



UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS

**MODELO DE GENERACIÓN PROCEDURAL DE CONTENIDO PARA  
LA REHABILITACIÓN DE LA AGUDEZA VISUAL CON  
VIDEOJUEGOS**

**Resumen de tesis presentado en opción al grado científico de  
Doctor en Ciencias Técnicas**

Autores: Omar Correa Madrigal

Tutor: Dr. Celso Cuervo Caruncho

**La Habana, 2015**

# SÍNTESIS

Las terapias de rehabilitación mediadas por computadora son hoy un importante método para mejorar la calidad de vida de los pacientes. La reducción del tiempo de tratamiento, el aumento de la motivación y la capacidad de llevar la rehabilitación al hogar son algunas de sus principales ventajas. En este sentido los videojuegos se han convertido en el medio ideal para lograr la rehabilitación. La creación de videojuegos auto-adaptativos han aumentado el potencial de los tratamientos, debido a la capacidad que tienen para ajustar las terapias a las características del paciente y al desempeño del mismo en las sesiones de rehabilitación. Su impacto se ha reconocido en el tratamiento de padecimientos que afectan las funciones motoras y psicológicas, no siendo así en el tratamiento de funciones visuales como la agudeza visual. El objetivo del presente trabajo se enfoca en el desarrollo de un modelo de generación procedural de contenido en tiempo real para la rehabilitación de la agudeza visual con videojuegos. Los principales aportes se centran en la definición de un proceso que mantiene en equilibrio el tratamiento y juego mediante la vinculación del protocolo de medición LogMAR con las teorías del Equilibrio y Zona de Desarrollo Próximo. Además, se propone un submodelo para la generación procedural de entornos en videojuegos así como tres heurísticas capaces de medir el nivel de influencia de los contenidos ayudantes en el proceso de interacción paciente-juego. La validación se realizó implementando el modelo ADD-Ayuda en el videojuego Meteorix y aplicándolo sobre una muestra de 14 niños con afectaciones en la agudeza visual. Los resultados alcanzados evidenciaron aumentos de dos o tres niveles de agudeza visual y un impacto significativo en el rendimiento de los pacientes.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b>	<b>13</b>
1.1 Función agudeza visual . . . . .	13
1.2 Rehabilitación de funciones visuales con videojuegos . . . . .	14
1.3 Generación procedural de contenido en videojuegos. Principales características	15
1.3.1 Generación procedural en tiempo real . . . . .	16
1.4 Videojuegos auto-adaptativos en los procesos de rehabilitación . . . . .	18
1.5 La Zona de Desarrollo Próximo en la rehabilitación . . . . .	19
1.6 Conclusiones del capítulo . . . . .	20
<b>2 MODELO PARA LA REHABILITACIÓN DE LA AGUDEZA VISUAL CON VIDEOJUEGOS</b>	<b>21</b>
2.1 Principios y premisas del modelo . . . . .	21
2.2 Submodelo GPC para videojuegos . . . . .	22
2.3 Modelo terapeuta virtual ADD-Ayuda . . . . .	24
2.4 Conclusiones del capítulo . . . . .	27
<b>3 APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS</b>	<b>28</b>
3.1 Estudio de casos con niños ambliopes . . . . .	28
3.2 Validación de la hipótesis . . . . .	30
3.3 Influencia de los ayudantes en el proceso de rehabilitación . . . . .	31
3.4 Estudio focal con especialistas en oftalmología y rehabilitación . . . . .	32

3.5 Conclusiones del capítulo . . . . .	33
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>34</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>35</b>
<b>PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DEL AUTOR</b>	<b>36</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>39</b>

# Introducción

Con el desarrollo de las tecnologías para la realidad virtual, realidad aumentada y la realidad mixta [1] se han logrado significativos avances en el tratamiento de diferentes discapacidades. La realidad virtual ha demostrado su efectividad durante más de 15 años, fundamentalmente en las discapacidades de tipo psicológicas. La evolución de los sistemas de la Telepresencia Virtual con Inmersión (TVI) han avanzado hacia el aumento de las experiencias realistas y en la capacidad de ajustar las terapias a las limitaciones de los pacientes. Esta última tendencia es fundamental y su avance hacia el ajuste automático de las terapias resulta un campo de activa investigación [2, 3, 4].

Giuseppe Rivas y Cristina Botellas, reconocidos investigadores en la aplicación de las tecnologías para el tratamiento de discapacidades psicológicas, apuntan que el ajuste automático de las terapias en los sistemas TVI es un aspecto de suma atención. La capacidad adaptativa o auto-adaptabilidad<sup>1</sup> debe ser lo suficientemente completa para una adecuada toma de decisiones relacionadas con los estados de las terapias [4]. Cristina Botella afirma además, que el futuro de los sistemas de tratamientos deberán ir hacia la auto-adaptabilidad con enfoques en aspectos como la inteligencia ambiental<sup>2</sup> y computación persuasiva<sup>3</sup> [6]. Este desarrollo se presenta en varias áreas de tratamiento y los videojuegos han resultado ser los condensadores del desarrollo en este sentido [7, 8, 9, 10].

Tanto en los videojuegos de ocio como en los juegos serios se reconoce el valor de la auto-adaptabilidad, esta cualidad permite en ambos un mayor alcance en cuanto al tiempo de juego y el número de jugadores potenciales [11]. En el caso de los juegos serios, término definido por Michael Zyda, el videojuego se considera una herramienta para el entrenamiento, la educación, la comunicación estratégica y la salud [12].

La auto-adaptabilidad es vista como una necesidad para que los videojuegos sean una efectiva forma de transferencia de conocimientos [11]. Según un importante estudio bibliométrico realizado sobre la base de datos Digital Bibliography and Library Project (DBLP), las investigaciones relacionadas con la aplicación de la Inteligencia Artificial a

---

<sup>1</sup>Capacidad de un sistema informático para ajustarse automáticamente al contexto de ejecución en un ciclo cerrado de retroalimentación [5].

<sup>2</sup>Captar la información fisiológica, psicológica y contextual del usuario-paciente mediante el desarrollo de tecnologías de redes y sensores inteligentes.

<sup>3</sup>Generación de contenidos con el objetivo de cambiar y/o reforzar conductas del usuario-paciente.

los videojuegos aumentaron a partir del 2006, marcado en gran medida por la búsqueda de métodos y modelos para el logro de juegos más personalizados y auto-adaptativos [13]. Este estudio, perteneciente a investigadores del departamento Lenguajes y Ciencias de la Computación de la Universidad de Málaga, muestra una red de autores que se visualiza en la Figura 1. En búsqueda de la aplicación de los videojuegos auto-adaptativos los principales autores de la red han estado vinculados a trabajos donde exploran la auto-adaptabilidad en la rehabilitación [7, 9].

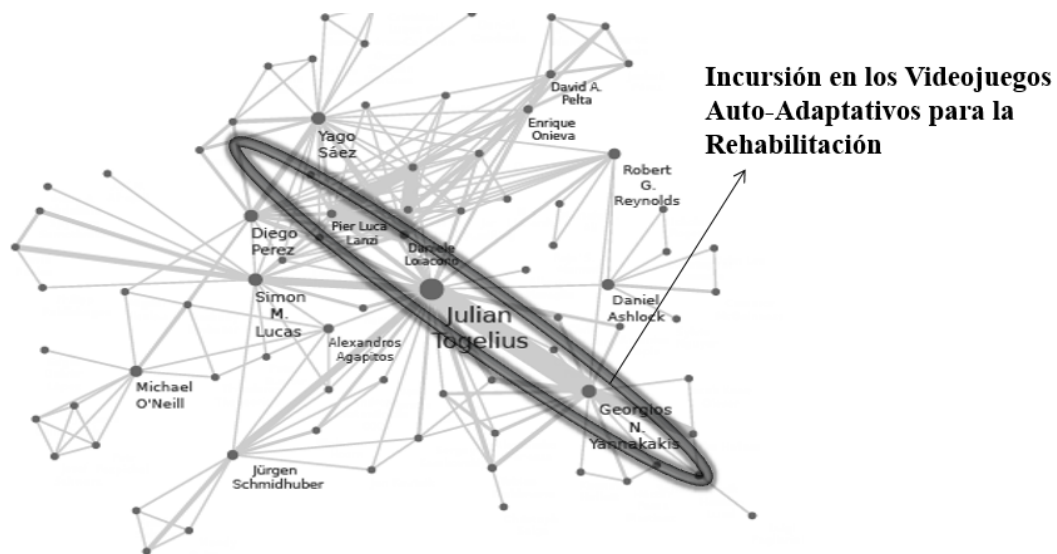


Figura 1: Red de autores asociados al área de investigación de videojuegos auto-adaptativos. Se encuentran resaltados los que han incursionado en los videojuegos para la rehabilitación. Fuente: [13].

Una red de las palabras más usadas en los títulos de los trabajos (Ver Figura 2) evidencian el avance en la Inteligencia Artificial estableciendo como centro los juegos, lo cual ayuda a regular la generación procedural de contenido<sup>4</sup> en busca de un nivel de auto-adaptabilidad sustentado por teorías del diseño de juegos.

Las teorías del Equilibrio [15] y la Zona de Desarrollo Próximo o Potencial (ZDP) [16] han demostrado su impacto en el diseño de juegos para la rehabilitación [17]. En este contexto se aplican esquemas de adaptabilidad que recurren al fundamento de las teorías anteriores para definir métodos de Ajuste Dinámico de la Dificultad (ADD) [7, 18, 19, 20, 21]. Algunos ejemplos muestran esquemas de ayudantes automáticos apelando a ZDP, donde los contenidos en los videojuegos o mecanismos de interacción como dispositivos

<sup>4</sup>Creación de contenidos empleando algoritmos [14].

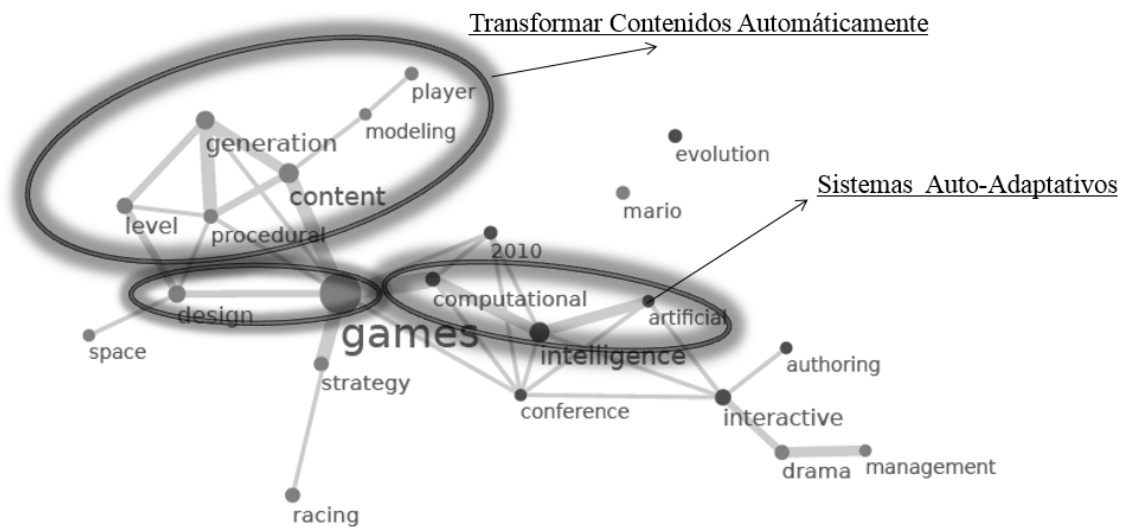


Figura 2: Red de palabras más empleadas en los títulos de las publicaciones. Fuente: [13] .

avanzados (robots), son configurados de manera automática para brindar apoyo en el proceso. Estos elementos convierten al juego en un terapeuta virtual al actuar de forma general como mediador entre el protocolo de tratamiento o medición y el paciente.

Para lograr un efectivo ADD es importante apelar a la generación procedural de contenido, con ella se logra trabajar sobre dos aspectos fundamentales en el diseño del juego: el reto y manejo adecuado de los fallos [22]. Estos elementos permiten alcanzar un equilibrio entre el reto y la habilidad del jugador–paciente (teoría del Equilibrio [15]), lo cual garantiza un mejor rendimiento al trabajar sobre los estados de motivación del paciente.

Para lograr un reto coherente a la discapacidad del paciente se necesita de un protocolo que permita relacionar la complejidad del reto con el nivel de habilidad del paciente. El resultado de la automatización de este proceso se evidencia en las variaciones del rendimiento, el cual debe tender al pasar el tiempo a los valores de habilidad propuestos por el protocolo [2].

El impacto de los videojuegos en la rehabilitación de funciones visuales ha sido significativo pero a diferencia de otras áreas (rehabilitación motora y psicológica) no se avanza en los videojuegos auto-adaptativos. Tal situación se debe a la diversidad y complejidad de las funciones visuales así como al estado de las investigaciones sobre las aplicaciones de los videojuegos en la rehabilitación de la visión. En estas últimas los avances se centran en exploraciones tecnológicas haciendo énfasis en las tecnologías

estereoscópicas [20, 23, 24, 25, 26].

Otra de las tendencias es la ludificación (gamification), concepto referido a la transformación de los procesos rutinarios en juegos [27]. Los oftalmólogos han recurrido a la ludificación como método para mejorar el impacto de las terapias al aumentar la motivación en los pacientes; por ejemplo los juegos agrupados en los paquetes EVO [28] y Top Vision Professional [29]. También se identifican investigaciones que analizan el impacto de los videojuegos comerciales en el tratamiento de la visión, donde se valora qué tipo de juego es más conveniente y si el impacto depende de las características del jugador (género y experiencia en el juego) [30, 31] o de las dinámicas de la interacción hombre–ordenador [30, 32, 33].

A pesar de estos avances, existen insuficiencias que apuntan hacia la necesidad de la auto-adaptabilidad en los videojuegos para el tratamiento de la visión:

- Desbalance entre el juego y protocolo de tratamiento, lo que provoca desmotivación en los pacientes y por ende un impacto negativo en su rendimiento [29, 34].
- Poca adaptación de los retos al nivel de habilidad de los pacientes, lo que evita una terapia más personalizada y un mejor trabajo sobre el rendimiento [25, 31].
- Pérdida del control de la terapia por parte del paciente como consecuencia del pobre manejo de los fallos [23, 31].

En Cuba, se desarrolla una activa política de atención a los discapacitados visuales. Las escuelas especiales, un logro significativo del país para la inclusión social, carecen de medios materiales para desarrollar la rehabilitación de sus estudiantes. Los videojuegos constituyen una alternativa pero los resultados han sido incipientes y poco generalizados [35, 36, 37].

Partiendo de todos estos análisis se decidió desarrollar esta investigación con el fin de aportar al desarrollo de videojuegos auto-adaptativos para la rehabilitación de funciones visuales. Para ello se seleccionó la función agudeza visual ya que su variación constituye un síntoma significativo de problemas visuales. Esto justifica que la medición de la agudeza visual sea una de las primeras pruebas a realizar para detectar discapacidades [38, 39].

La agudeza visual es una función de carácter monocular o binocular que se identifica como el menor espacio visual que puede ser visualmente detectado, discriminado o identificado [40]. Los protocolos para la medición de agudeza visual incluyen diferentes



condiciones que van desde la edad del paciente hasta las normas para la medición. A pesar de las diferencias responden a elementos comunes, siendo el tamaño de los optotipos<sup>5</sup>, la separación entre estos y la distancia al test<sup>6</sup>, fundamentales para una correcta medición [39]. Además, independiente de la notación para expresar la medición, los protocolos definen la complejidad de un optotipo por su tamaño y separación de otros. La complejidad se ordena de menor a mayor.

Partiendo del análisis anterior, un videojuego auto-adaptativo que rehabilite la agudeza visual debe responder a un protocolo de medición para ajustar los retos a las condiciones propuestas por el mismo. Además, otros contenidos con la cualidad de reducir la complejidad de los retos (ayudantes automáticos), pueden contribuir a un manejo adecuado de los fallos al introducirlos en momentos oportunos de la terapia.

Sobre la base de la situación expuesta se identifica el siguiente **problema científico**:

¿Cómo contribuir a la mejora del rendimiento de los pacientes en la rehabilitación de la agudeza visual con videojuegos auto-adaptativos teniendo en cuenta un protocolo para la medición de la agudeza visual?

**Objeto de estudio:** generación procedural de contenido.

**Campo de acción:** la generación procedural de contenido en tiempo real para la rehabilitación de la agudeza visual con videojuegos.

Como **objetivo general:** Desarrollar un modelo de generación procedural de contenido en tiempo real que contribuya a mejorar el rendimiento del paciente siguiendo un protocolo de medición en la rehabilitación de la agudeza visual con videojuegos.

Para alcanzar este objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Construir las bases teóricas y técnicas de la generación procedural de contenido en tiempo real para la rehabilitación de la agudeza visual con videojuegos.
2. Desarrollar un submodelo para la generación procedural de contenido en tiempo real en videojuegos.
3. Desarrollar el modelo para la rehabilitación de la agudeza visual con videojuegos usando como base el submodelo.

---

<sup>5</sup>Optotipo proviene de dos palabras griegas: optós, que significa “visible o relativo a la visión” y typós, que significa “marca”, literalmente “marca visible”. En optometría, un optotipo es una figura o símbolo que se utiliza para medir la agudeza visual [39].

<sup>6</sup>Conjunto de optotipos ordenados por tamaño y proyectados con un contraste máximo según el formato seleccionado (impreso o digital).

4. Desarrollar un videojuego que implemente el modelo.
5. Validar el modelo.

Luego de realizar la fundamentación de la problemática y su contexto en cuanto a las bases teóricas relacionadas se plantea la siguiente **hipótesis de investigación**:

Si se desarrolla un modelo de generación procedural de contenido en tiempo real que emplee como entradas un protocolo de medición de la agudeza visual y ayudantes automáticos, se logrará contribuir a la mejora del rendimiento en la rehabilitación de la agudeza visual con videojuegos.

Durante la investigación se aplicaron los siguientes métodos científicos:

#### **Métodos teóricos**

- El **histórico y lógico** para enmarcar la problemática de estudio y profundizar en los referentes que abordan diferentes niveles y contextos del problema.
- El **hipotético-deductivo** el cual permitió desde la fundamentación inicial del problema, definir la hipótesis del trabajo y contrastar su validez en la etapa de prueba.
- La **modelación** permitió una aproximación al objeto de estudio para establecer un sistema teórico que resuelve el problema.
- El **dialéctico** dio la posibilidad de identificar relaciones antagónicas entre partes del modelo lo cual garantizó una mejor conformación del mismo.

#### **Métodos empíricos**

- La **observación** fue utilizada para identificar el impacto de diferentes implementaciones del modelo desde la interacción con pacientes y especialistas en oftalmología y rehabilitación. Con este método se logró corregir importantes características del modelo.
- La **entrevista** a oftalmólogos corroboró la viabilidad de los ayudantes automáticos a diseñar para el modelo.
- El **experimento** permitió probar la hipótesis planteada partiendo de la **medición** de las variables dependientes identificadas.

### **Métodos cualitativos**

- El **grupo focal** se utilizó como método complementario para valorar los resultados desde la opinión de los especialistas en oftalmología y rehabilitación.

### **Principales Aportes**

La **novedad científica** del trabajo está determinada por la sistematización de un modelo de generación procedural de contenido en tiempo real para la rehabilitación de la agudeza visual con videojuegos, partiendo del protocolo de medición LogMAR y ayudantes automáticos.

Como principales **aportes teóricos** se tienen:

- Desarrollo de un modelo de generación procedural de contenido en tiempo real para videojuegos.
- Concepción de un proceso que equilibra el tratamiento y juego mediante la vinculación del protocolo de medición LogMAR y las teorías del Equilibrio y Zona de Desarrollo Próximo.
- Definición de los conceptos “ruido” y “ayudante” en la rehabilitación de la visión por computadora.
- Desarrollo de heurísticas para medir el nivel de influencia de un ayudante en el proceso de interacción paciente–juego.

**Aportes prácticos :**

- Videojuego Meteorix para la rehabilitación de la agudeza visual.
- Biblioteca para la generación procedural de entornos virtuales en tiempo real.
- Diseño de los ayudantes Piloto Automático, Ralentizar Tiempo y Radar para la rehabilitación de la agudeza visual.

## **Estructura del Documento**

El documento se encuentra dividido en introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, glosarios de términos, acrónimos, referencias bibliográficas y apéndices. En el capítulo uno se resumen los fundamentos teóricos principales relacionados con la función agudeza visual, generación procedural de contenido en los videojuegos y su importancia en la rehabilitación. Además, se analizan las teorías Equilibrio y Zona de Desarrollo Próximo como elementos significativos en el desarrollo de videojuegos auto-adaptativos así como un grupo de trabajos relacionados con la rehabilitación que responden a la aplicación de estas teorías.

Por otra parte, el capítulo dos presenta la propuesta del modelo de terapeuta virtual ADD-Ayuda. Se inicia con la explicación del submodelo Generador Basado en Capas para la generación procedural de contenido en videojuegos. Luego, usando como base este submodelo, se obtiene el modelo ADD-Ayuda con sus principales características y principios de funcionamiento.

El capítulo tres recoge las validaciones realizadas al modelo ADD-Ayuda en dos momentos, estudio de casos y análisis estadístico sobre los datos obtenidos de una muestra de 14 niños con problemas en la agudeza visual. Además, se refuerzan estos resultados con las valoraciones recogidas de un grupo focal de especialistas en oftalmología y rehabilitación.

## Fundamentación Teórica

El capítulo uno expone los fundamentos de la medición de la agudeza visual según el test LogMAR así como, los trabajos principales relacionados con el tratamiento de la agudeza visual y otras funciones visuales con videojuegos, destacando las tendencias fundamentales. Además resume los aspectos de la generación procedural de contenido llegando al nivel de impacto que esta puede tener en los videojuegos auto-adaptativos y el proceso de rehabilitación con videojuegos.

### 1.1. Función agudeza visual

La agudeza visual es una función de carácter monocular o binocular que se identifica como el menor espacio visual que puede ser visualmente detectado, discriminado o identificado. Esta define la capacidad de resolución espacial del sistema visual, matemáticamente se interpreta como la inversa del ángulo con que se resuelve el objeto más pequeño identificado ( $\frac{1}{\alpha}$ ) [40].

Los test de agudeza visual expresan la medición desde un análisis en tres dimensiones: mínimo visible o mínimo ángulo de resolución<sup>1</sup>(MAR), mínimo separable y mínimo reconocible. Partiendo de estas dimensiones, los optotipos son diseñados y organizados para realizar las mediciones. Los test más reconocidos son Snellen y LogMAR [41].

LogMAR presenta ventajas sobre el test Snellen las cuales lo han convertido en un estándar en la práctica clínica e investigación [39, 41]. Dentro de estas resaltan, el aumento del tamaño de los optotipos entre niveles lo que responde a medidas iguales, escalonado decimal y equivalencia en las mediciones de un nivel a otro [42]. LogMAR presenta en cada nivel un total de cinco optotipos de igual tamaño y distanciados por un espacio equivalente a otro optotipo del mismo nivel. Además la distancia entre niveles es igual al tamaño del optotipo del nivel inferior. El tamaño de los optotipos varían de 5.5 a

---

<sup>1</sup>Capacidad de detectar un objeto en el campo de visión.

0.5 centímetros y de nivel a nivel hay un decremento de 0.5 centímetros, para un total de once niveles [41].

El protocolo de medición LogMAR propone una distancia de cuatro metros al test. La prueba comienza desde los niveles de mayor tamaño hacia los de menor medida hasta encontrar el nivel donde el paciente alcanza su mejor agudeza visual (relacionado con el mínimo reconocible), seguido se avanza en el nivel para reafirmar el valor al trabajar sobre el mínimo separable. Todas las características descritas regulan el contexto para la medición al trabajar sobre el mínimo reconocible y mínimo separable.

## **1.2. Rehabilitación de funciones visuales con videojuegos**

El proceso de ludificación ha posibilitado la evolución del tratamiento de las funciones visuales. Como resultado de este proceso los videojuegos se han convertido en una herramienta para la rehabilitación. La variedad de trabajos que emplean los videojuegos para el tratamiento de la visión dependen de las funciones visuales a tratar, grado alcanzado por las enfermedades, tipo de enfermedad, así como por el grupo de edades al que va dirigido [20, 25, 43, 44].

Los frentes de trabajo para abordar la rehabilitación de la visión se han desarrollado desde diferentes puntos vistas, especialmente de la oftalmología y enseñanza especial. Las investigaciones fundamentales se asocian a la exploración de tecnologías de la realidad virtual [20, 25, 26, 43, 44, 45, 46], desarrollo de videojuegos especializados para el tratamiento de la visión [23, 28, 29, 47] y el análisis del impacto de los videojuegos en la rehabilitación [20, 23, 24, 31, 46, 48].

En resumen, se identifica que los videojuegos han impactado en la mejoría de todas las funciones visuales. Las tecnologías más exitosas son las relacionadas con la visión estereoscópica destacándose la técnica ojo vago (Lazy Eyes) para el tratamiento de la ambliopía. El tipo de videojuego de mayor alcance e impacto lo constituye el de tiradores en primera persona-First Person Shooters (FPS) o acción en primera persona como también se le conoce [49]. El FPS se ha combinado con la técnica ojo vago para la creación de un tipo de terapia en función de la ambliopía [23]. Sin embargo, a pesar de este desarrollo, no se han identificado videojuegos FPS que personalicen en tiempo real los ejercicios teniendo en cuenta el rendimiento del paciente.

### 1.3. Generación procedural de contenido en videojuegos. Principales características

La generación procedural de contenido (GPC) ha sido explotada desde el surgimiento de la industria de los videojuegos en los años ochenta. Sus ventajas fundamentales se vinculan con la reducción de los tiempos de desarrollo y la potencialidad de satisfacer cada vez más la incesante curiosidad del jugador o su falta de habilidad [50, 51].

La clasificación de la GPC se ha orientado por diferentes enfoques [50, 52, 53, 54, 55]. Las propuestas más acertadas atendiendo a su uso en la bibliografía consultada son: según el espacio temporal de generación, atendiendo al nivel de intervención del desarrollador o jugador y según el tipo de contenido. Esta última resulta la más completa ya que, va a la esencia del problema de clasificación (el contenido). En la Figura 1.1 se muestran las principales clasificaciones. La diversidad de técnicas para la GPC en juegos ha llevado a que no exista un modelo general que soporte la amplia gama de los métodos existentes [52, 56]. El desarrollo de un modelo general GPC permitiría avanzar de forma ordenada a niveles superiores de la pirámide GPC. La propuesta de solución trabaja esta idea. El enfoque de generación propuesto se centra en un esquema general de GPC para la generación procedural en tiempo real sobre una base multitécnica. En el próximo epígrafe se expone el análisis de los referentes teóricos sobre los cuales se desarrolla la propuesta de GPC.

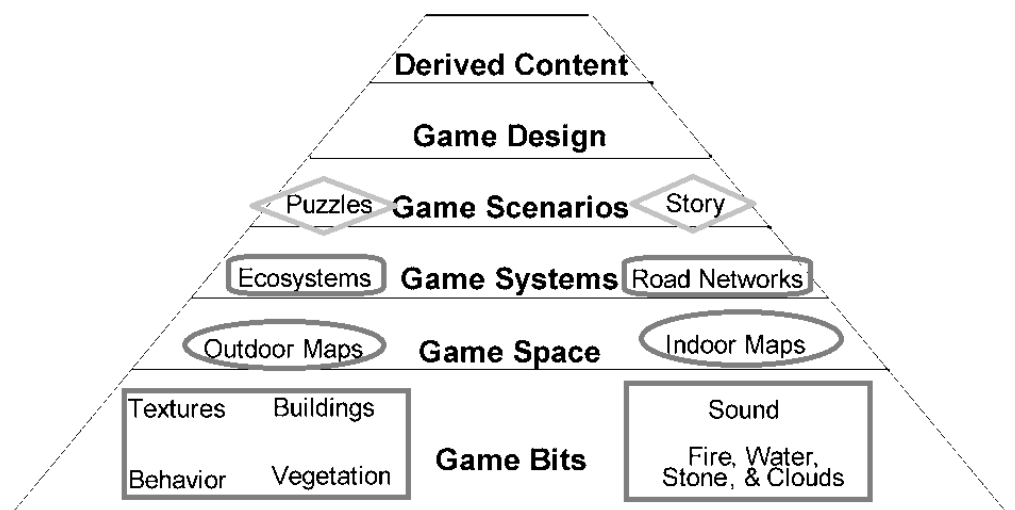


Figura 1.1: Pirámide GPC. Fuente: [52].

### 1.3.1. Generación procedural en tiempo real

La generación procedural en tiempo real necesita cumplir con el principio de visualización en tiempo real, por lo tanto, toda técnica o algoritmo debe tener en cuenta el factor eficiencia, asociado en muchos casos, a la reutilización de los contenidos (optimización de los recursos de memoria) y complejidad temporal (optimización de los recursos de procesamiento). La variedad de formas de la generación ha impuesto diferentes tipos de esquemas; un subconjunto nada despreciable se enfoca en tiempo real [52, 53].

En el ámbito de los videojuegos auto-adaptativos resulta importante la generación procedural en tiempo real de las partes que conforman el entorno del juego y el entorno en sí. Según la pirámide GPC se está en un 2do o 3er nivel de generación, construcción de espacios y sistemas del juego respectivamente. El espacio del juego se centra en la construcción de un volumen o área partiendo de contenidos bases como el terreno, calles, árboles, edificios y sonidos. Por otra parte el nivel sistemas del juego se encarga de darle vida a ese espacio desde la incorporación de contenidos dinámicos y vinculación semántica de todos los contenidos para recrear un entorno complejo como una ciudad o un área de oficinas. Para una mejor comprensión de esta última clasificación en el resto del trabajo se abordará como generación procedural de contenido entorno (GPCE).

En un análisis de resúmenes recientes y otros trabajos identificados se ha comprobado un crecimiento cada vez mayor de la GPCE en tiempo real [51, 52, 53, 57, 58, 59, 60]. Como una generalidad de estos sistemas se encuentra la creación de contenidos en las proximidades del jugador (cámara o avatar<sup>2</sup>). Para ello, el sistema presta gran atención a la posición y orientación del jugador durante su desplazamiento por el entorno. Así se garantiza una visualización en tiempo real al aplicar un enfoque de construir-destruir o reutilizar contenidos. Los sistemas de generación procedural en tiempo real aplican en primer lugar, algoritmos de subdivisión espacial con vista a garantizar un orden en cuanto a la diversidad de contenidos de entradas a construir y posicionar o posicionar solamente. Las dimensiones de un entorno y la relación de sus partes influyen no solo en la forma de generar contenidos sino en la manera eficiente en que este proceso se realiza.

Los algoritmos de subdivisión espacial empleados en la GPC pueden basarse en sistema de losas (Tiles System) [62], sistema de capas (Layers System) [63], rejillas, diagramas

---

<sup>2</sup>En ambientes virtuales multiusuarios de internet y en juegos, el avatar es la representación gráfica del usuario [61]



de Voronoy y fractales según el resumen más reciente [52]. Los sistemas de losas y capas son aplicados con relativa frecuencia en la GPCE complementadas con rejillas, diagramas de Voronoy y fractales [53]. Ambas técnicas presentan iguales ventajas en cuanto a la organización espacial y semántica de los contenidos; su vinculación es una acertada opción a la hora de generar un entorno [63]. Al valorar el estudio realizado, las técnicas sistema de losas y capas pueden apoyar la búsqueda de un modelo general para la GPCE, pues permiten organizar el espacio potencial de generación.

En la rehabilitación la GPCE debe tener un enfoque multitécnica que garantice diversidad de entornos de juegos así como la generación de entornos infinitos (el tiempo define el fin del juego y no el número de objetivos cumplidos). Por otra parte, ajustar los contenidos teniendo en cuenta el nivel de afectación del jugador-paciente es fundamental. Esta característica define el grado de influencia del jugador sobre la GPC. El ajuste de los contenidos partiendo de las habilidades o motivaciones del jugador aporta otra mirada a la conceptualización de la GPC.

La generación procedural e inteligente de contenido (GPIC) se define como “la creación algorítmica de contenidos de juego con limitada e indirecta influencia del usuario” [54]. Las técnicas evolutivas basadas en algoritmos genéticos y las redes neuronales han sido aplicadas en la generación procedural de texturas [62], árboles [64, 65], entornos de interiores y exteriores [66] así como en la generación de lógicas de juegos que se retroalimentan de las mejoras en el rendimiento [67], ejemplo la versión auto-adaptativa del clásico juego PAC-MAN [68]. El nivel de generalización de estas técnicas es importante dado a sus significativos resultados [69, 70, 71].

Por otra parte el enfoque de agente inteligente<sup>3</sup> se aplica como base para la modelación de sistemas complejos. Pueden encontrarse agentes especializados en la construcción de diferentes tipos de entornos: líneas de costas, mares, montañas [73, 74] o sistemas urbanos como los expuestos en [75], en este último los agentes colaboran en la creación del terreno y calles de una ciudad. En la medida que los sistemas aumentan en complejidad se aplica el enfoque de sistema multiagente. Por lo general cuando se trabaja con agentes en la GPCE se asocia con las técnicas de subdivisión espacial; aspecto importante para organizar la información de la cual se nutrirán los agentes. El enfoque agente constituyó uno de los principales elementos a considerar en la propuesta de solución.

---

<sup>3</sup>Entidad que percibe, razona y actúa sobre un entorno [72]

## **1.4. Videojuegos auto-adaptativos en los procesos de rehabilitación**

A pesar de la gran actividad en las investigaciones en el área de los videojuegos auto-adaptativos no existen muchos trabajos que apunten a modelos de auto-adaptabilidad [13, 69, 76, 77, 78, 79]. Esto se debe a que la variedad de videojuegos impone métodos diferentes de abordar el problema [11]. Específicamente, en lo referente al empleo de la GPC, los intentos son aislados resaltándola como un área de investigación activa y próspera [80]. Los elementos significativos a tomar en cuenta en este contexto son la experiencia de juego y el contenido del juego. Su interrelación, donde el jugador es el centro, han marcado la manera en que se conciben los intentos de crear modelos para videojuegos auto-adaptativos [76].

La auto-adaptabilidad es reconocida como una necesidad en los videojuegos para la rehabilitación [10, 81, 82]. La principal dificultad en estos es lograr un equilibrio entre el protocolo de tratamiento y el juego. Partiendo de resúmenes recientes el número de videojuegos que abordan algún nivel de adaptabilidad es reducido (ocho según apunta el resumen más actualizado) [7, 10]. En un análisis de estos resúmenes y otros referentes [7, 8, 9], se identificó un retraso importante en relación a los estudios de videojuegos auto-adaptativos. La GPC no ha sido asumida como un elemento significativo en los videojuegos para la rehabilitación.

Por otra parte, al analizar los elementos del diseño de videojuegos para la rehabilitación como el reto y manejo adecuado de los fallos [22], se identificó que se realiza un pobre trabajo sobre este último al centrar la atención en disminuir la complejidad del reto como principal mecanismo de retroalimentación. Este enfoque trae consigo estancamientos en los tratamientos y pérdida del control por parte del paciente, lo que atenta contra el éxito de la rehabilitación.

En la búsqueda de lo más reciente en el tema de videojuegos auto-adaptativos se encontraron varios resúmenes que apuntan como mejor alternativa la implementación de la teoría del Equilibrio [69, 76, 83]. Esta plantea la necesidad de mantener en equilibrio el reto y nivel de habilidad del jugador para lograr un mayor compromiso de este último con el juego y así alcanzar un estado psicológico de satisfacción llamado Entretenido.

Con un enfoque desde el diseño de juego Jenova Chen propone los modelos Ajuste Pasivo y Activo de la Zona del Equilibrio (ZE) [77]. El Ajuste Pasivo de la ZE (Ver Fig.1.2) es el

más complejo de implementar pero el más trabajado en los videojuegos auto-adaptativo [11, 69, 76, 77, 78, 79]. En las investigaciones anteriores no se identificó un modelo general que implemente el Ajuste Pasivo ZE, solo un acercamiento a los componentes que debería tener. Dentro de estos componentes resaltan por su importancia y complejidad el modelo del jugador [84], para predecir la posible experiencia de juego e influir en el motor de adaptación y generación para ajustar el entorno de juego [11]. Este motor es fundamental y tiene una estrecha relación con la GPC.

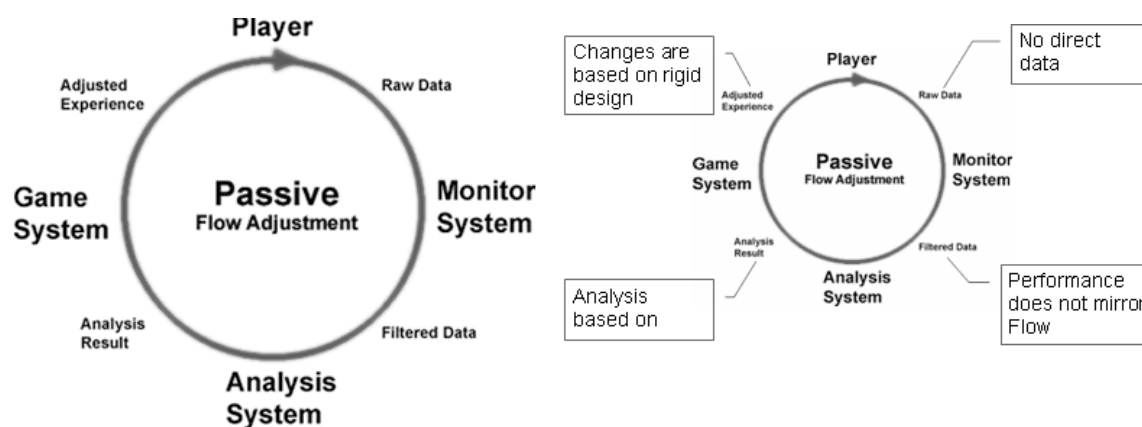


Figura 1.2: Modelo de Ajuste Pasivo de la ZE y principales problemas en la implementación. Fuente: [77].

## 1.5. La Zona de Desarrollo Próximo en la rehabilitación

Los trabajos analizados en la investigación sustentan su procesos de auto-adaptabilidad en la teoría del Equilibrio, pero sin proponérselo aplican, en alguna medida, la teoría de Vygotsky “Zona de Desarrollo Próximo o Potencial” (ZDP). Esta teoría tuvo su génesis en el trabajo con niños discapacitados y en esencia plantea que si un individuo tiene un nivel de desarrollo, el mismo puede llegar a un nivel superior al recibir ayuda [85].

El impacto de la ayuda se traduce en un nivel de desarrollo superior al que tenía el individuo en un inicio y menor del que alcanzó con la ayuda. A pesar de que existen trabajos en la rehabilitación que reconocen la teoría ZDP como un importante sustento para la rehabilitación [17], pocos han explotado sus potencialidades en videojuegos, de manera inconsciente [7, 8, 9, 30] o consciente [86]. Este último ejemplo respeta las bases de la teoría en el desarrollo de las habilidades visuales y espaciales en niños al ajustar de

forma dinámica los ejercicios. El empleo de la teoría ZDP en la rehabilitación se enfoca en la simulación de sistemas tutoriales que, de manera empírica (prueba y error), van acumulando información que permite a estos sistemas tutoriales ajustar los ejercicios al nivel de desarrollo del paciente. En el presente trabajo se aborda la aplicación de ZDP desde otra óptica unido con la teoría del Equilibrio.

## 1.6. Conclusiones del capítulo

- La agudeza visual puede medirse empleando diferentes pruebas, siendo el test LogMAR reconocido como estándar en la práctica clínica e investigación.
- El enfoque de videojuego FPS ha sido el más exitoso en el tratamiento de la visión.
- Los modelos de videojuegos auto-adaptativos (epígrafe 1.4) identificados son complementarios, responden a la visión de diseño y programación de videojuegos así como a la teoría del Equilibrio.
- Los aportes en el área de la rehabilitación de funciones motoras con videojuegos auto-adaptativos se centran en la modelación del jugador y en menor medida en la aplicación de la GPC.
- Con la actual potencialidad de la GPC resulta importante orientar la GPCE en la creación de entornos infinitos y variables como un mecanismo que refuerza la motivación en contextos normados de las terapias de rehabilitación.
- El éxito de la teoría ZDP en la rehabilitación con videojuegos constituye un enfoque a considerar partiendo de que el contexto de rehabilitación de la agudeza visual puede clasificarse como un proceso de aprendizaje.

## Modelo para la rehabilitación de la agudeza visual con videojuegos

En el capítulo se presenta el modelo de generación procedural de contenido en tiempo real para la rehabilitación de la agudeza visual con videojuegos. Para ello, se definen los principios, componentes y esquema funcional.

En el desarrollo del modelo se empleó como base la información asociada a los análisis de los referentes teóricos estudiados, las experiencias prácticas en la GPC recogidas en [87, 88] y los resultados del proyecto de investigación de la Universidad de las Ciencias Informáticas y el Instituto Cubano de Oftalmología Ramón Pando Ferrer “Efectos de las terapias neurosensoriales en el manejo de la Ambliopía<sup>1</sup>”. En este proyecto se lograron identificar importantes variables que permitieron la medición de la habilidad óculo-manual desde la interacción hombre-videojuego para la rehabilitación de la agudeza visual [35, 89]. Además, constituyó el marco de aplicación de diferentes aproximaciones del modelo que fueron evaluadas con el videojuego Meteorix [90, 91].

### 2.1. Principios y premisas del modelo

El modelo da respuesta a la problemática desde la generación procedural en tiempo real, para ello responde a los siguientes principios:

1– **Generación de entornos infinitos 3D:** en las terapias de rehabilitación no es la extensión, ni el número de objetivos alcanzados los que definen el fin de una sesión de juego sino el tiempo (en el tratamiento de la visión se emplean 30 minutos). Además, la variedad en el rendimiento de los jugadores hacen insuficientes (en cuanto a extensión) los entornos predefinidos.

---

<sup>1</sup>Enfermedad de tipo funcional que se evidencia por una agudeza visual por debajo de lo normal (superior a cero si se mide con LogMAR) sin una causa biológica aparente [38]

2– **La generación de contenidos retos se ajustan al protocolo LogMAR:** los optotipos 3D se ajustan al mínimo reconocible y mínimo separable entre optotipos que propone el test LogMAR. Además el reto siempre varía en orden creciente de complejidad.

3– **El manejo de los fallos se realiza con la generación de contenidos ayudantes:** los ayudantes intervienen cuando uno o varios ruidos provocan la pérdida del reto. Estos actúan como supresores de ruidos en los retos siguientes permitiendo el manejo adecuado de los fallos.

4– **Ajuste dinámico de la dificultad:** en este principio se resume la capacidad del modelo para la toma de decisiones en el momento de la generación de contenidos. La generación personalizada de los retos y ayudantes resulta un enfoque novedoso de rehabilitación de la agudeza visual.

El principio número tres encierra un importante aporte teórico. Este se relaciona con los conceptos de ayudante y ruido en el proceso de rehabilitación de la visión.

Ruido en la rehabilitación de la visión por computadora es la perturbación o interferencia en el proceso de interacción hombre-computadora que dificulta la correcta identificación de los contenidos de la terapia, ya sea por la discapacidad del paciente o por particularidades de la terapia.

Ayudante en la rehabilitación de la visión por computadora es un contenido de tipo efecto gráfico que suprime uno o varios ruidos asociados a la discapacidad del paciente.

Los ayudantes se diseñan para contrarrestar los ruidos relacionados con el tamaño del contenido reto, movimiento de los contenidos, orientación espacial, color y contrastes. Estos ruidos alejan el entorno de juego del protocolo LogMAR.

## **2.2. Submodelo GPC para videojuegos**

La base fundamental a partir de la cual se desarrolló el modelo lo constituye el submodelo GPC. Este da respuesta al principio de generación de entornos infinitos 3D y para su modelación se recurrió al paradigma de agente inteligente combinado con las técnicas de subdivisión espacial sistemas de losas y capas (Ver Figura 2.1). Sus componentes principales se describen a continuación:

**Contenido:** por contenido se entiende todos aquellos efectos gráficos o geometrías que conforman un entorno virtual. Los contenidos pueden ser de ambientación o pertenecientes a la lógica del juego. Estos últimos, a pesar de pertenecer al cuarto y

quinto nivel de la pirámide GPC, son controlados por el generador para posicionarlos en el entorno.

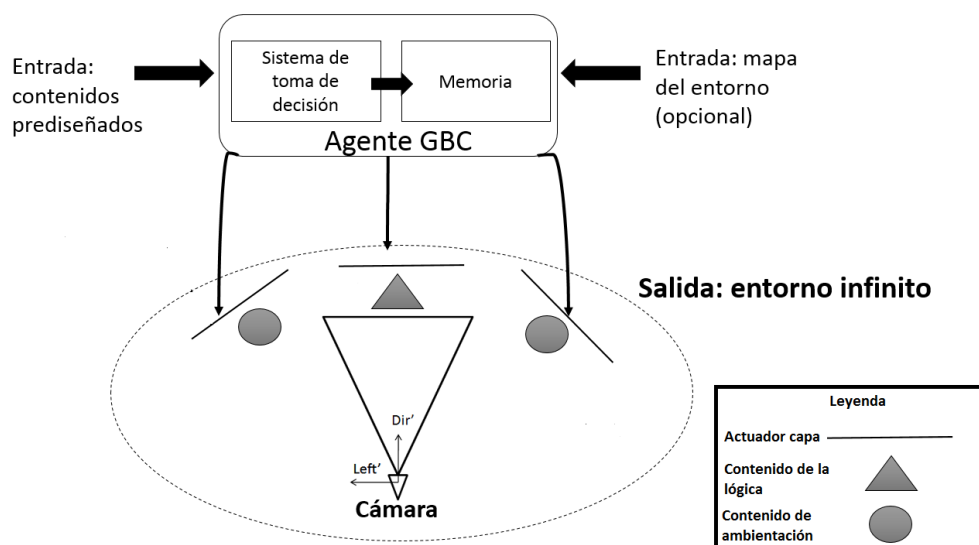


Figura 2.1: : Submodelo Generador Basado en Capas. Fuente: elaboración propia.

**Cámara:** representa al usuario en el sistema y es un punto esencial para la generación procedural en tiempo real.

**Actuador capa:** componente encargado de efectuar el proceso de generación de contenidos partes (Game Bits) o espacios (Game Space) dentro de un área o volumen delimitado por una topología<sup>2</sup>. Este componente responde a la unidad básica de los sistemas de subdivisión basados en losas o capas. Para cumplir con su función puede aplicar diferentes técnicas de generación acorde a los primeros dos niveles de la pirámide GPC (epígrafe 1.3).

**Sistema de toma de decisión:** ejecuta el conjunto de reglas que definen la estrategia de generación del entorno, apoyándose en la información almacenada en la memoria y el seguimiento al usuario (posición y orientación de la cámara).

**Memoria:** este componente constituye un elemento utilizado por los agentes inteligentes para la toma de decisiones [92]. En este contexto le provee al generador un espacio de almacenamiento de información que se borra cada cierto período de tiempo. En ella se almacenan los contenidos significativos como los elementos de la lógica de un videojuego

<sup>2</sup>Forma geométrica de una capa o losa que delimita el espacio que controla esta. Puede ser 2D (Punto, Rectángulo, Circunferencia, Triángulo) o 3D (Cubo, Esfera).

lo que permite establecer una coherencia estructural en los entornos generados. El sistema de capas o losas ayuda a la organización y acceso a la información.

La concepción del submodelo Generador Basado en Capas (GBC) constituye un aporte teórico relevante ya que el mismo responde a un esquema general para la GPCE que formaliza la generación multitécnica hasta el tercer nivel de la pirámide GPC. Al aplicarlo se logró la generación procedural en tiempo real de entornos espaciales, paisajes y terrenos [87, 88].

### **2.3. Modelo terapeuta virtual ADD-Ayuda**

El modelo, objetivo de este trabajo, se obtuvo a partir de la extensión del submodelo GBC siguiendo los fundamentos del modelo de Ajuste Pasivo de la ZE. Este se presenta en la Figura 2.2 y fue la consecuencia de ajustes, tanto en estructura como en funcionamiento del submodelo GBC. Las principales variaciones fueron:

- Especialización de los tipos de contenidos terapéuticos a generar, los cuales son ajustados de manera progresiva al protocolo LogMAR partiendo del diseño de optotipos 3D y ayudantes automáticos.
- Configuración de un actuador capa para que se oriente siempre respecto a la cámara con el objetivo de generar contenidos terapéuticos en posiciones potencialmente visibles y a una profundidad variable, según el nivel de tratamiento especificado por el sistema de toma de decisión.
- Expansión del sistema de toma de decisión que define el entorno y sistema de juego. Para ello ajusta de forma dinámica los retos y realiza un manejo adecuado de los fallos con los ayudantes partiendo de los resultados de la interacción del entorno de juego con el paciente. Al incorporar estos elementos se alcanza un modelo de generación de cuarto nivel según la pirámide GPC.

Al igual que el modelo Ajuste Pasivo ZE, el terapeuta virtual realiza un proceso que ajusta de forma dinámica el entorno de juego al nivel de habilidad del jugador, lo cual influye en el rendimiento de este último. El modelo ADD-Ayuda activa toda su estructura para la ejecución del proceso ADD como muestra la Figura 2.3.

El proceso ADD comienza con la creación del reto que aumenta en complejidad a partir del protocolo LogMAR. Luego recurre al proceso GPC que se relaciona con el conjunto de actuadores capas donde existe uno especializado en contenidos terapéuticos



## CAPÍTULO 2. MODELO PARA LA REHABILITACIÓN DE LA AGUDEZA VISUAL CON VIDEOJUEGOS

que posiciona el reto en el entorno. Por último se monitorea al paciente para identificar si hubo un acierto o fallo, esto ante todo pasa a la memoria del agente para luego, según sea el resultado de la inferencia, continuar aumentando el nivel de dificultad o proceder a la activación de un ayudante. El proceso es cíclico y termina cuando se alcanzan los 30 minutos de tratamiento.

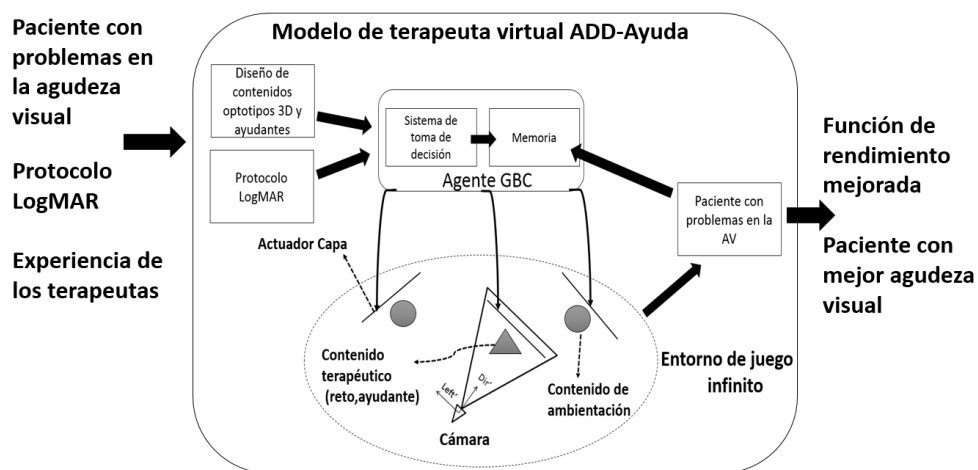


Figura 2.2: Extensión del submodelo GBC al modelo ADD-Ayuda. Fuente: elaboración propia.

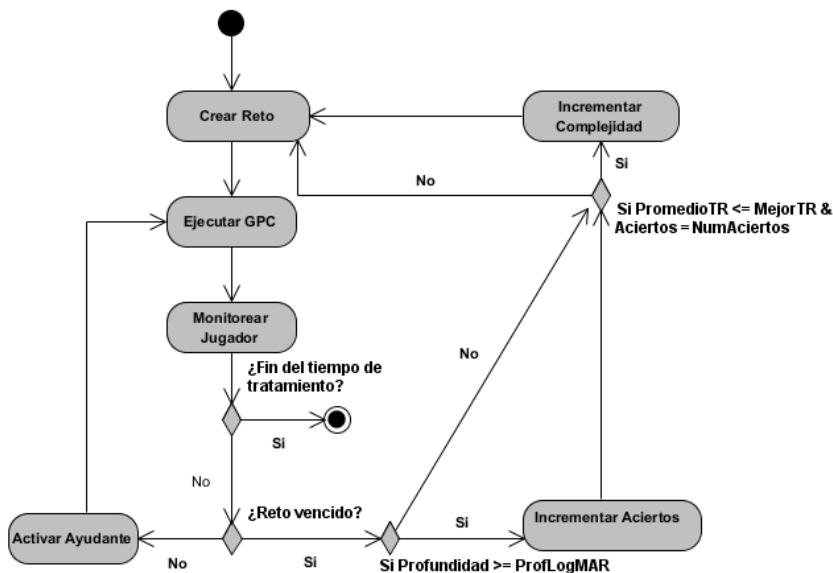


Figura 2.3: Proceso general del terapeuta virtual ADD-Ayuda. Fuente: elaboración propia.

Un aspecto importante en la creación de los retos es la condición para decidir el aumento de la complejidad, para ello debe existir un número de aciertos (*NumAciertos*) con una *Profundidad* mayor o igual que la profundidad relacionada con el nivel de complejidad del test LogMAR (*ProfLogMAR*), y fueron resueltos en un tiempo de reacción (*PromedioTR*) menor o igual al mejor *TR* de la sesión. Otro aspecto fundamental es el tipo de ayudante a utilizar, en esto el modelo permite que sean aplicados de forma aleatoria y ordenados siguiendo el criterio de especialistas o por ordenamiento automático. Esta última opción se soporta en tres heurísticas basadas en la fórmula de Bayes y probabilidad total (heurísticas 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3). Las heurísticas constituyen un aporte teórico pues permiten cuantificar el nivel de influencia de un ayudante en el proceso de rehabilitación de la agudeza visual.

La primera heurística definida para medir el nivel de influencia de un ayudante fue:

$$P(S|H_i) = \frac{P(H_i)P(H_i|S)}{\sum_{i=1}^m P(H_i)(P(H_i|S_i))} \quad (2.3.1)$$

( $\forall S \in \mathbb{N}, S \geq 7$ )

donde *S* es el conjunto de aciertos después de aplicado un ayudante; *H<sub>i</sub>* elemento perteneciente al conjunto de ayudantes.

Dada la naturaleza del fenómeno  $P(H_i) = \frac{1}{3}$  y  $P(H_i|S)$  responde a los datos estadísticos recolectados durante el proceso de interacción. Al tomar en consideración los casos donde no hay influencia ( $S = 0$ ) se obtiene una nueva heurística que denota la influencia acumulada ( $\epsilon_i$ ) por :

$$\epsilon_i = \frac{1}{m}(P(S|H_i) + P(C|H_i)) \quad (2.3.2)$$

( $\forall S \in \mathbb{N}, S \geq 7, C = 0$ )

donde *H<sub>i</sub>* es la hipótesis correspondiente al uso del ayudante que se analiza y *m*, el número de ayudantes.

Por otra parte al valorar las relaciones de las variables  $Profund_{Antes} < Profund_{Desp}$  y  $TR_{Antes} > TR_{Desp}$ , se puede aumentar la cantidad de información para lograr una mejor heurística y por ende una mejor inferencia (un segundo nivel). Este nivel de influencia se denota como  $\epsilon_{2do}$  y es el resultado de  $\frac{Profund_{Desp}}{Profund_{Antes}}$  ó  $\frac{TR_{Antes}}{TR_{Desp}}$ . Partiendo de esto la heurística resultante de toda la familia es :

$$\epsilon_i = \frac{1}{m}(\epsilon_{2do}P(S|H_i) + P(C|H_i)) \quad (2.3.3)$$

El proceso ADD, aporte teórico importante para la rehabilitación de la agudeza visual, define diferentes etapas que facilitan la articulación de las teorías del Equilibrio y ZDP a través de la GPC y siguiendo el protocolo LogMAR [90].

## 2.4. Conclusiones del capítulo

- El enfoque de agente inteligente combinado con las técnicas de subdivisión espacial sistema de losas y capas, propiciaron el desarrollo de un submodelo (GBC) generador de contenidos hasta el tercer nivel de la pirámide GPC, lo que aporta a la búsqueda de un modelo general para la GPC.
- El modelo ADD-Ayuda presenta una concepción novedosa de terapeuta virtual para la rehabilitación de la agudeza visual al integrar a través de la generación procedural de contenido las teorías Equilibrio y ZDP. Su alcance teórico evidencia un nivel de flexibilidad que permite extenderlo al tratamiento de otras funciones visuales.
- Las heurísticas desarrolladas apuntan a diferentes niveles de modelación matemática del fenómeno “influencia de un ayudante en la rehabilitación de la agudeza visual mediante la Interacción Hombre-Computadora (IHC)”. El hecho de medir la influencia a partir del número de aciertos luego de aplicado un ayudante y la habilidad óculo-manual permitió identificar la aplicación de las heurísticas en el tratamiento y estudio de otras discapacidades visuales, motoras y cognitivas.

## Aplicación y validación de los resultados

La herramienta creada para la validación del modelo fue el videojuego Meteorix. El mismo tiene como base principal el terapeuta virtual ADD-Ayuda el cual controla los contenidos de la terapia y ambientales, en este caso meteoritos de diferentes colores (rojo, verde, azul, amarillo, violeta y gris) y los ayudantes (Piloto Automático- $H_1$ , Relentizar Tiempo- $H_2$ , Radar- $H_3$ ). Meteorix constituye un aporte práctico relevante; hasta la fecha no se han identificado videojuegos FPS auto-adaptativos para el tratamiento de la agudeza visual [35, 90].

La validación del modelo se desarrolló en tres momentos: estudio de casos, estudio muestral con 14 niños y estudio focal con especialistas en oftalmología y rehabilitación para contrastar los resultados obtenidos. Los niños fueron diagnosticados con ambliopía y sus edades estaban comprendidas entre los cinco y siete años.

### 3.1. Estudio de casos con niños ambliopes

El estudio de casos se organizó con el objetivo de analizar el impacto del modelo sobre la agudeza visual y el rendimiento del paciente. La mejoría de la agudeza visual luego de diez sesiones de juego estuvo dada por la mejoría en uno o dos niveles. En el análisis del rendimiento de cada niño en las sesiones [1,3], [4,6] y [7,9] se detectó una influencia importante en la *Profundidad* y número de aciertos luego de aplicado un ayudante como ilustran las Figuras 3.1 y 3.2.

La capacidad de personalización del modelo quedó demostrada en los conjuntos de sesiones de tratamiento donde se aplicaron los ayudantes en diferentes momentos, y de forma gradual se complejizó el reto en búsqueda de una mayor *Profundidad* a medida que se vencían los retos (tareas). Partiendo de estos resultados se logró identificar las potencialidades del modelo ADD-Ayuda para la rehabilitación de la agudeza visual y su favorable trabajo sobre el rendimiento.

### CAPÍTULO 3. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

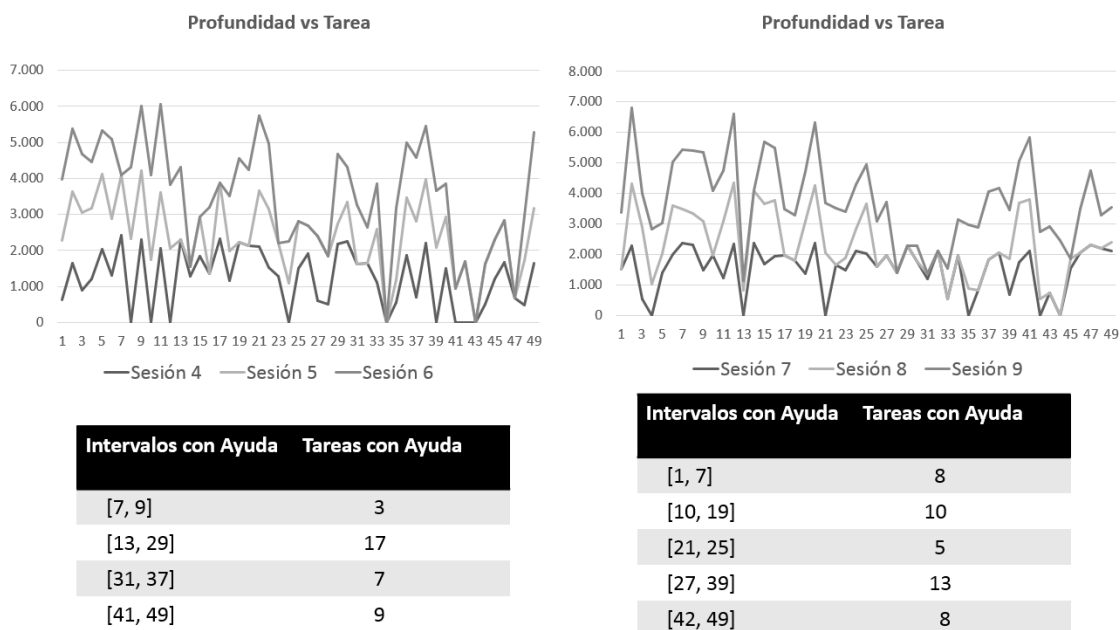


Figura 3.1: Rendimiento de un niño de cinco años en cada tarea (reto) y aplicación de los ayudantes por intervalos.

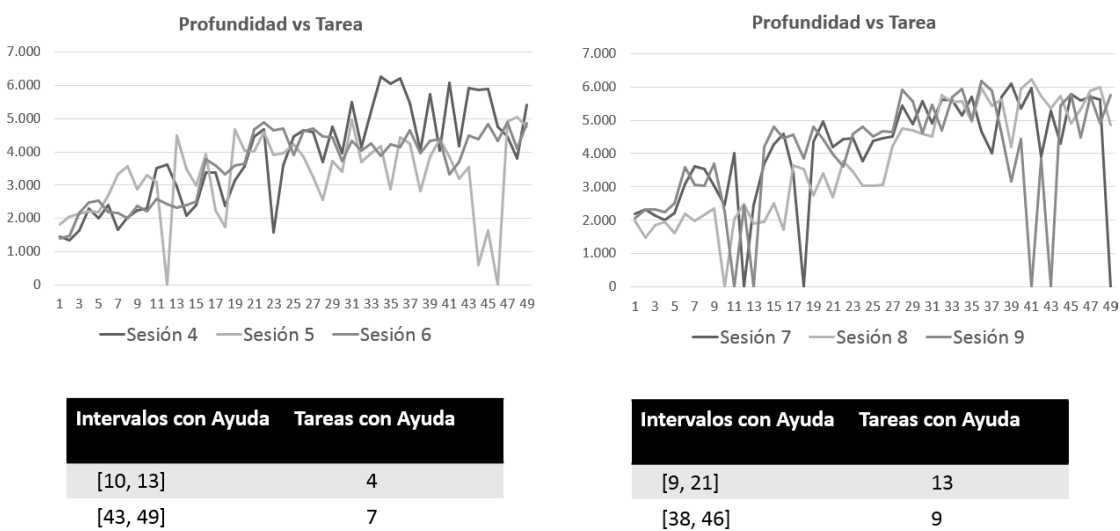


Figura 3.2: Rendimiento de un niño de seis años en cada tarea (reto) y aplicación de los ayudantes por intervalos.

## 3.2. Validación de la hipótesis

Para la validación de la hipótesis se realizó un cuasiexperimento. Se seleccionó una muestra de 14 niños como grupo experimental y otros siete como grupo control con vista a comparar la efectividad del modelo en la rehabilitación de la agudeza visual. La agudeza visual mejoró de dos a tres niveles entre las sesiones [20,24] en el grupo experimental. En comparación con el grupo de control la diferencia fue significativa ( $p = 0,007$ ), ya que mejoraron uno o dos niveles.

En cuanto a la contribución de la mejora del rendimiento se recopilaron las primeras 60 tareas de las 12 primeras sesiones para cada niño (10 080 tareas). Se organizó el análisis de forma grupal (por edad y nivel inicial de agudeza visual) para explorar las tendencias del rendimiento respecto a la condición de control <sup>1</sup> y la significación estadística al comparar diferentes momentos en las sesiones (tarea 20, 40, 60). El análisis estadístico se realizó sobre el grupo de edades ya que, atendiendo al nivel de agudeza visual inicial no había un número adecuado de individuos para la valoración (siete en total).

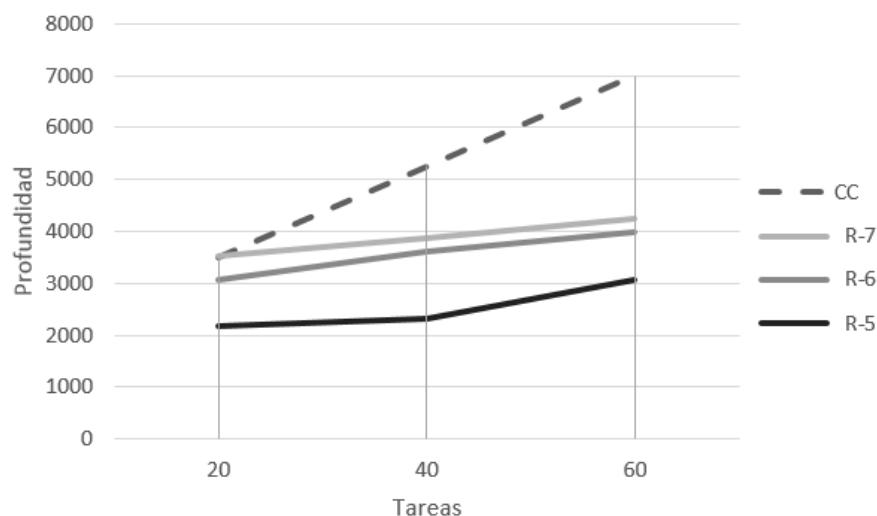


Figura 3.3: Aproximación del rendimiento (R) a la condición de control (CC) en diferentes edades.

Las tendencias estuvieron a favor del acercamiento a la condición de control tanto por edades (Ver Figura 3.3) como por el nivel inicial de agudeza visual. En el análisis por

<sup>1</sup>Refleja las variaciones en la *Profundidad* de las tareas como una forma de ajustarse al mínimo reconocible propuesto por el test LogMAR.

edades se observó además que a mayor edad mayor nivel de aproximación. Este resultado es coherente con las edades del desarrollo visual, ya que la vías visuales tienen mayor nivel a mayor edad (el proceso termina entre los siete y diez años) [38].

Por otra parte, el análisis estadístico arrojó diferencias significativas en las edades de seis y siete años ( $p < 0.05$ ) como se aprecia en la Tabla 3.1. Los resultados obtenidos evidencian que a partir de la muestra estudiada el modelo mejoró significativamente el rendimiento en los grupos de seis y siete años, no siendo así en el grupo de cinco años. No obstante, las tendencias observadas con respecto al grupo de cinco años muestran una mejora en el rendimiento resaltada en el intervalo (40,60). Estos resultados evidenciaron la capacidad de personalización del modelo atendiendo a la edad.

Tabla 3.1: Diferencia entre medias según el test T para muestras pareadas, en las edades de cinco, seis y siete años respectivamente.

<b>Par</b>	<b>Dif. Medias</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Nivel de significación</b>
(20,40)	147.6	1.272	0.210
(40,60)	740.3	1.117	0.156
(20,40)	558.7	4.366	0.001
(40,60)	377.2	2.989	0.004
(20,40)	328.8	1.319	0.193
(40,60)	391.3	3.879	0.001

### **3.3. Influencia de los ayudantes en el proceso de rehabilitación**

Uno de los aportes más importantes de este trabajo es la cuantificación de la influencia ( $\epsilon_i$ ) de los ayudantes ( $H_i$ ). Los niveles de aproximación a la condición de control LogMAR dependieron en gran medida de la influencia de los ayudantes. Varias de las restricciones y bases de las heurísticas planteadas para medir la influencia fueron resultado de observaciones realizadas en el estudio de casos, y de los análisis estadísticos a los datos obtenidos en el cuasiexperimento diseñado. El número de aciertos sucesivos luego de aplicado un ayudante ( $S$ ) constituyó la base para la comparación entre ayudantes devolviendo diferencias significativas entre los pares  $(H_2, H_1) - p = 0,001$  y  $(H_3, H_1) -$

$p = 0,001$ , no siendo así para el caso de  $(H_3, H_2)$  que tuvieron igual nivel de influencia ( $p = 0,805$ ).

La influencia de los ayudantes se pudo contrastar además por las diferencias obtenidas en las variables *Profundidad* y tiempo de reacción (*TR*) antes y después de aplicado una ayudante. Los resultados mostraron una diferencia significativa en los pares  $(Profund_{Antes}, Profund_{Desp})-p = 0,001$  y  $(TR_{Antes}, TR_{Desp})-p = 0,05$ . Con estos resultados se validó el impacto de los ayudantes en el rendimiento y se evidenció la pertinencia de las variables *Profundidad* y *TR* como estimadores de la influencia en un segundo nivel ( $\epsilon_{2do}$ ).

Las heurísticas fueron valoradas en comparación con la prueba clásica Wilcoxon para muestras relacionadas a partir de los datos de tres niños de cinco años, con el objetivo de analizar la similitud de los resultados para la inferencia. Al comparar los dos métodos con  $n = 30$ , se evidenció que las heurísticas permiten inferir cuál es el orden de los ayudantes según su influencia mientras que el método Wilcoxon no ( $(H_2, H_1)-p = 0,572$ ,  $(H_3, H_1)-p = 0,677$  y  $(H_3, H_2)-p = 0,441$ ). Por otra parte, con  $n = 180$  las heurísticas posibilitaron igual nivel de inferencia que Wilcoxon.

### **3.4. Estudio focal con especialistas en oftalmología y rehabilitación**

El grupo focal es una técnica cualitativa y se basa en la recolección de opiniones detalladas y conocimientos acerca de un tema en particular para identificar y valorar aspectos relevantes de una temática [93]. Con el objetivo de analizar elementos teóricos y prácticos del modelo relacionados con las especialidades de oftalmología y rehabilitación se decidió aplicar esta técnica. Las temáticas analizadas fueron las siguientes:

1. Acercamiento del entorno de juego al protocolo de medición LogMAR.
2. Nivel de personalización del tratamiento.
3. Valoración de la calidad de las muestras para el grupo experimental y de control.
4. Relevancia de los resultados estadísticos asociados a la mejoría de la agudeza visual.



5. Impacto del videojuego Meteorix en la calidad de vida de los niños.

En resumen, el grupo focal valoró de positivo todas las temáticas pero recomendó trabajar en un estudio con una muestra mayor, con el fin de llegar a resultados más generalizables en cuanto a la rehabilitación de la agudeza visual en pacientes ambliopes. También propusieron explorar con el videojuego el tratamiento de otros padecimientos relacionados con la baja visión.

### 3.5. Conclusiones del capítulo

- La capacidad auto-adaptativa del modelo propuesto se evidencia al aproximar coherentemente el rendimiento de los pacientes a la condición de control del test LogMAR.
- El modelo contribuyó a la mejora del rendimiento de los pacientes en un análisis grupal por edades y niveles de visión.
- Las variables *Profundidad* y *TR*, guías en el proceso ADD del modelo, resultaron efectivas en la rehabilitación de la agudeza visual con niños ambliopes.
- Los ayudantes tienen una influencia positiva en la mejora del rendimiento de los pacientes, se evidencia en el número de aciertos sucesivos luego de aplicado un ayudante ( $S$ ). Este indicador tiene una naturaleza variable y permitió identificar en el cuasiexperimento que el ayudante  $H_3$  y  $H_2$  tienen iguales niveles de influencia (con una mediana sobre los 7 aciertos) y mejor influencia que el ayudante  $H_1$  ( $p = 0,001$ ).
- La influencia de los ayudantes para el tratamiento de la agudeza visual ( $\epsilon_i$ ) puede medirse de diferentes formas al emplear las heurísticas propuestas por el modelo. La heurística 2.3.3 es la que mejor describe el fenómeno pero no brinda mucha información para la inferencia al compararse con la heurística 2.3.2.
- Con la validación del modelo se reafirma la capacidad del enfoque de juego FPS como acertado para la rehabilitación de la visión.

# Conclusiones

Como resultado del trabajo desarrollado en la presente investigación se concluye lo siguiente:

1. La generación procedural de contenido en tiempo real es un eslabón importante e imprescindible en la creación de videojuegos auto-adaptativos. Su aplicación en la rehabilitación ha sido poco frecuente y el modelo obtenido demuestra su potencial en la rehabilitación de la agudeza visual.
2. El submodelo GBC es un resultado con una alta flexibilidad para ser expandido en la búsqueda de un modelo general GPC.
3. La aplicación de las teorías Equilibrio y ZDP en el terapeuta virtual ADD-Ayuda permitió comprobar la efectividad de su combinación en la rehabilitación de la agudeza visual, y abre un nuevo camino para la rehabilitación mediante videojuegos auto-adaptativos.
4. La influencia de un ayudante en el contexto de rehabilitación de la agudeza visual es un fenómeno complejo por el comportamiento de su principal variable, los aciertos sucesivos luego de aplicado un ayudante ( $S$ ). No obstante, la influencia puede cuantificarse con las heurísticas desarrolladas.
5. La validación del modelo de terapeuta virtual ADD-Ayuda, demostró su capacidad de personalización en el tratamiento de la agudeza visual y la mejora del rendimiento según la condición de control del test LogMAR, en niños ambliopes.

# Recomendaciones

El modelo ADD-Ayuda integra un número de aportes que marcan el camino de otras investigaciones, las cuales pueden elevar su aplicabilidad y extensión a otras áreas de la rehabilitación. Como principales recomendaciones del trabajo se presentan:

1. Desarrollar una técnica de generación procedural capaz de crear variantes de optotipos 3D, siguiendo las características geométricas del test LogMAR y ajustándose a la resolución y tamaño del plano de proyección.
2. Expandir el submodelo GBC en la búsqueda de un modelo general para la GPC.
3. Analizar la capacidad de inferencia de las heurísticas propuestas en otros contextos como el tratamiento del campo visual, extremidades superiores y la memoria.
4. Adaptar el modelo ADD-Ayuda para la rehabilitación de otras funciones visuales, motoras o cognitivas.
5. Atender las recomendaciones brindadas por los especialistas en oftalmología y rehabilitación del grupo focal.

# Producción científica del autor

Durante la investigación se realizaron las siguientes publicaciones y presentaciones en eventos:

## Memorias en eventos referenciados

- Correa, O. Cuervo, C. Martinto, P. Arias, A., (2014): “*A new approach for self adaptive video game for rehabilitation. Experiences in the Amblyopia’s treatment*”, Proceedings of the IEEE 3rd International Conference on Serious Games and Application for Health (SEGAH 2014), Río de Janeiro, Brasil.

**[Referenciada por: IEEE Explorer, Thomson Reuters Conference Proceedings Citation Index, DBLP Computer Science Bibliography, y Inspec.]**

- Martinto, P. Arias, A. Correa, O. (2011): “*Videojuego en el Tratamiento de la Discapacidad Visual Ambliopía, un Asunto de Alto Nivel de Integración Social y Apoyo al Proceso Docente Educativo*”, Memorias del V Congreso Latinomaericano de Ingeniería Biomédica (CLAIB 2011), La Habana, Cuba, pp. 920-923.

**[Referenciada por: ISI Proceedings (Thomson Reuters), SCOPUS, SCIMAGO, Google scholar]**

- Correa O. Gutiérrez, J. González A. (2010): “*Generador de entornos virtuales en tiempo real basado en capas*”, Memorias XIV Congreso Iberoamericano de Gráfica Digital (SIGraDi 2010), Bogotá, Colombia, pp. 316-319.

**[Referenciada por CumInCad]**

## Revistas referenciadas

- Arias, A. Bernal, R., Martinto, P. and Correa O. (2013): “*Medición de agudeza visual estereoscópica en una población infantil sana*”, Revista Mexicana de Oftalmología, Elsevier, 87(4), pp 215-219.

- Correa, O. Martinto, P. and Arias, A. (2015): “*Affective Video Game for the Treatment of Amblyopia in Young Children*”, Entertainment Computing, Elsevier, en proceso de revisión.
- Correa, O. Martinto, P. and Arias, A. (2015): “*Procedural Content Generation to Game4Health*”, Sylwan Journal, indexada en la JCR, en proceso de revisión.

## Otros eventos y publicaciones

- Correa, O (2014): “*Tendencias en el tratamiento de discapacidades motoras y visuales empleando videojuegos*”, Memorias NeuroReHabana2014, La Habana, Cuba.
- Correa, O, Martinto, C. Arias, A. (2013): “*Tecnologías Informáticas para la rehabilitación de la Ambliopía*”, Memorias VII Congreso Internacional de Oftalmología, La Habana, Cuba.
- Correa, O. Martinto, P. Arias, A. (2013): “*Los videojuegos pueden mejorar la visión*”, Revista Cubana de Computación GIGA, Vol 1, pp 42-44.
- Correa, O (2011): “*Generación de Entornos Virtuales en Tiempo Real para Videojuegos*”, Memorias XII Congreso Internacional de Tecnologías, Contenidos Multimedias y Realidad Virtual, Informática2011, La Habana, Cuba.
- Correa, O (2009): “*Generación de Entornos Virtuales en Tiempo Real, una Solución Eficiente y Ajustable para el Tratamiento de Fobias*”, Memorias XI Congreso Internacional de Tecnologías, Contenidos Multimedias y Realidad Virtual, Informática2009, La Habana, Cuba.



# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Nijholt y D. Traum, «The virtuality continuum revisited», en *CHI 2005 Workshop on the Virtuality Continuum Revisited*, Portland, OR, 2005.
- [2] B. Wiederhold y G. Riva, *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine: Advanced Technologies in the Behavioral, Social and Neurosciences*. Amsterdam, IOS PRESS, 2012.
- [3] ———, *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine: Advanced Technologies in the Behavioral, Social and Neurosciences*. Amsterdam, IOS PRESS, 2009.
- [4] G. Riva, C. Botella, P. Légeron y O. G., eds., *Cybertherapy. Internet and Virtual Reality as Assessment and Rehabilitation Tools for Clinical Psychology and Neuroscience*. Amsterdam, IOS PRESS, 2006.
- [5] M. Salehie y L. Tahvildar, «Self-adaptive software: Landscape and research challenges», *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS)*, vol. 4, n.º 2, 14:1-14:42, 2009.
- [6] C. Botella, R. Baños, A. García-Palacios, S. Quero, V. Guillén y H. Marco, «La utilización de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación en psicología clínica», *UOC Papers. Revista sobre la sociedad del conocimiento*, págs. 32-41, 2007.
- [7] M. Pirovano, R. Mainetti, G. Baud-Bovy, P. L. Lanzi y N. A. Borghese, «Self-adaptive games for rehabilitation at home», en *Computational Intelligence and Games (CIG), 2012 IEEE Conference on*, 2012, págs. 179-186.
- [8] N. Rossol, I. Cheng, W. F. Bischof y A. Basu, «A framework for adaptive training and games in virtual reality rehabilitation environments», en *Proceedings of the 10th International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry*, ép. VRCAI '11, New York, NY, USA: ACM, 2011, págs. 343-346.
- [9] D. Dimovska, P. Jarnfelt, S. Selvig y G. N. Yannakakis, «Towards procedural level generation for rehabilitation», en *Proceedings of the 2010 Workshop on Procedural Content Generation in Games*, ép. PCGames '10, New York, NY, USA, 2010, 7:1-7:4.

- [10] P. Rego, P. M. Moreira y L. P. Reis, «Serious games for rehabilitation: a survey and a classification towards a taxonomy», en *Information Systems and Technologies (CISTI), 2010 5th Iberian Conference on*, 2010, págs. 1-6.
- [11] R. Lopes y R. Bidarra, «Adaptivity challenges in games and simulations: A survey.», *IEEE Trans. Comput. Intellig. and AI in Games*, vol. 3, n.º 2, págs. 85-99, 2011.
- [12] M. Zyda, «From visual simulation to virtual reality to games», *Computer*, vol. 38, n.º 9, págs. 25-32, 2005.
- [13] R. Lara-Cabrera, C. Cotta y A. Fernandez-Leiva, «A complex network analysis of the research community in computer intelligence in games», Universidad de Málaga, España, inf. téc., 2012.
- [14] J. Togelius, E. Kastbjerg, D. Schedl y G. N. Yannakakis, «What is procedural content generation?: Mario on the borderline», en *Proceedings of the 2nd International Workshop on Procedural Content Generation in Games*, ép. PCGames11, Bordeaux, France: ACM, 2011, 3:1-3:6.
- [15] M. Csikszentmihalyi, *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. New York : Harper y Row, 1990.
- [16] P. H. Mussen, *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, MA Harvard University Press, 1978.
- [17] N. Aniket, D. Novak, P. Wolf y R. Riener, «The effect of different difficulty adaptation strategies on enjoyment and performance in a serious game for memory training», en *IEEE 3rd International Conference on Serious Games and Application for Health*, Río de Janeiro, Brasil, 2014.
- [18] M. S. Cameirão, S. B. B. Badia, E. D. D. Oller y P. F. Verschure, «Neurorehabilitation using the virtual reality based rehabilitation gaming system: Methodology, design, psychometrics, usability and validation.», *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, vol. 7, n.º 1, pág. 48, 2010.
- [19] R. Riener, «Multimodal immersive motion rehabilitation with interactive cognitive systems», ETH Zurich & University Hospital Balgrist, inf. téc., 2009.
- [20] I.-T. Chiang, J.-C. Tsai y S.-T. Chen, «Using xbox 360 kinect games on enhancing visual performance skills on institutionalized older adults with wheelchairs», *IEEE Computer Society*, 2012, págs. 263-267.



- [21] M. Johnson, X. Feng, L. Johnson y J. Winters, «Potential of a suite of robot-computer-assisted motivating systems for personalized, home-based, stroke rehabilitation», *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 4, n.º 1, 2007.
- [22] J. W. Burke, M. D. J. McNeill, D. Charles, P. J. Morrow, J. Crosbie y S. McDonough, «Augmented reality games for upper-limb stroke rehabilitation», en *Second International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications, VS-GAMES 2010, Braga, Portugal, March 25-26, 2010*, IEEE Computer Society, 2010, págs. 75-78.
- [23] J. Bayliss, I. Vedamurthy, D. Bavelier, M. Nahum y D. Levi, «Lazy eye shooter: A novel game therapy for visual recovery in adult amblyopia», en *Games Innovation Conference (IGIC), 2012 IEEE International*, 2012, págs. 1-4.
- [24] R. K. G. Somen Ghosh, «Amblyopia management in older age group-a ray of hope», en *69th AIOC Proceedings, Ahmedabad, Chania, Crete*, 2011.
- [25] F. Qiu, L. Wang, Y. Liu y LiYu, «Interactive binocular amblyopia treatment system with full-field vision based on virtual reality», en *International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, ICBBE 2007*, 2007, págs. 1257-1260.
- [26] P. Waddingham, T. Butler, S. Cobb, A. Moody, I. Comaish, S. Haworth, R. Gregson, I. Ash, S. Brown, R. Eastgate y G. Griffiths, «Preliminary results from the use of the novel interactive binocular treatment (i-bit) system, in the treatment of strabismic and anisometropic amblyopia.», *Eye (Lond)*, vol. 20, n.º 3, 2006.
- [27] I. Bogost, *How to Do Things With Videogames*, ép. Electronic mediations. University of Minnesota Press, 2011.
- [28] J. J. Rodríguez-Soler, J. Lillo-Jover, M. Vicente-Mosquete y C. Santos-Plaza, «Evo: Sistema informático de entrenamiento visual para personas deficientes visuales», “*INTEGRACIÓN*”, *Revista sobre ceguera y deficiencia visual*, vol. 36, págs. 5-16, 2001.
- [29] G. Del Rey-Amarillo, C. García, González y C. Sáenz-González, «Training for your eyes», Grupo de Visión y Color, Universidad de Alicante, inf. téc., 2007. dirección: <http://web.ua.es/es/gvc/documentos/trabajos-ergonomia-visual/eye-training.pdf>.

- [30] R. Li, U. Polat, W. Makous y D. Bavelier, «Enhancing the contrast sensitivity function through action video game training», *Nature Neuroscience*, vol. 12, n.º 5, págs. 549-551, 2009.
- [31] M. Al-Gabbani, G. Morgan y J. A. Eyre, «Positive relationship between duration of action video game play and visuospatial executive function in children», en *IEEE 3rd International Conference on Serious Games and Application for Health, Brazil*, 2014.
- [32] L. To, B. Thompson, J. Blum, G. Maehara, R. Hess y J. R. Cooperstock, «A game platform for treatment of amblyopia», *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2011.
- [33] C. C. Sennersten y C. A. Lindley, «An investigation of visual attention in fps computer gameplay», en *Conference in Games and Virtual Worlds for Serious Applications, Washington*, 2009.
- [34] S. Hernández-Boix y M. T. Corbella-Roqueta, «Experiencias de juego y trabajo tic con alumnos de atención temprana», *INTEGRACIÓN, Revista sobre ceguera y deficiencia visual*, vol. 58, 2011.
- [35] P. C. Pérez, A. Arias y O. Correa, «Videojuego en el tratamiento de la discapacidad visual ambliopía, un asunto de alto nivel de integración social y apoyo al proceso docente educativo», en Springer, 2013, págs. 920-923.
- [36] T. Leyva, Y. Vega-Carmente y X. Ortiz-Durañona, «Softwares educativos para el tratamiento de estimulación de la visión residual», en *Congreso Internacional Pedagog'ia 2007*, IEEE, 2007, págs. 179-186.
- [37] M. E. Fernández-González, M. Sánchez-Revilla, M. Sosa-Palomo, A. Concepción-Pérez y M. García Galí, «Método alternativo en el tratamiento de la ambliopía, trastornos de la visión binocular o ambos», *MEDISAN 2000*, vol. 4(1), págs. 27-32, 2000.
- [38] K. W. Wright, P. H. Spiegel, P. H. Spiegel y L. S. Thompson, *Handbook of Pediatric Strabismus and Amblyopia*. Springer, 2006.
- [39] A. B. García, *Optica y Optometría. Apuntes sobre rehabilitación visual*. Madrid-ONCE, 1994.
- [40] T. Norton, D. A. Corliss y J. E. Bailey, *The Psychophysical Measurement of Visual Function*. Butterworth Heinemann, 2002.

- [41] M. R. y V. G., *Manual de Optometría*. Editorial Médica Panamericana, 2011, págs. 3-21.
- [42] F. Ferris, A. Kassoff, B. Bresnick e I. Bailey, «New visual acuity charts for clinical research», *American Journal of Ophthalmology*, vol. 94, págs. 91-96, 1982.
- [43] A. J. Farkas, A. Hajnal, M. F. Shiratuddin y G. Szatmary, «A proposed treatment for visual field loss caused by traumatic brain injury using interactive visuotactile virtual environment», en *Innovations in Computing Sciences and Software Engineering*, Springer, 2010, págs. 495-498.
- [44] C. Lai y S.-W. Chang, «An image processing based visual compensation system for vision defects», *Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, International Conference on*, págs. 559-562, 2009.
- [45] A. Gargantini, M. Bana y F. Fabiani, «Using 3d for rebalancing the visual system of amblyopic children», en *International Workshop on Virtual Rehabilitation*, 2011.
- [46] R. Achtman, C. Green y D. Bavelier, «Video games as a tool to train visual skills.», *Restor Neurol Neurosci*, vol. 26, n.º 4-5, págs. 435-446, 2008.
- [47] E. K. W. Fritz Schmielau, «Recovery of visual fields in brain-lesioned patients by reaction perimetry treatment», *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 4, n.º 31, 2007.
- [48] R. W. Li, C. Ngo, J. Nguyen y D. M. Levi, «Video-game play induces plasticity in the visual system of adults with amblyopia», *PLoS Biol*, vol. 9, n.º 8, 2011.
- [49] J. D. i Gavaldá y H. T. Navarro, *Introducción a los videojuegos*. Universidad Abierta de Cataluña, España, 2007.
- [50] J. Togelius, G. N. Yannakakis, K. O. Stanley y C. Browne, «Search-based procedural content generation: A taxonomy and survey», *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, vol. 3, n.º 3, págs. 172-186, 2011.
- [51] E. Hahn, P. Bose y A. Whitehead, «Persistent realtime building interior generation», en *Sandbox '06: Proceedings of the 2006 ACM SIGGRAPH symposium on Videogames*, 2006, págs. 179-186.
- [52] M. Hendriks, S. Meijer, J. Van Der Velden y A. Iosup, «Procedural content generation for games: A survey», *ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl.*, vol. 9, n.º 1, 1:1-1:22, 2013.

- [53] D. M. D. Carli, F. Bevilacqua, C. T. Pozzer y M. C. d'Ornellas, «A survey of procedural content generation techniques suitable to game development», en *2010 Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment*, 2010, págs. 26-35.
- [54] G. N. Yannakakis y J. Togelius, «Experience-driven procedural content generation», *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 2, n.º 3, págs. 147-161, 2011.
- [55] D. Adams y M. Mendler, *Automatic generation of dungeons for computer games*. B.Sc. thesis, University of Sheffield, UK, 2002. dirección: <http://www.dcs.shef.ac.uk/intranet/teaching/projects/archive/ug2002/pdf/u9da.pdf>.
- [56] J. Togelius, A. J. Champanard, P. L. Lanzi, M. Mateas, A. Paiva, M. Preuss, K. O. Stanley, S. M. Lucas, M. Mateas y M. Preuss, «Procedural content generation: Goals, challenges and actionable steps», *Artificial and Computational Intelligence in Games*, vol. 6, págs. 61-75, 2013.
- [57] J. Noghani, F. Liarokapis y E. Anderson, «Randomly generated 3d environments for serious games», en *Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES), 2010 Second International Conference on*, 2010, págs. 3-10.
- [58] B. Worlds, *Decensor engine*, <http://www.binaryworlds.com/products.html>, 2003.
- [59] S. Greuter y N. Stewart, «Beyond the horizon.computer generated, three-dimensional, infinite virtual worlds without repetition in real-time», in *Image Text y Sound Conference 2004*, RMIT University, 2004.
- [60] F. Nocke y B. Christian-A, «Scaper.real-time generation of infinite environment», Tesis de lic., Fachhochschule Wedel, University of Applied Sciences, 2005.
- [61] C. University, *Cambridge dictionaries online*, 2015. dirección: <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/british/avatar>.
- [62] A. Lagae, C. S. Kaplan, C.-W. Fu, V. Ostromoukhov y O. Deussen, «Tile-based methods for interactive applications», en *ACM SIGGRAPH 2008 classes*, ép. SIGGRAPH '08, 2008, 93:1-93:267.
- [63] R. M. Smelik, T. Tuteneel, K. J. de Kraker y R. Bidarra, «A proposal for a procedural terrain modelling framework», en *Proceedings of the 14th Eurographics Symposium on Virtual Environments EGVE08*, 2008, págs. 39-42.

- [64] C. Reynolds, «Using interactive evolution to discover camouflage patterns», en *ACM SIGGRAPH*, Los Angeles, California: ACM, 2010.
- [65] A. Re, F. Abad, E. Camahort y M. C. Juan, «Tools for procedural generation of plants in virtual scenes», en *Proceedings of the 9th International Conference on Computational Science*, ép. ICCS 2009, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009, págs. 801-810.
- [66] L. Johnson, G. N. Yannakakis y J. Togelius, «Cellular automata for real-time generation of infinite cave levels», en *Workshop on Procedural Content Generation in Games*, ACM, 2010, págs. 1-8.
- [67] J. Togelius, M. J. Nelson y A. Liapis, «Characteristics of generatable games», *Intelligence*, vol. 9, pág. 20, 2014.
- [68] J. Togelius y J. Schmidhuber, «An experiment in automatic game design», en *IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games (CIG)*, IEEE, 2008, págs. 111-118.
- [69] G. N. Yannakakis, «How to model and augment player satisfaction: A review proceedings of the 1st workshop on child, computer and interaction, icmi'08, chania, crete, october, 2008. acm pres», en *Proceedings of the 1st Workshop on Child , Computer and Interaction, ICMI'08,*, 2008.
- [70] R. D. N. Julian Togelius y S. Lucas, «Towards automatic personalized content creation for racing games», en *Computational Intelligence and Games (CIG), 2007 IEEE Conference on*, 2007.
- [71] S. Dahlskog y J. Togelius, «Procedural content generation using patterns as objectives», en *Applications of Evolutionary Computation*, Springer, 2014, págs. 325-336.
- [72] S. J. Russell y N. P., *Artificial Intelligent: A modern approach*, 2nd. Prentice - Hall, 2003.
- [73] F. Bevilacqua, C. T. Pozzer y M. C. d'Ornellas, «Charack: Tool for real-time generation of pseudo-infinite virtual worlds for 3d games», *2010 Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment*, págs. 111-120, 2009.
- [74] R. M. Smelik, K. J. D. Kraker, S. A. Groenewegen, T. Tutenel y R. Bidarra, «A survey of procedural methods for terrain modelling», en *Proc. of the CASA Workshop on 3D Advanced Media In Gaming And Simulation (3AMIGAS)*, 2009.

- [75] T. Lechner, B. Watson y U. Wilensky, «Procedural city modeling», en *1st Midwestern Graphics Conference*, 2003.
- [76] N. Shaker, G. N. Yannakakis y J. Togelius, «Towards player-driven procedural content generation.», en *Conf. Computing Frontiers*, J. Feo, P. Faraboschi y O. Villa, eds., ACM, 2012, págs. 237-240.
- [77] J. Chen, «Flow in games (and everything else)», *Commun. ACM*, vol. 50, págs. 31-34, 2007.
- [78] D. Charles, M. Mcneill, M. Mcalister, M. Black, A. Moore, K. Stringer, J. Kücklich y A. Kerr, «Player-centred game design: Player modelling and adaptive digital games», en *Digital Games Research Association 2005 Conference: Changing Views-Worlds in Play*, 2005.
- [79] R. Houlette, «Player modeling for adaptive games», *AI Game Programming Wisdom II*, págs. 557-566. 2004.
- [80] B. Mark, T. Berechet, T. Mahlmann y J. Togelius, «Procedural generation of 3d caves for games on the gpu», en *Foundations of Digital Games*, 2015.
- [81] D. C. J.W. Burke M.D.J. McNeill y col., «Optimising engagement for stroke rehabilitation using serious games», *Visual Computing, Springer-Verlag*, vol. 25, págs. 1085-1099, 2009.
- [82] F. C. Blumberg, L. C. Burke, C. Hodent, M. A. Evans, H. C. Lane y J. Schell, «Serious games for health: Features, challenges, next steps», *GAMES FOR HEALTH: Research, Development, and Clinical Applications*, vol. 3, págs. 270-276, 2014.
- [83] C. Pedersen, J. Togelius y G. N. Yannakakis, «Modeling player experience for content creation», *IEEE Trans.Comput Intell.AI Game*, vol. 2, n.º 1, págs. 54-67, 2010.
- [84] J. Togelius, N. Shaker y G. N. Yannakakis, «Active player modelling», *ArXiv*, 2013.
- [85] J. Piaget, *Piaget's Theory, in Handbook of Child Psychology (4th Ed.)* Wiley: New York Harvard University Press., 1983.
- [86] M. Connell y D. Stevens, «A computer-based tutoring system for visual-spatial skills: Dynamically adapting to the users developmental range», en *Development*

- and Learning, 2002. Proceedings. The 2nd International Conference on, 2002, págs. 245-251.*
- [87] O. Correa, J. Gutierrez y G. A. Montoya, «Generación de entornos virtuales en tiempo real para videojuegos», en *V Congreso Internacional Tecnologías, Contenidos Multimedias y Realidad Virtual*, ép. Informática2011, 2011, págs. 316-319.
- [88] —, «Layer generator, a real time virtual environment generator», en *SIGRADI, Bogotá, Colombia*, 2010, págs. 316-319.
- [89] A. Arias, R. Bernal, P. Martinto y O. Correa, «Medición de agudeza visual estereoscópica en una población infantil sana», *Revista Mexicana de Oftalmología*, vol. 87, n.º 4, págs. 215-219, 2013.
- [90] O. Correa, C. Cuervo, P. Martinto y A. Arias, «A new approach for self adaptive video game for rehabilitation. experiences in the amblyopia's treatment», en *3rd International Conference on Serious Games and Application for Health (SEGAH 2014)*, 2014.
- [91] O. Correa, P. Martinto y A. Aria, «Affective video game for the treatment of amblyopia in young children», *Entertainment Computing, En revisión*, 2015.
- [92] M. Buckland, *Programming Game AI by Example*. USA: Wordware Publishing, 2005.
- [93] M. Tremblay, A. Hevner y D. Berndt, «Focus groups for artifact refinement and evaluation in design research», *Communications of the Association for Information Systems*, vol. 26, pág. 1, 2010.