desarrollo de un juego serio de RA que permita entrenar las funciones cognitivas de una persona.

La propuesta computacional de este trabajo está basada en un puzzle para contribuir principalmente en el entrenamiento de la memoria y la atención. El juego se integra al sistema JSRARC en aras de maximizar su incidencia con un número superior de actividades.

## Materiales y métodos

### Población y Muestra

El puzzle fue implementado en el departamento de Ciencias Básicas e Informática Aplicada de la Universidad de Granma. Se realizó una prueba de usabilidad con 26 personas voluntarias de diferentes edades y ninguno ha sufrido lesiones cerebrales (Tabla 1).

Rango de edades/ de RA	Dominio	Mujeres	Hombres
Entre 30 y 49 años		2	1
Entre 50 y 59 años		9	8
Entre 60 y 70 años		2	4
Conocimiento previo de la RA		3	5

Tabla 1: Muestra de la prueba de usabilidad.

El puzzle fue desarrollado con la biblioteca osgART, la cual integra el motor gráfico OpenSceneGraph (OSG) y la librería ARToolKit. Uno de los métodos de interacción que permite ARToolKit, es el uso de marcadores fiduciales. Estos marcadores constituyen marcas de papel con un cuadrado negro y blanco con una imagen en el centro que es reconocida por algoritmos de visión por computador Ullah, Rahman y Rahman (2019).

La imagen para el reconocimiento se obtiene a través de un dispositivo de captura de video donde se establece un sistema global de coordenadas para ese marcador específico que contendrá los elementos virtuales. El entorno resultante de adicionar información virtual al ambiente físico en tiempo real se conoce como escena aumentada, y es visualizada en la pantalla de la computadora.

La escena aumentada se implementa sobre una estructura jerárquica de osgART donde se gestionan las imágenes y objetos 3D con los nodos de OSG. Dado que el sistema de coordenadas en cada marcador es independiente y todos se encuentran relativos a la cámara de video de la escena, en todo momento es posible determinar la distancia entre ellos y entre los elementos virtuales ubicados en diferentes marcadores.

El cálculo anterior fue propicio para emplear la técnica de interacción tangible basada en la proximidad entre marcadores. Esta técnica permite la realización de acciones predeterminadas cuando el sistema detecta que una persona ha modificado el lugar original de un marcador fiducial y lo ha trasladado próximo o lejos de otro que también es reconocido dentro de la escena aumentada. Para tal fin, se implementó una clase derivada de osg:NodeCallback de la

## Puzzle de Realidad Aumentada

librería OSG para añadir una instancia al nodo de tipo `osg::Viewer` que representa el visor de la escena. En la clase derivada se reimplementó el método `operator ()` con las operaciones del cálculo de la distancia, el cual se invoca en cada recorrido del grafo de escena.

Otra técnica de marcadores aplicada en el juego del puzzle está basada en la oclusión. En tiempo real es posible conocer cuándo un marcador está visible, lo que significa que no tiene ningún tipo de oclusión y se puede renderizar la información virtual asociada (Figura 1).

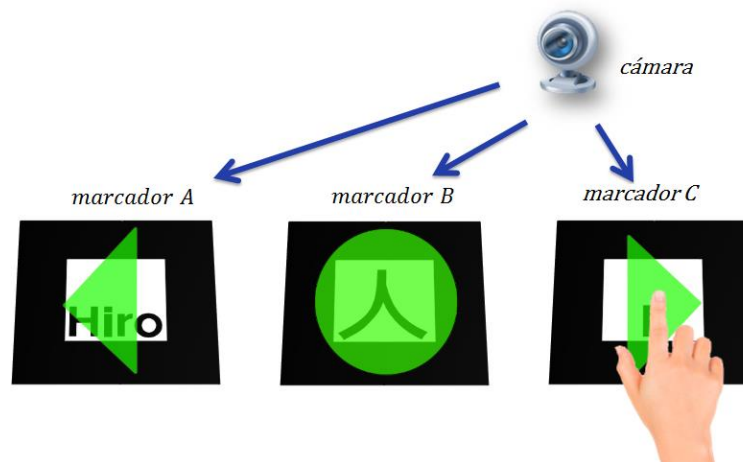


Figura 1: Interacción basada en la oclusión de marcadores.

La oclusión de marcadores se debe a diversas razones no intencionales como poca iluminación, movimiento brusco de la cámara de video o el solapamiento con otro objeto físico de la escena real. Sin embargo, una oclusión intencionada como se muestra en la figura anterior puede simular un panel de botones para desencadenar diferentes acciones.

Este tipo de interacción requiere que al menos dos de los tres marcadores estén siempre visibles por la cámara para ser reconocidos por los algoritmos de ARToolKit. Consecuentemente, si se asume la hipótesis de que el usuario está ocultando uno de ellos y se simula la acción específica del botón. Por tanto, se debe garantizar que las razones no intencionales mencionadas anteriormente, no ocurran durante la ejecución del juego.

En el desarrollo del puzzle se utilizó la librería OpenAL para la gestión de los efectos sonoros y la música de fondo. La base de datos SQLite de JSRARC fue actualizada para incluir los parámetros de este nuevo juego, así como el sistema de puntuación, los errores que comete el jugador y el tiempo en cumplir cada actividad. La información contenida en la base de datos permite al terapeuta analizar el progreso de una persona, a la vez que el sistema puede generar nuevas variantes de puzzle en correspondencia con su desempeño.

La escritura de todo el código del juego fue realizada en el lenguaje de programación C++ en el entorno de desarrollo integrado Qt Creator del framework Qt . En la interfaz principal de

JSRARC se adicionaron controles para la configuración de los parámetros del puzzle que determinan su nivel de complejidad.

En la prueba de usabilidad se aplicó el cuestionario de la Tabla 2. El procesamiento de las respuestas de los participantes fue realizado con el programa estadístico SPSS 15.0.1.

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

Tabla 2: Cuestionario de usabilidad aplicado a los participantes.

### **Análisis de los resultados**

El puzzle desarrollado en este trabajo mantiene la forma de ejecución de todos los juegos serios presentes en JSRARC (Figura 2). Cada nivel del juego puzzle es configurado previamente en una herramienta de autor interna que tiene el sistema JSRARC, donde se adiciona una imagen del directorio de la computadora con un formato png, jpg, jpeg, bmp o gif.

En la personalización del puzzle la imagen cargada se segmenta en correspondencia con el número de marcadores que fueron asociados por el terapeuta o por el sistema en el caso de las configuraciones predeterminadas. Este juego puede ser combinado en una secuencia con otros tipos de juegos de JSRARC o ejecutar una secuencia con un solo puzzle.

La propuesta de solución de este trabajo permite al usuario dos formas de interacción con los elementos virtuales. En la primera las partes del rompecabezas son mostradas en cada marcador disponible en la escena real, donde el jugador puede tomar cualquiera de ellas y comenzar a unir las hasta completar la imagen que usualmente se muestra en una parte de la escena aumentada.

La segunda forma de interacción consiste en la simulación de un panel de botones de marcadores como se muestra en la Figura 1. Mediante las flechas de izquierda y derecha, el jugador puede buscar una parte específica del puzzle para seleccionarla accionando el botón del centro y situarla en un área de la escena aumentada. Para ubicar la pieza seleccionada se utiliza el mismo panel de botones navegando por las marcas vacías en la escena.

## Puzzle de Realidad Aumentada

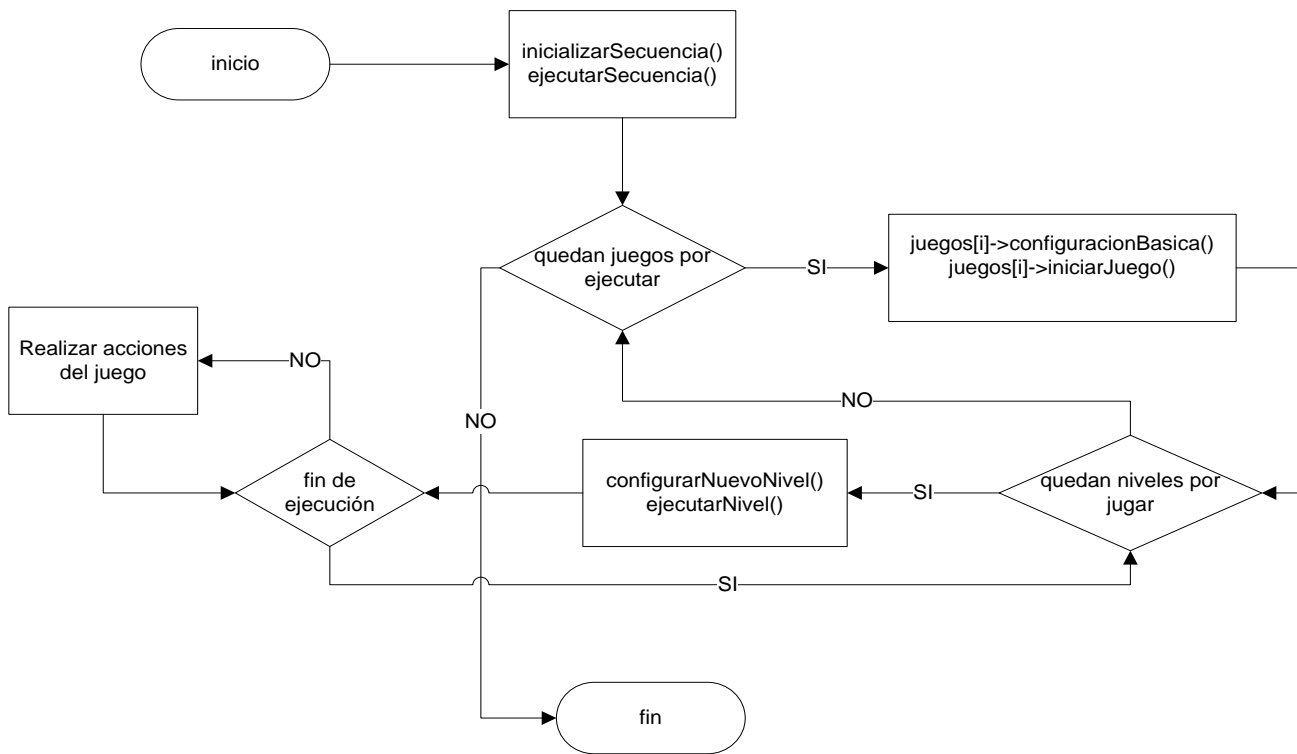


Figura 2: Integración del juego de puzzle en JSRARC.

### Prueba de usabilidad

La usabilidad se considera un aspecto importante de la calidad del uso de un software. Aunque no constituye un elemento determinante permite a través de pruebas evaluar el comportamiento de un software en condiciones similares a las de su destino final.

Por consiguiente, se diseñó una prueba de usabilidad para valorar el correcto funcionamiento de las técnicas de interacción implementadas, la curva de aprendizaje en su uso y la motivación incitada durante el juego. En la prueba participó una muestra de 26 personas con las características reflejadas en la Tabla 1.

En una primera etapa, dado el bajo nivel de conocimiento de la tecnología de RA, se capacitó a los participantes en la forma de interacción del juego serio. Luego con la colaboración de un terapeuta se diseñaron los puzzles de la prueba en correspondencia con el rango de edades.

En la prueba de usabilidad se realizó una comparación entre el puzzle de RA con uno tradicional de papel. En una primera sesión, cada participante realizó la construcción de una figura con piezas reales guiados por una foto. En la segunda sesión, se ejecutó un puzzle por cada persona, donde emplearon los marcadores para armar cada rompecabezas. En una tercera sesión, los participantes interactuaron solo mediante el uso del panel de botones virtuales.

En la segunda sesión se empleó una cámara web para la toma del video en vivo, una laptop con el sistema computacional JSRARC instalado y un máximo de 8 marcadores de 40x40 mm. En la prueba se garantizó una adecuada iluminación del local, una altura óptima y una posición fija de la cámara para obtener un amplio cono de captura de los marcadores y un monitor de 35 pulgadas para una mejor visualización de la escena aumentada.

Tras finalizar cada sesión, a los participantes se les pidió completar el cuestionario de la Tabla 2 para dar un valor numérico entre uno y 10 con importancia ascendente. Si el usuario considera que en el tipo de puzzle que terminó de resolver se sintió muy motivado debe cuantificarlo arrojando una cifra cercana o igual a 10. Esta escala numérica permite dar más opciones al usuario para responder y evitar la presión e indecisión al hacerlo.

Para el procesamiento de los cuestionarios, se utilizó el análisis estadístico ANOVA de un factor. El nivel de significación (Sig) establecido fue 0,05 y se empleó la distribución F de Snedecor como distribución de muestreo. En la Tabla 3 se muestran los resultados del ANOVA para la pregunta de motivación.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	139,718	2	69,859	10,904	,000
Intra-grupos	480,500	75	6,407		
Total	620,218	77			

Tabla 3: Anova de un factor para la pregunta de motivación.

Como hipótesis nula o de igualdad se asume que no hay diferencia significativa en la motivación de los participantes por el uso de un puzzle de papel y el puzzle de RA. La hipótesis alternativa está dada porque existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tipos de puzzle. El valor de F obtenido es igual a 10,904 y supera el valor F de Snedecor para dos y 77 grados de libertad igual a 3.115.

Para el nivel de significación 0,05 establecido, se obtuvo un valor Sig. (0,000) inferior, por lo que se rechaza la hipótesis de igual y se confirma estadísticamente la diferencia entre las medias, lo cual es contrastado en la Tabla 4 con la prueba de homogeneidad de varianzas.

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
5,919	2	75	,004

Tabla 4: Prueba de homogeneidad de varianzas.



### Puzzle de Realidad Aumentada

El rechazo de la hipótesis nula indica que las medias poblacionales no son iguales, por tanto, se precisa conocer dónde se encuentran las diferencias de las medias. Para ello se aplicó el contraste de comparaciones múltiples Tukey (Tabla 5).

(I) Nivel de factor	(J) Nivel de factor	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95% Límite inferior      Límite superior	
Puzzle de Papel	Puzzle de RA con proximidad	-3,26923*	,70201	,000	-4,9478	-1,5906
	Puzzle de RA con oclusión	-1,84615*	,70201	,028	-3,5247	-,1676
Puzzle de RA con proximidad	Puzzle de Papel	3,26923*	,70201	,000	1,5906	4,9478
	Puzzle de RA con oclusión	1,42308	,70201	,113	-,2555	3,1017
Puzzle de RA con oclusión	Puzzle de Papel	1,84615*	,70201	,028	,1676	3,5247
	Puzzle de RA con proximidad	-1,42308	,70201	,113	-3,1017	,2555

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Tabla 5: Prueba de Tukey.

La prueba de Tukey indica que los puzzles de RA forman un subgrupo de medias homogéneo por lo que hay una diferencia significativa en la motivación. El puzzle propuesto en la integración de sistema JSRARC presenta pistas para ayudar al paciente cuando se le dificulte una actividad en el juego.

Si el jugador completa correctamente dos piezas del puzzle en un breve período de tiempo, se realiza la suma del valor de bonificación. El monto de la bonificación debe llegar a un número predeterminado en la herramienta de autor para que sume una nueva pista en el juego. Este número predeterminado se incrementa de forma automática conforme a la mejora del progreso del usuario.

Otras opciones como salvar juego, reiniciar nivel, pasar nivel, usuario principiante, usuario intermedio y usuario avanzado, permiten al jugador seleccionar un nivel adecuado a sus capacidades cognitivas y evitar posibles frustraciones. Todos los elementos mencionados están

enfocados a motivar a una persona mientras juega al puzzle, los cuales no están presentes en un juego de papel tradicional.

Las otras preguntas de la Tabla 2 también fueron analizadas estadísticamente. Los resultados al respecto muy favorables en la facilidad de uso y la facilidad de aprendizaje del puzzle de RA con la manipulación basada en la técnica de proximidad entre marcadores. A pesar de que el panel de botones no sea una variante natural como la de papel y en cierta medida la de proximidad de marcadores, resulta útil para aquellas personas con limitaciones físicas o motoras.

Para accionar cualquiera de los botones no se requiere estrictamente los dedos de las manos. De manera alternativa puede emplearse el puño o un objeto determinado. Dado que el principio del panel es obstruir la visibilidad de uno de los marcadores para que sea no reconocido por los algoritmos de ARToolKit.

## Conclusiones

1. El trabajo realizado permitió determinar la necesidad de desarrollar un nuevo juego para el entrenamiento cognitivo.
2. El juego de puzzle desarrollado constituye otro de los juegos disponibles en el sistema computacional JSRARC para el entrenamiento cognitivo con técnicas de interacción de Realidad Aumentada Tangible.
3. La propuesta informática representa un aporte tecnológico para preservar las capacidades cognitivas de una persona o estimularlas en caso de déficits cognitivos.

## Referencias Bibliográficas

- Aguirre, N., Cruz, Á. J., Miró, A., Bueichekú, E., Solozano, N., Broseta, R., Avila, C., Sanchis, C., y Forn, C. (2018). El entrenamiento en memoria de trabajo mejora la eficiencia cognitiva en pacientes de Esclerosis Múltiple. *Revista Discapacidad Clínica Neurociencias*, 5(2), 16-25. <http://riberdis.cedd.net/handle/11181/5746>
- Aldana, G., García, L., y Jacobo, A. (2012). Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) como alternativa para la estimulación de los procesos cognitivos en la vejez. *CPU-e, Revista de investigación educativa*, (14), 153-166. <https://www.redalyc.org/pdf/2831/283121840008.pdf>

### Puzzle de Realidad Aumentada

- Fernandes, R. M., y de Lima, I. I. (2016). El entrenamiento cognitivo en los ancianos y efectos en las funciones ejecutivas. *Acta Colombiana de Psicología*, 19(2), 177-197. <https://doi.org/http://www.dx.doi.org/10.14718/ACP.2016.19.2.8>
- Fernández, B., Rodríguez, R., Contador, I., Rubio, A., y Ramos, F. (2011). Eficacia del entrenamiento cognitivo basado en nuevas tecnologías en pacientes con demencia tipo Alzheimer. *Psicothema*, 23(1), 44-50. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72717207008>
- Ginarte, Y. (2002). Rehabilitación cognitiva. Aspectos teóricos y metodológicos. *Revista de Neurología*, 34(9), 870-876. [https://www.academia.edu/download/32080274/rehabilitacion\\_cognitiva.pdf](https://www.academia.edu/download/32080274/rehabilitacion_cognitiva.pdf)
- Jiménez, R., Herrera, L. F., Macías, Y., Pérez, Y. T., Díaz, S. M., y Forn, C. (2017). Entrenamiento cognitivo combinado con ejercicios aeróbicos en pacientes con esclerosis múltiple: estudio piloto. *Revista de Neurología*, 64(11), 489-495. <http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170763/54127.pdf>
- Leyva, J. A., y Mayol, I. (2019). Los juegos serios en el entrenamiento y la rehabilitación cognitiva. *Revista Cubana de Informática Médica*, 11(2), 140-157. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcim/v11n2/1684-1859-rcim-11-02-140.pdf>
- Leyva, J. A., Mayol, I., Soler, Y., y Gomez, 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. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17993/3ctic.2018.61.58-79/>
- Ma, M., Jain, L. C., y Anderson, P. (2014). Future trends of virtual, augmented reality, and games for health. En M. Ma, L. C. Jain, & P. Anderson (Eds.), *Virtual, augmented reality and serious games for healthcare 1* (pp. 1-8). Springer.
- Ullah, S., ur Rahman, I., y ur Rahman, S. (2019). Systematic Augmentation of Artoolkit Markers for Indoor Navigation and Guidance. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: A. Physical*, 56(1), 1-8. <http://www.ppaspk.org/index.php/PPASA/article/download/77/70>