



UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS

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

**Tesis presentada en opción al grado científico de
Doctor en Ciencias Técnicas**

Omar Correa Madrigal

La Habana, 2015



UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS

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

**Tesis presentada en opción al grado científico de
Doctor en Ciencias Técnicas**

Autores: Omar Correa Madrigal

Tutor: Dr. Celso Cuervo Caruncho

La Habana, 2015

AGRADECIMIENTOS

A mi novia Yadira Ramírez Rodríguez por apoyarme con amor e incondicionalidad.

A mis padres por dejarme crecer y apoyarme en la búsqueda de mi futuro.

A mi otra madre, Elizabeth Gómez por sus consejos y preocupación.

A todos mis compañeros del grupo de investigación ViViRG.

A mi tutor Dr.Celso Cuervo Caruncho por su guía.

A mi amigo el Dr. Oscar Villar por estimularme y presentarme a mi tutor.

A mi Decana Mayra Durán Benejam por el apoyo y preocupación en cada momento.

Al Decano Rigoberto García Mouri por su seguimiento y apoyo.

A los profesores del PEFCI por las críticas constructivas en cada intercambio.

A la Universidad de las Ciencias Informáticas, en donde me he formado como investigador y revolucionario.

DEDICATORIA

A mi novia.

A mi hermano.

A mis padres.

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

INTRODUCCIÓN	15
1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	23
1.1 Introducción al capítulo	24
1.2 Fundamentos oftalmológicos	24
1.2.1 Función agudeza visual	25
1.2.2 Tratamientos tradicionales de la agudeza visual en edades tempranas .	28
1.3 Rehabilitación de funciones visuales con videojuegos	30
1.4 Videojuegos FPS. Características y ventajas para la rehabilitación de la visión	31
1.5 Generación procedural de contenido en videojuegos. Principales características	33
1.5.1 Generación procedural en tiempo real	36
1.5.2 Generación procedural e inteligente de contenidos	42
1.6 Videojuegos auto-adaptativos en los procesos de rehabilitación	44
1.6.1 El diseño de juegos para la rehabilitación	46
1.6.2 Modelos para videojuegos auto-adaptativos	47
1.6.3 La auto-adaptabilidad en la rehabilitación.	50
1.7 La Zona de Desarrollo Próximo en la rehabilitación.	56
1.8 Conclusiones parciales	58

2	MODELO PARA LA REHABILITACIÓN DE LA AGUDEZA VISUAL CON VIDEOJUEGOS	59
2.1	Introducción al capítulo	60
2.2	Estrategia para el desarrollo del modelo	60
2.3	Principios y premisas del modelo	61
2.3.1	Los ayudantes en la rehabilitación de la visión	63
2.4	Submodelo GPC para videojuegos	65
2.5	Diseño del videojuego Meteorix	69
2.6	Modelo terapeuta virtual ADD-Ayuda	71
2.6.1	Cuantificación de la habilidad óculo-manual	76
2.6.2	Ajuste dinámico de los retos	76
2.6.3	Ajuste dinámico de los ayudantes	82
2.7	Cualidades del modelo ADD-Ayuda	87
2.8	Conclusiones parciales	88
3	APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS	89
3.1	Introducción al capítulo	90
3.2	Generación procedural en tiempo real. Generador Basado en Capas	90
3.3	Herramienta para la validación. Meteorix	93
3.4	Estudio de casos con niños ambliopes	93
3.5	Validación de la hipótesis	96
3.5.1	Impacto en la mejoría del rendimiento	97
3.5.2	Impacto en la rehabilitación de la agudeza visual	101
3.6	Influencia de los ayudantes en el proceso de rehabilitación	103

3.6.1	Potencialidades de las heurísticas para la inferencia en el ordenamiento de los ayudantes	106
3.7	Estudio focal con especialistas en oftalmología y rehabilitación	110
3.8	Conclusiones parciales	113
CONCLUSIONES		114
RECOMENDACIONES		115
GLOSARIO		116
ACRÓNIMOS		119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		120
APÉNDICES		133
A ESTRUCTURAS DE FICHEROS DE SALIDA		134
A.1	. . . . .	135
B RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN ENTRE OPTOTIPOS 3D Y OPTOTIPOS LOGMAR. ERROR DE APROXIMACIÓN		137
B.1	. . . . .	138
C SALIDAS DE LAS PRUEBAS EJECUTADAS EN EL PROGRAMA ESTADÍSTICO SPSS		139
C.1	. . . . .	140
C.2	. . . . .	143
C.3	. . . . .	144

C.4	145
D PROYECTO INTERDISCIPLINAR	147

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Red de autores asociados al área de investigación de videojuegos auto-adaptivos. Se encuentran resaltados los que han incursionado en los videojuegos para la rehabilitación. Fuente: [13].	16
2	Red de palabras más empleadas en los títulos de las publicaciones. Fuente: [13].	17
1.1	Principales elementos y variables en el proceso de medición de la agudeza visual. Fuente: [43].	25
1.2	Test LogMAR. Fuente: [45]	27
1.3	El videojuegos Crysis constituye un ejemplo clásico de FPS. Fuente: [57]. . .	32
1.4	Pirámide GPC. Fuente: [58].	34
1.5	Clasificación de técnicas GPC. Fuente: [58].	35
1.6	Proceso de generación de un entorno vinculando sistema de losas y capas. Fuente: [79].	38
1.7	Técnica llenado del volumen de visión para construir una ciudad. Fuente: [80].	40

1.8	Técnica administrador de páginas empleando diferentes fuentes de contenidos para lograr la continuidad de un entorno. La figura (a) emplea como entrada un mapa mientras que la (b) utiliza las losas ya generadas. Fuente: [73, 81].	41
1.9	Principales estados emocionales propuestos por la teoría del Equilibrio y caminos críticos dentro y fuera de la Zona de Equilibrio. Fuente: [95].	45
1.10	Modelo de Ajuste Pasivo de la Zona del Equilibrio (ZE) y principales problemas en la implementación. Fuente: [95].	48
1.11	Elementos fundamentales para un modelo de implementación del Ajuste Pasivo de la ZE. Fuente: [11].	49
1.12	Esquema de adaptabilidad aplicado en el juego <u>Ski Wii</u> . Fuente: [9].	52
1.13	Red bayesiana para medir el rendimiento del paciente y realizar el cambio automático de nivel. Fuente: [8].	53
1.14	Niveles de adaptabilidad aplicados en el juego Atrapar la Fruta. Fuente: [7].	55
1.15	Vista de la teoría ZDP y su impacto en el nivel de habilidad de una persona. Fuente: elaboración propia.	57
2.1	Submodelo Generador Basado en Capas. Fuente: elaboración propia.	65
2.2	Videojuego Meteorix. Fuente: elaboración propia.	70
2.3	Extensión del submodelo GBC al modelo ADD-Ayuda. Fuente: elaboración propia.	72
2.4	Proceso general del terapeuta virtual ADD-Ayuda. Fuente: elaboración propia.	72
2.5	Ajuste del reto en un mismo nivel. Fuente: elaboración propia.	78

2.6	Mínimo separable (MS) entre filas y en una misma fila. Reto relacionado con el tercer nivel. Fuente: elaboración propia.	79
2.7	Ayudante radar en forma de anillo de color verde. Fuente: elaboración propia.	84
3.1	Configuración del generador GBC para crear el entorno del videojuego Meteorix. Fuente: elaboración propia.	91
3.2	Ejemplos de entornos generados con GBC. Fuente: elaboración propia. . . .	92
3.3	Configuración del generador GBC para crear entornos con sistemas de losas. Fuente: elaboración propia.	92
3.4	Rendimiento del paciente A en cada tarea (reto) y aplicación de los ayudantes por intervalos.	95
3.5	Rendimiento del paciente B en cada tarea (reto) y aplicación de los ayudantes por intervalos.	95
3.6	Rendimiento del paciente C en cada tarea (reto) y aplicación de ayudantes por intervalos.	96
3.7	Aproximación del rendimiento (R) a la condición de control (CC) en diferentes edades.	98
3.8	Aproximación del rendimiento (R) a la condición de control (CC) en diferentes niveles de visión.	98
3.9	Comportamiento en la mejora de la agudeza visual (AV) en cada niño (1 al 14 grupo experimental y del 15 al 21 grupo control).	101

ÍNDICE DE TABLAS

1.1	Equivalencia entre los test LogMAR y Snellen. Se muestran resaltados los valores más frecuentes en las mediciones clínicas. Fuente: [43]	26
3.1	Mediciones de la agudeza visual (AV) antes y después de aplicar el videojuego Meteorix. Medición basada en Snellen en escala decimal y notación ojo derecho (OD)–ojo izquierdo (OI).	96
3.2	Resultados de la aplicación del test Kolmogorov-Smirnov en las muestras de cinco, seis y siete años. Fuente: Apéndice C.1	100
3.3	Diferencia entre medias según el test T para muestras pareadas, en las edades de cinco, seis y siete años respectivamente. Fuente: Apéndice C.1	100
3.4	Medición de la agudeza visual (AV) del grupo experimental en diferentes momentos del estudio según el test Snellen en escala decimal. Notación ojo derecho (OD)–ojo izquierdo (OI).	102
3.5	Medición de la agudeza visual (AV) del grupo control en diferentes momentos del estudio según el test Snellen en escala decimal. Notación ojo derecho (OD)–ojo izquierdo (OI)	102
3.6	Resultados de la prueba Kolmogorov-Smirnov en la distribución de S para cada ayudante H_i . Fuente: Apéndice C.3.	104

3.7	Rangos de comparación de la prueba Wilcoxon, el estadístico Z y su nivel de significación para los pares de ayudantes (H_2, H_1) , (H_3, H_1) , (H_3, H_2) . Fuente: Apéndice C.3.	105
3.8	Resultados de la prueba Kolmogorov-Smirnov a las distribuciones de medias de <i>Profundidad</i> y <i>TR</i> en un antes y después al aplicar un ayudante. Fuente: Apéndice C.4.	106
3.9	Diferencia entre medias según la prueba T para muestras pareadas, referente a los valores <i>Profundidad</i> y <i>TR</i> en un antes y después. Fuente: Apéndice C.4.	106
3.10	Rangos de comparación de la prueba Wilcoxon, el estadístico Z y su nivel de significación para los pares de ayudantes (H_2, H_1) , (H_3, H_1) , (H_3, H_2) en un niño ($n = 30$). Fuente: Apéndice C.4.	107
3.11	Rangos de comparación de la prueba Wilcoxon, el estadístico Z y su nivel de significación para los pares de ayudantes (H_2, H_1) , (H_3, H_1) , (H_3, H_2) en una muestra de tres niños ($n = 180$). Fuente: Apéndice C.4.	107
3.12	Comparativa según la heurística 2.6.1.	108
3.13	Comparativa según la heurística 2.6.2.	108
3.14	Comparativa según la heurística 2.6.3.	109

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-adaptabilidad¹ 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 ambiental² y computación persuasiva³ [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].

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

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

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

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 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].

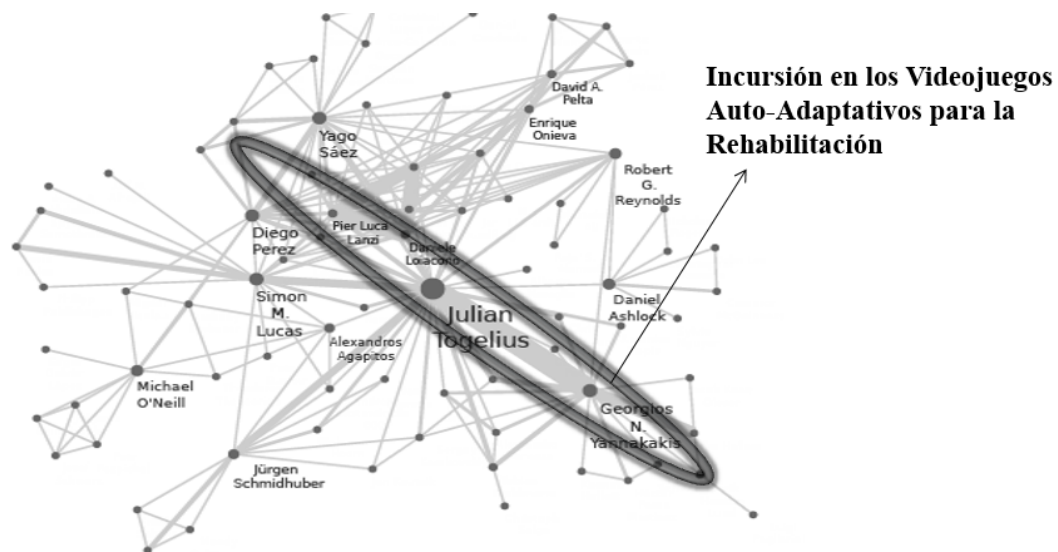


Figura 1: Red de autores asociados al área de investigación de videojuegos auto-adaptativos. Se encuentran resaltados los que han incursionado en los videojuegos para la rehabilitación. Fuente: [13].

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 contenido⁴ 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

⁴Creación de contenidos empleando algoritmos [14].

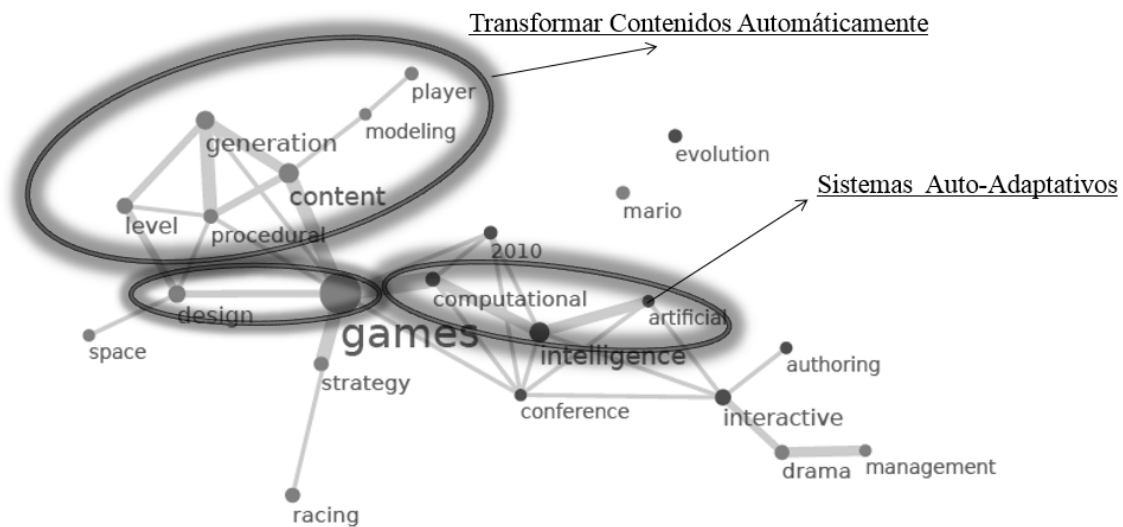


Figura 2: Red de palabras más empleadas en los títulos de las publicaciones. Fuente: [13] .

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 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 optotipos⁵, la separación entre estos y la distancia al test⁶, 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.

⁵Optotipo 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].

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

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.
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.

Capítulo **1**

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. Introducción al capítulo

En el presente capítulo se exponen los referentes fundamentales del trabajo. Estos facilitan la comprensión del objeto de estudio así como los análisis derivados de la investigación para una propuesta coherente del modelo. El capítulo cuenta con cinco epígrafes divididos en subepígrafes. Los temas fundamentales recogidos en los mismos son: fundamentos oftalmológicos (epígrafe 1.2), rehabilitación de funciones visuales con videojuegos (epígrafe 1.3), generación procedural de contenidos en videojuegos (epígrafe 1.5), videojuegos auto-adaptativos en los procesos de rehabilitación (epígrafe 1.6.2) y la Zona de Desarrollo Próximo en la rehabilitación (epígrafe 1.7).

1.2. Fundamentos oftalmológicos

Durante los cuatro primeros meses de vida el ojo madura de forma gradual y se desarrollan las vías visuales. Al menos en los primeros seis años las vías visuales permanecen maleables. Cualquier trastorno que no sea bien atendido en la niñez puede llevar a una discapacidad por el resto de la vida [41].

Existen varias capacidades o funciones visuales, dentro de las reconocidas están la agudeza visual, el campo visual, la percepción del color, el contraste, la fusión y estereopsis. Todas actúan como un todo sistémico, esto implica que una deficiencia en una afecte la capacidad de respuesta de las otras. En tal sentido uno de los indicadores principales empleados en la identificación de una deficiencia visual es la agudeza visual. Su histórica formalización en cuanto a su medición hace que se emplee como una de las pruebas más representativas para detectar problemas visuales [38, 42].

En los procesos de rehabilitación se realizan, en primer orden, ejercicios que buscan el desarrollo de esta función para luego ir avanzando a ejercicios superiores en donde

intervienen las restantes funciones visuales [29, 39].

1.2.1. 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 [40]. 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 ($\frac{1}{\alpha}$).

En su proceso de medición existen diferentes variables que describen el sistema de visión humano y optotipo (Ver Figura 1.1).

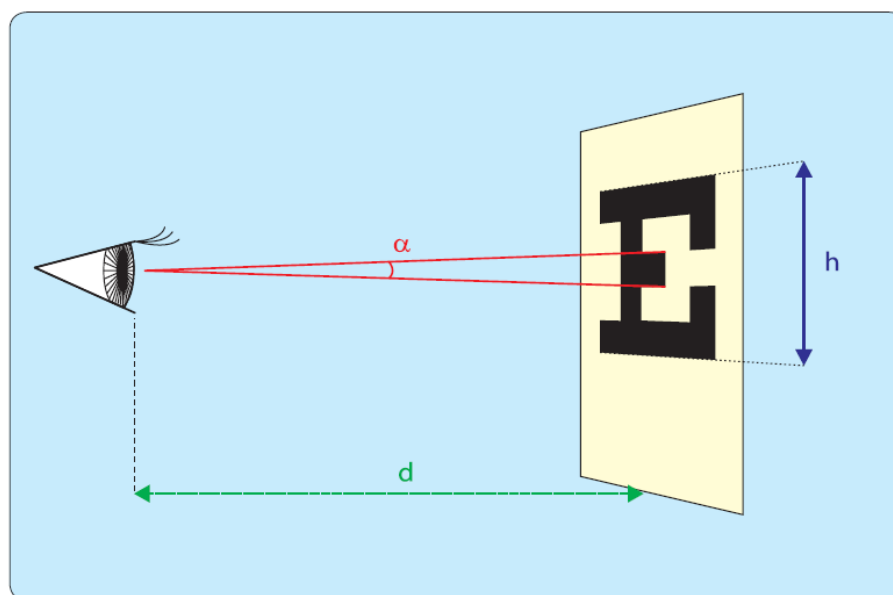


Figura 1.1: Principales elementos y variables en el proceso de medición de la agudeza visual. Fuente: [43].

Los test de agudeza visual expresan la medición desde un análisis en tres dimensiones: el mínimo visible o mínimo ángulo de resolución¹(MAR), mínimo separable y el mínimo reconocible. Partiendo de estas dimensiones, los optotipos son diseñados y organizados

¹Capacidad de detectar un objeto en el campo de visión.

para realizar las mediciones. Los test más reconocidos son Snellen y LogMAR, este último conocido también como el test Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS) [43]. Snellen calcula la agudeza visual como la razón de dos distancias ($\frac{d}{d_0}$) siendo d la distancia al test (6 metros) y d_0 el valor señalado en cada fila. En el caso de LogMAR su formulación es equivalente a su nombre y se expresa como el logaritmo en base diez del mínimo ángulo de resolución. Las mediciones tomadas con cada test pueden convertirse a la escala del otro tal como se muestra en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1: Equivalencia entre los test LogMAR y Snellen. Se muestran resaltados los valores más frecuentes en las mediciones clínicas. Fuente: [43]

MAR(min/arc)	LogMAR	Snellen (d=6m)	Escala Decimal
100	2.0	6/600	0.01
79	1.9	6/480	0.0125
63	1.8	6/380	0.016
50	1.7	6/300	0.02
40	1.6	6/240	0.025
32	1.5	6/190	0.032
25	1.4	6/150	0.04
20	1.3	6/120	0.05
15.8	1.2	6/95	0.063
12.5	1.1	6/75	0.08
10.0	1.0	6/60	0.1
8.0	0.9	6/48	0.125
6.3	0.8	6/38	0.16
5.0	0.7	6/30	0.2
4.0	0.6	6/24	0.25
3.2	0.5	6/19	0.32
2.5	0.4	6/15	0.4
2.0	0.3	6/12	0.5
1.58	0.2	6/9.5	0.63
1.25	0.1	6/7.5	0.8
1.0	0.0	6/6	1.0
0.8	-0.1	6/4.8	1.25
0.63	-0.2	6/3.8	1.6
0.5	-0.3	6/3	2

LogMAR presenta ventajas sobre el test Snellen las cuales lo han convertido en un estándar en la práctica clínica e investigación [39, 43]. Dentro de estas resaltan el aumento del tamaño de los optotipos entre filas los cuales responden a medidas iguales, escalonado decimal y equivalencia en las mediciones de una fila a otra [44]. LogMAR presenta en cada fila un total de cinco optotipos de igual tamaño y distanciados por un espacio equivalente a otro optotipo de la misma fila. Además la distancia entre filas es igual al tamaño del optotipo de la fila inferior (Ver Figura 1.2). El tamaño de los optotipos varían de 5.5 a 0.5 centímetros y de fila a fila hay un decremento de 0.5 centímetros, para un total de once filas [43]. Para realizar la medición el test debe colocarse a cuatro metros del paciente.

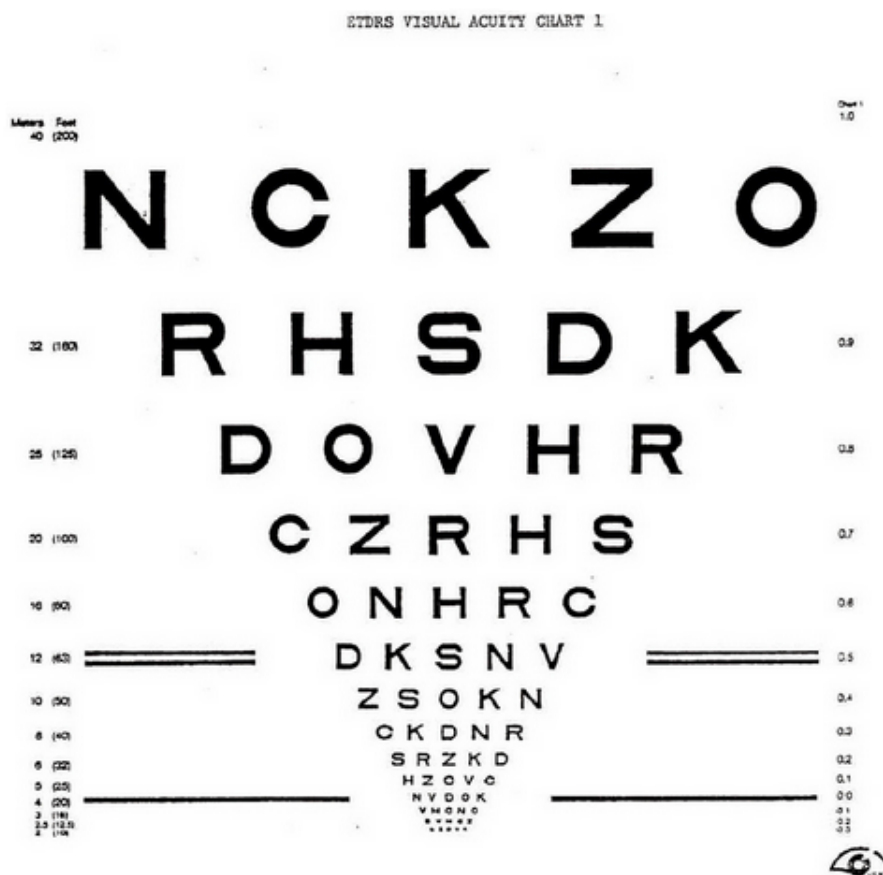


Figura 1.2: Test LogMAR. Fuente: [45]

LogMAR es soportado en diferentes formatos, impresos y digitales. Estos últimos brindan una gran flexibilidad en cuanto a la variedad de optotipos. El principal problema radica en la capacidad de resolución y luminosidad de los sistemas de salidas, ya sean proyectores o monitores. Estas constituyen importantes variables a tener en cuenta con vista a automatizar el test o para realizar terapias con videojuegos respetando sus principios. Dentro de los factores físicos a tener en cuenta se encuentran:

- **De la sala de prueba:** la sala debe tener una iluminación regulada. El test debe estar colocado en un fondo donde no haya una fuente de luz que se interponga entre el test y observador. La fuente de luz debe estar ubicada detrás del observador.
- **De los optotipos:** iluminación, color, contraste, tipografía en el caso de las letras y distancia al sujeto.
- **Del ojo:** tamaño y difracción pupilar, ametropía² y aberraciones ópticas.

El protocolo de medición LogMAR propone una distancia de cuatro metros al test. Comienza la prueba desde las filas de mayor tamaño y avanza hacia las de menor medida hasta encontrar la fila donde el paciente alcanza su mejor agudeza visual (relacionado con el mínimo reconocible), seguidamente se avanza en la fila 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.

1.2.2. Tratamientos tradicionales de la agudeza visual en edades tempranas

Las variaciones de la agudeza visual fuera del nivel establecido como normal (cero según LogMAR) afecta la vida de las personas. Leer un libro así como orientarse en

²Defecto o anomalía de refracción ocular.

la calle a través de las señalizaciones, puede verse afectado por una inadecuada agudeza visual. La corrección refractiva, o sea el uso de espejuelos, constituye una de las formas tradicionales de resolver tal problemática. Este proceder resuelve en muchas ocasiones el problema en adultos, no siendo así en el caso de los niño con edades inferiores a los 10 años [43].

Las vías visuales se desarrollan en un corto período de tiempo por lo que se requiere de una adecuada estimulación para entrenar al cerebro [42]. La ambliopía es una enfermedad de carácter monocular o binocular estrechamente relacionada con la agudeza visual. Su existencia se expresa por una agudeza visual inferior a la normal sin una causa aparente. Los tratamientos tradicionales emplean fármacos como la atropina, el parche y espejuelos con lentes opacos, para aplicar diferentes niveles de penalización al ojo con mejor agudeza visual y así forzar el entrenamiento del otro. Estos tratamientos se complementan con actividades correctivas compensatorias como leer, escribir, dibujar, ver televisor o jugar un juego de mesa [38]. Independientemente de tener o no ambliopía las actividades correctivas compensatorias son ejercicios esenciales para el tratamiento de otros padecimientos tales como la baja visión (agudeza visual por encima 0.3 según el test LogMAR) [42].

Con el desarrollo de las tecnologías de la realidad virtual se ha incorporado un nuevo soporte para las actividades correctivas compensatorias, los videojuegos [28]. Estos juegan un rol protagónico al sustituir terapias como los parches y las gafas con lentes opacos a partir de tecnologías esteroscópicas [46]. A continuación se profundizará en la aplicación de los videojuegos en el tratamiento de funciones visuales.

1.3. 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, 47, 48].

La rehabilitación de funciones visuales a diferencia de otras como las motoras y psicológicas no se han beneficiado con los videojuegos auto-adaptativos. En ello influye la procedencia de esta clase de sistemas y la búsqueda de potenciales áreas de aplicación. La auto-adaptabilidad se desarrolló en mayor medida en los videojuegos de ocio y luego en los juegos serios para la rehabilitación, potenciando aplicaciones para el tratamiento de funciones motoras y psicológicas [49]. Esto último estuvo condicionado por la alta prevalencia de las discapacidades motoras y psicológicas en poblaciones de diferentes partes del mundo; por ejemplo según la Organización Panamericana de la Salud, el 20 % de las enfermedades en América Latina están asociadas a desórdenes mentales y neurológicos [50]. Por otra parte en Estados Unidos la agencia U.S CENSUS reportó en el 2012 que el 27.3 % de los padecimientos fueron de tipo físico-motor y psicológicos. En este informe se expone además la contrastante prevalencia de los padecimientos de la visión (tres por ciento) [51].

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 han estado asociadas a la exploración de tecnologías de la realidad virtual [20, 25, 26, 46, 47, 48, 52], desarrollo de videojuegos especializados para el tratamiento de la visión [23, 28, 29, 53] y en la investigación del impacto de los

videojuegos en la rehabilitación [20, 23, 24, 31, 52, 54]. En resumen, se identifica que los videojuegos han impactado en la mejoría de todas las funciones visuales.

Las tecnologías que más éxitos han tenido 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 [55]. Este se ha combinado además con la técnica ojo vago para la creación de un tipo de terapia para 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.

1.4. Videojuegos FPS. Características y ventajas para la rehabilitación de la visión

Los FPS son juegos de mucha acción, en donde el jugador toma el papel de un soldado o justiciero que puede transitar por historias diversas pero bien definidas en cuanto a los objetivos a cumplir. Este tipo de juego presenta un gran potencial para la inmersión³ ya que sitúa la visión del entorno de juego en una vista en primera persona, en tres dimensiones y buscando por lo general el realismo virtual [55]. Otro aspecto importante son las recompensas, en tal sentido las bonificaciones se centran en vidas, armamentos o cualquier otro elemento equivalente como puede ser la energía. Además, apela a lógicas de interacción centradas en apuntar y disparar haciéndolo muy atractivo para el jugador (Ver Figura 1.3).

El éxito marcado de los juegos FPS en la rehabilitación de la visión se explica por las características que ha alcanzado su diseño, entre ellas se destacan el carácter personal del

³Fenómeno asociado a la capacidad humana de sentirse parte de un entorno virtual [56].



Figura 1.3: El videojuegos Crysis constituye un ejemplo clásico de FPS. Fuente: [57].

espacio de juego y la lógica de interacción [23, 31]. Recientes estudios de percepción visual han identificado que no existen interferencias en el campo visual del jugador a pesar de que, por lo general, tiene un arma visible. Además, existe una correspondencia en el orden en que se ejecutan las acciones apuntar y disparar. Se ha verificado que la secuencia de acciones apuntar y disparar puede ocurrir en un 79% de los casos, resultando favorable para la ejecución de ejercicios y trabajar la visión central ⁴ [31, 33].

En la búsqueda de un modelo para la rehabilitación de la agudeza visual resulta conveniente tomar en cuenta las características del diseño de videojuegos FPS y el modo de interacción de tipo apuntar y disparar, o mejor dicho focalizar y seleccionar, si se tiene en cuenta la esencia de las acciones en el tratamiento de la visión. Además, el uso de

⁴Proceso de la visión relacionado con la estimulación de la zona central de la retina (mácula). Empleado en actividades tales como escribir, leer y manejar [43].

técnicas estereoscópicas resultan relevantes, pero su dependencia del hardware las hace costosas para el contexto de esta investigación. Por esta razón en el trabajo se buscó una propuesta de solución enfocada en el software.

1.5. Generación procedural de contenido en videojuegos. Principales características

La generación procedural de contenido (GPC) es un área de investigación y desarrollo en la que se ha trabajado durante más de tres décadas [58]. En búsqueda de una mejor Interacción Hombre-Computadora (IHC) la GPC se ha ocupado cada vez más de ajustar los contenidos a las necesidades del usuario [59]. Los campos de aplicación más recurrentes en tal sentido han sido los videojuegos, la Web 2.0, las interfaces y el diseño de software [60].

La GPC ha sido constantemente explotada desde el surgimiento de la industria de los videojuegos en los años ochenta. Sus ventajas fundamentales han estado vinculadas 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 [61, 62].

La clasificación de la GPC se ha orientado por diferentes enfoques [58, 60, 61, 63, 64]. Las propuestas más acertadas atendiendo a su uso en la bibliografía consultada son las siguientes:

- **Según el espacio temporal de generación**, se clasifica en fuera de línea (offline) y en línea (online) o en preprocesamiento y tiempo de ejecución (runtime), ambas son equivalentes. En el caso de la generación online o runtime se procura lograr resultados que permitan una visualización en tiempo real; a los efectos de este trabajo se abordará como generación procedural en tiempo real la generación

procedural en tiempo de ejecución cuya eficiencia permite una visualización en tiempo real.

- **Según el nivel de intervención del desarrollador o jugador**, se tiene en cuenta la generación supervisada o no supervisada. En la primera el proceso es regulado por las intervenciones de los desarrolladores o jugadores y en el segundo caso, el proceso se realiza siguiendo técnicas aleatorias reguladas por restricciones definidas en la programación. Esta clasificación tiene una relación directa con la anterior, la generación supervisada es por lo general en preprocesamiento y la no supervisada busca la generación procedural en tiempo real.
- **Según el tipo de contenido**, puede clasificarse atendiendo a diferentes niveles de complejidad. Un colectivo de autores liderado por Mark Hendrikx proponen una estructura de pirámide que parte de la transición de los contenidos básicos como texturas, edificios y vegetación hasta los contenidos derivados (transiciones entre niveles) que dependen del diseño del juego [58] (Ver Figura 1.4).

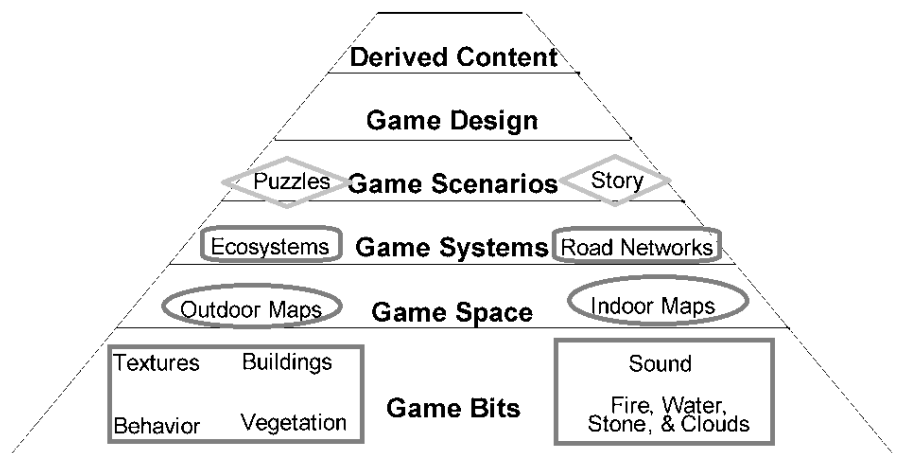


Figura 1.4: Pirámide GPC. Fuente: [58].

El número de propuestas en la generación de contenidos se encuentran enmarcadas en su mayoría en los primeros tres niveles de la pirámide GPC [58]. Su variedad responde

a los tipos de contenidos a generar y pueden encontrarse resúmenes enfocados en tipos específicos como texturas [65], terrenos [66] y ciudades [67].

El grado de configuración de las técnicas y sus tipos pueden responder a varias propiedades como fidelidad, variabilidad y dimensiones de los contenidos. Una importante propuesta de clasificación que recoge de forma general los tipos de técnicas se muestra en la Figura 1.5, definidas además por Mark Hendrikx y su equipo [58]. Toda esta diversidad de la GPC en juegos ha llevado a que no exista un modelo general que soporte la amplia gama de los métodos existentes [58, 68].

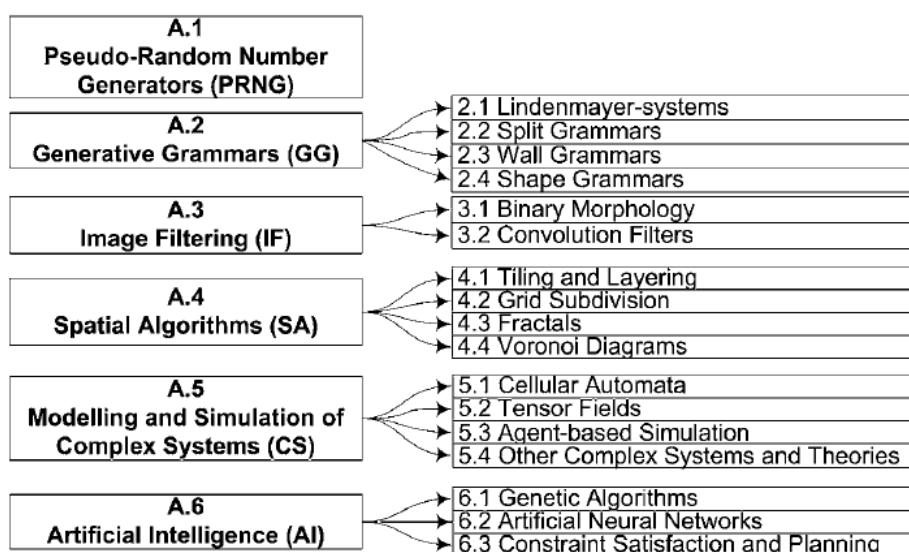


Figura 1.5: Clasificación de técnicas GPC. Fuente: [58].

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.

1.5.1. Generación procedural en tiempo real

La visualización en tiempo real (real time rendering) es descrito por Akenine Moeller y Eric Haines como un proceso donde el usuario reacciona y actúa ante un coherente cambio de imágenes [69]. El ciclo de interacción entre el usuario y la imagen dibujada se mide en cuadros por segundo (fps) y estos, para que sean interpretados en tiempo real, deben oscilar entre los 15 y 72 fps [69]. Otros autores consideran la frecuencia de visualización en tiempo real por encima de los 30 fps, lo que hace más natural el proceso de interacción entre el usuario y las imágenes mostradas [70, 71, 72]. Según la experiencia del autor del presente trabajo, como desarrollador de simuladores y sistemas con inmersión para la rehabilitación, se ha comprobado que a partir de este valor es que se logra una verdadera sensación de inmersión.

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 a la 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 [58, 63].

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 [58, 62, 63, 73, 74, 75, 76]. Como una generalidad de estos sistemas se encuentra la creación de contenidos en las proximidades del jugador (cámara o avatar⁵). 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.

Siguiendo la clasificación de técnicas expuestas en el epígrafe anterior (Figura 1.5), todos 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) [65, 78], sistema de capas [79], rejillas, diagramas de Voronoy y fractales según el resumen más reciente [58]. En el análisis de las mismas se ha identificado que independientemente de la forma en que se subdivide el entorno, el objetivo consiste en delimitar los espacios de generación así como la relación entre estos para construir de forma coherente los contenidos. Los sistemas de losas y capas son aplicados con relativa frecuencia en la GPCE complementadas con rejillas, diagramas de Voronoy y fractales [63]. El sistema de capas interviene de forma directa en un

⁵En ambientes virtuales multiusuarios de internet y en juegos, el avatar es la representación gráfica del usuario [77]

tipo específico de contenido, pero no permite aumentar ni disminuir la resolución de la subdivisión espacial por si sola como lo hace el sistema de losas. 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 como muestra en la Figura 1.6 [79].

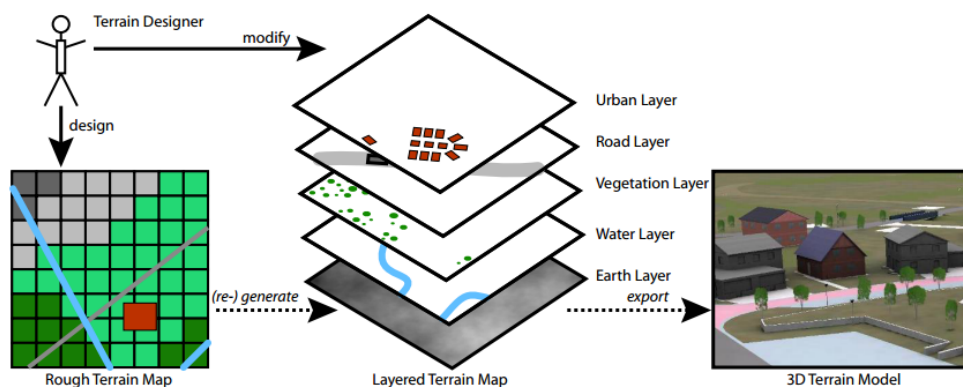


Figura 1.6: Proceso de generación de un entorno vinculando sistema de losas y capas.
Fuente: [79].

Los sistemas de losas soportan diferentes esquemas de subdivisión como la rejilla regular, diagramas de Voronoy y jerarquías de estructuras datos espaciales [65]. La forma más abordada en cuanto a técnicas de generación basadas en sistemas de losas es la rejilla regular. Esto responde a su esquema simple de subdivisión, acceso a la información y formas de almacenamiento. Dos de las técnicas más significativas basadas en sistemas de losas para la GPCE son el llenado del volumen de visión y el administrador de páginas [80, 81]. Ambas responden a la generación procedural en tiempo real en la búsqueda de entornos infinitos.

Llenado del volumen de visión (Frustum Filling) llena el frustum⁶ con contenidos que, al salir del mismo, son eliminados producto al desplazamiento y/o cambios de

⁶Volumen de visión de la cámara delimitado por seis planos que forman una pirámide truncada [69].

orientación del jugador [80]. En esta técnica se economiza los recursos de procesamiento y memoria lo cual ayuda al logro de una visualización en tiempo real. Su principal inconveniente consiste en la integración con motores gráficos, lo cual resulta complejo ya que introduce un nuevo elemento en el proceso de visualización. Para integrarla a un motor gráfico⁷ (rendering engine) puede sustituirse el proceso de selección de la visibilidad en el volumen de visión (Frustum Culling) por el Frustum Filling o realizar primero el Frustum Filling seguido del Frustum Culling.

Los sistemas estudiados que aplican el llenado del volumen de visión, contienen varios componentes comprendidos en los motores gráficos que los hacen difíciles de reutilizar si se persigue un enfoque de integración genérico (independiente del motor gráfico) [75, 76]. Los entornos generados en estos trabajos han sido ciudades, paisajes y entornos espaciales de manera continua para dar la sensación de un entorno infinito (Ver Figura 1.7).

El administrador de páginas por su parte aborda las losas como páginas o diapositivas. Estas losas son tan grandes que permiten rodear al jugador impidiendo la detección de los espacios vacíos en los límites de las losas. En la medida que avanza el jugador por el entorno son creadas nuevas losas y adicionadas frente al mismo. Una característica importante en esta técnica es cuántas losas crear cuando el jugador se acerca a los límites de la losa actual. En la propuesta descrita en [81] se crean todas las losas en la dirección del movimiento como se visualiza en Figura 1.8a. Otros trabajos proponen cuando se acerca el jugador a los límites de la losa actual crear solo la losa siguiente, siendo esta tendencia más eficiente respecto a la anterior; lo que permite almacenar en memoria los objetos con mayor potencial de visibilidad apoyando la generación procedural en tiempo real [73, 83].

⁷Núcleo de programas encargados de gestionar los gráficos de un videojuego [82].

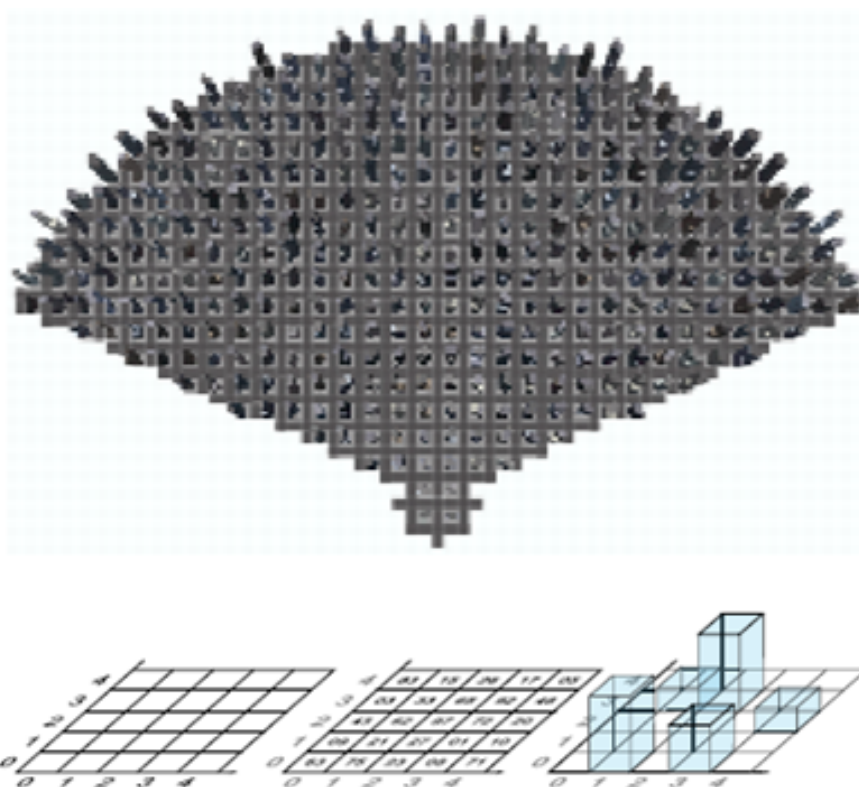


Figura 1.7: Técnica llenado del volumen de visión para construir una ciudad.
Fuente: [80].

Un aspecto importante en la técnica administrador de páginas es la base de información sobre la cual crear los contenidos. Algunas parten de imágenes satelitales o mapas generados de forma aleatoria en preprocesamiento obteniendo mapas esféricos que garantizan la continuidad y una generación infinita [81, 83]. Otros crean las nuevas losas de forma aleatoria o reutilizan las losas creadas anteriormente (Ver Figura 1.8b), siendo esta una alternativa aplicable a entornos donde no existen diferencias sustanciales entre los contenidos de una losa y otra. [73].

Una de las líneas de investigación propuestas por Mark Hendrikx y su colectivo lo constituye la búsqueda de un modelo general para la GPC [58]. En este sentido un enfoque de generación multitécnica para la GPCE representa un aporte importante.

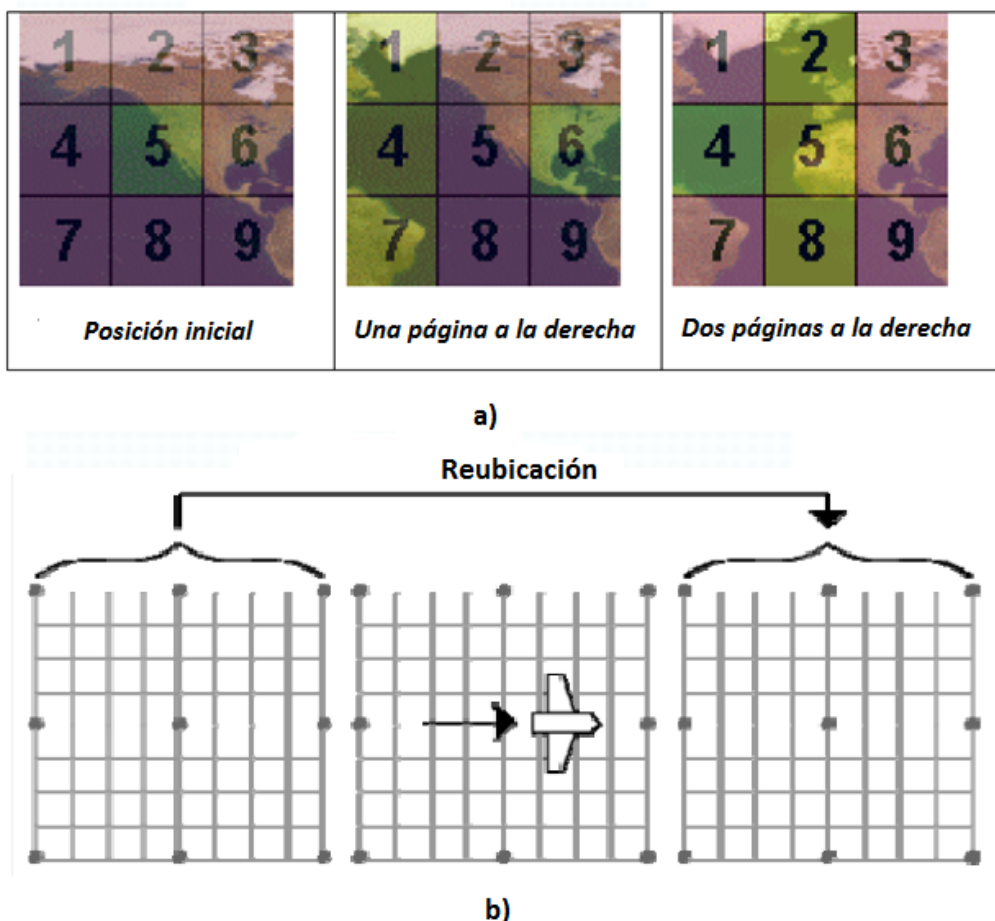


Figura 1.8: Técnica administrador de páginas empleando diferentes fuentes de contenidos para lograr la continuidad de un entorno. La figura (a) emplea como entrada un mapa mientras que la (b) utiliza las losas ya generadas. Fuente: [73, 81].

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. Desde el tercer nivel de la pirámide GPC resulta comprensible ver la rigidez de los sistemas estudiados ya que todos abordan diferentes formas de configuración en los niveles inferiores, y no una alternativa flexible para explorar la combinación de técnicas existentes para una mejor y más completa GPCE.

Para el cumplimiento del objetivo trazado en el presente trabajo los análisis anteriores

brindan la posibilidad de plantear un modelo que mediante la GPCE se logre la rehabilitación de la agudeza visual. La GPCE debe tener un enfoque multitécnica que garantice diversidad de entornos de juegos para la rehabilitación 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 generados 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.

1.5.2. Generación procedural e inteligente de contenidos

Respecto al concepto GPC explicado en la introducción del presente epígrafe puede encontrarse cierto nivel de indefinición ya que, todo proceso automático ejecutado por una computadora que brinde una salida definible como contenido puede considerarse GPC. Según Julian Togelius y Georgios N. Yannakakis⁸, este concepto no es lo suficientemente abarcador partiendo de sus experiencias [60, 61]. Ellos refieren que una reformulación de la GPC pudiera ser “la creación algorítmica de contenidos de juego con limitada e indirecta influencia del usuario”. El componente usuario es incorporado y como apunta Fernando Bevilacqua en [83], un análisis desde este componente puede verse como una forma para definir una clasificación de la GPC. En este sentido la anterior definición establece una importante diferencia semántica en la relación usuario-computadora a la hora de la creación automática de contenidos (limitada e indirecta). Esta diferencia no es posible sin una marcada influencia del pensamiento desarrollado

⁸Activos investigadores en el área de los videojuegos auto-adaptativos y profesores del Instituto Tecnológico de la Universidad de Copenhagen, Dinamarca.

en la Inteligencia Artificial (IA)⁹. Ambos conceptos GPC son aceptados y a los efectos del presente trabajo se le llamará a esta segunda definición generación procedural e inteligente de contenido (GPIC).

La GPIC ha sido el resultado de la integración de dos disciplinas de la ciencia de la computación: Gráfico por Computadoras¹⁰ y la IA. En la búsqueda de áreas de aplicación como las simulaciones y los videojuegos dichas disciplinas se combinan con otras ciencias: psicología, pedagogía, ludología, lingüística y ciencias sociales. En este proceso de integración se pueden encontrar resultados que abordan contenidos pertenecientes a todos los niveles de la pirámide GPC [58, 60].

Las técnicas evolutivas se han aplicado en la generación procedural de texturas [65], árboles [85, 86], entornos de interiores y exteriores [87] y hasta en la generación de lógicas de juegos [59] que se retroalimentan de las mejoras en el rendimiento como en la versión auto-adaptativa del clásico juego PAC-MAN [88].

Por otra parte el enfoque de agente inteligente ¹¹ 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 [66, 83] o sistemas urbanos como los expuestos en [90], 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 multiagentes. 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.

Todos los trabajos analizados no exponen en profundidad las características de estos agentes ni van a la esencia conceptual del uso del término, lo cual deja vacíos importantes

⁹Disciplina encargada de la creación de máquinas que puedan “pensar”, la reproducción automática del razonamiento humano [84].

¹⁰Disciplina que estudia la síntesis digital de gráficos por computadora [69].

¹¹Entidad que percibe, razona y actúa sobre un entorno [89]

a la hora de reproducir las experiencias, además de la duda si son o no agentes. Según S. Russell un agente está compuesto por sensores, actuadores y un cerebro [89]. Los sensores permiten obtener la información del entorno garantizando la función de percepción, mientras que los actuadores influyen sobre el entorno a través de acciones bien definidas. Por otra parte el cerebro, partiendo de que los agentes responden a un paradigma bioinspirado, es el sistema de toma de decisiones que articulado con la memoria, interpreta la información llegada desde los sensores y define los mecanismos de actuación sobre el entorno para alcanzar sus objetivos.

Aunque solo se han analizado dos aspectos relacionados a la IA, existen otros con un nivel de generalización importante y significativos resultados, dígase las redes neuronales y los algoritmos genéticos [91, 92]. Los algoritmos genéticos son más empleados en aplicaciones donde la generación no se realiza en tiempo real. Esto no ocurre en el caso de las redes neuronales, con las cuales si se ha explotado la generación procedural en tiempo real. En el contexto de este trabajo es importante identificar las anteriores técnicas ya que se emplean en una de las áreas de investigación más activas de los videojuegos, la generación procedural del diseño de juego (quinto nivel de la pirámide GPC).

1.6. Videojuegos auto-adaptativos en los procesos de rehabilitación

El desarrollo de la capacidad adaptativa de los videojuegos se explica por la necesidad de lograr un mayor grado de conexión entre el jugador y juego. Esta se refleja en la forma que se manejan los retos en el juego para lograr un equilibrio entre el reto y la habilidad del jugador; mantenerlo es la clave para un mayor compromiso entre el jugador y juego, es la clave para lograr un estado psicológico llamado Entretenido [15].

La teoría del Equilibrio (Ver Figura 1.9) recoge esta importante relación entre reto y nivel

de habilidad. Su aplicación en videojuegos ha sido exitosa y hoy constituye la base de la mayoría de los métodos de adaptabilidad existentes [91, 93]. Maximizar la experiencia del jugador a partir de cambios en las dinámicas del juego en tiempo real es la base del proceso ADD, el cual incluye desde el cambio del entorno hasta el sistema de reglas que definen el juego [94]. Hasta el momento se ha analizado uno de los aspectos que ayudan al logro de este objetivo, la GPC.

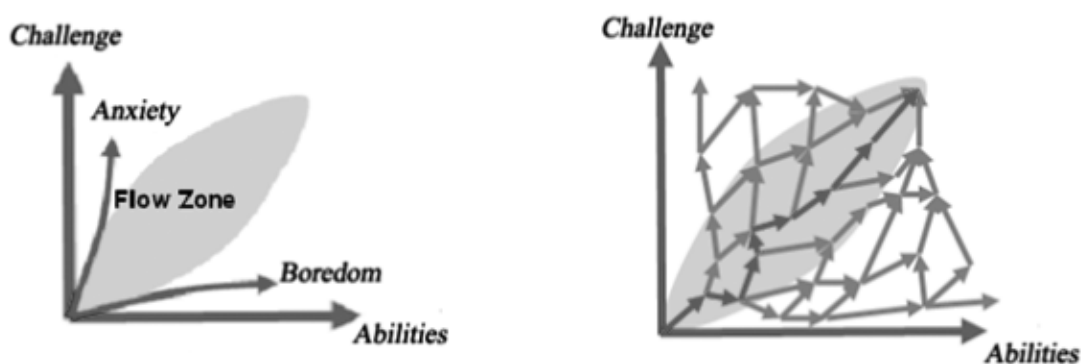


Figura 1.9: Principales estados emocionales propuestos por la teoría del Equilibrio y caminos críticos dentro y fuera de la Zona de Equilibrio. Fuente: [95].

En el área de los juegos serios y simuladores la auto-adaptabilidad es un tema crítico. El hecho de que el jugador deba desarrollar ciertas habilidades impone una configuración personalizada del videojuego. En cualquier proceso de aprendizaje incluyendo el de rehabilitación, se necesita del análisis de la individualidad del aprendiz o paciente. La ludificación del proceso de aprendizaje implica un diseño de juego más retador, impredecible y centrado en el jugador con vista a que exista una verdadera transferencia de conocimientos [96, 97].

A continuación se presentan los principales elementos de diseño a tener en cuenta cuando se desarrollan videojuegos de rehabilitación. Luego se abordarán los modelos propuestos para la creación de videojuegos auto-adaptativos como sustentos teóricos en el análisis

de ejemplos representativos en las terapias de rehabilitación.

1.6.1. El diseño de juegos para la rehabilitación

El diseño de un videojuego tiene un número considerable de elementos a tener en cuenta [98]. Los más significativos a los efectos del presente trabajo son:

- **Sistema de reglas**, define el modo de actuar de los jugadores en el círculo mágico¹² e influye en el tipo de juego.
- **Objetivo o reto**, tiene una relación directa con el fin de ganar el juego; en el cumplimiento del mismo el jugador pierde o gana.
- **Sistema de recompensas**, establece las formas de retroalimentación visual o sonora que el juego tiene para estimular al jugador cuando ha logrado vencer los retos definidos.
- **Argumento narrativo**, se refiere a la historia donde quedan definidos los retos y escenarios del juego. Su dimensión está dada por el tipo de juego y por lo general se recoge en el guión de contenidos del videojuego.

A diferencia de los juegos para el ocio, la lógica de diseño de los videojuegos para la rehabilitación implica ajustes en los elementos expuestos anteriormente. En un inicio los juegos para la rehabilitación no tienen asociados un argumento narrativo complejo ya que los tiempos de interacción no exceden la hora [2, 10, 49], por ejemplo en los referentes para el tratamiento de la visión (epígrafe 1.3) los tiempos por sesión oscilan sobre los 30 minutos.

Los videojuegos para la rehabilitación se centran por lo general en un argumento sencillo y motivador donde queda bien clara la lógica principal del juego. El reto debe someter a

¹²Espacio temporal, real o virtual donde se desarrolla el juego [55].

prueba la capacidad del paciente sin llevarlo al límite, esto quiere decir que necesita de un mecanismo regulador que varíe los saltos de complejidad de paciente a paciente según establecen los protocolos de tratamiento. Por otra parte en la rehabilitación se trabaja sobre mecanismos de retroalimentación que evitan frustrar al jugador a pesar de que haya fallado el reto; un manejo adecuado de los fallos resulta fundamental para lograr una rehabilitación exitosa [22].

1.6.2. Modelos para videojuegos auto-adaptativos

A pesar de la gran actividad de investigaciones en el área de los videojuegos auto-adaptativos no se ha identificado una amplia gama de trabajos que apunten a modelos para este tipo de sistema [11, 13, 91, 95, 99, 100]. Esto se debe a que la variedad de videojuegos impone métodos diferentes de abordar el problema de la auto-adaptabilidad [11]. En lo referente al empleo de la GPC los intentos son aislados los resaltándola como un área de investigación activa y próspera [101]. Los elementos significativos a tener en cuenta en este contexto lo constituyen la experiencia de juego y el contenido. 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 [94].

Jenova Chen, creador del concepto ajuste dinámico de la dificultad en videojuegos, define dos modelos de videojuegos auto-adaptativos empleando como sustento la teoría del Equilibrio [95]. Los modelos propuestos se conciben desde el área del diseño de videojuegos y son denominados como Ajuste Pasivo de la ZE y Ajuste Activo de la ZE. El Ajuste Pasivo de la ZE (Ver Figura 1.10) se desarrolla como un ciclo de procesos fundamentales. En un inicio el jugador genera un grupo de datos como resultado de su proceso de interacción con el juego (raw data), esta información es procesada por el sistema de monitoreo que filtra los datos e identifica el estado de motivación. Según sea el

estado el sistema de análisis decide cuáles son los contenidos del juego que deben variar y el sistema de juego procede a su actualización. Con esta última acción el modelo ajusta la experiencia de juego y se somete nuevamente el entorno de juego a la consideración del jugador. Su autor reconoce que es un sistema complejo de implementar y recientes resúmenes sobre el tema reafirman este criterio [11, 91, 94].

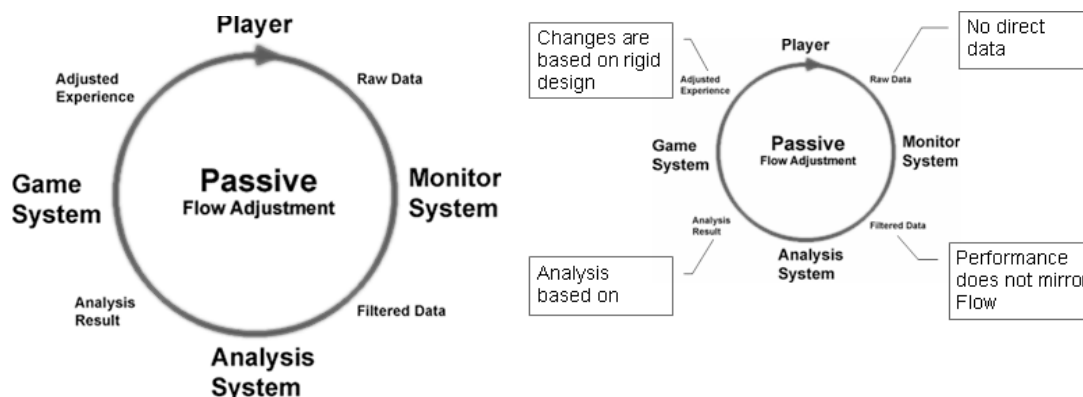


Figura 1.10: Modelo de Ajuste Pasivo de la ZE y principales problemas en la implementación. Fuente: [95].

El modelo de Ajuste Activo de la ZE adiciona un mayor nivel de participación del jugador, pues le permite la selección del reto dentro de una variedad de propuestas para su avance hacia la ZE de forma más rápida y apelando al aumento o disminución de la complejidad de los retos que asume. Ambos esquemas han sido poco aplicados en videojuegos comerciales no siendo así en otros casos como el videojuego Flow,¹³ desarrollado por Jenova Chen y Minecraft¹⁴ el más exitoso juego Indie¹⁵.

La búsqueda de modelos de implementación del Ajuste Pasivo o Activo de la ZE ha permitido contrastar que las dificultades identificadas por Jenova Chen (Ver Figura 1.10) ocupan buena parte del tiempo de los investigadores. Hasta la fecha no se ha identificado un modelo completamente desarrollado para soportar la implementación del Ajuste

¹³<http://thatgamecompany.com/games/flow/pc/>

¹⁴<https://minecraft.net/>

¹⁵Denominación de juegos creados por desarrolladores independientes con una alta capacidad creativa.

Pasivo o Activo de la ZE. El intento más completo que identifica las partes fundamentales de este es presentado por Ricardo Lopes y Rafael Bidarra tal y como se ilustra en la Figura 1.11 [11].

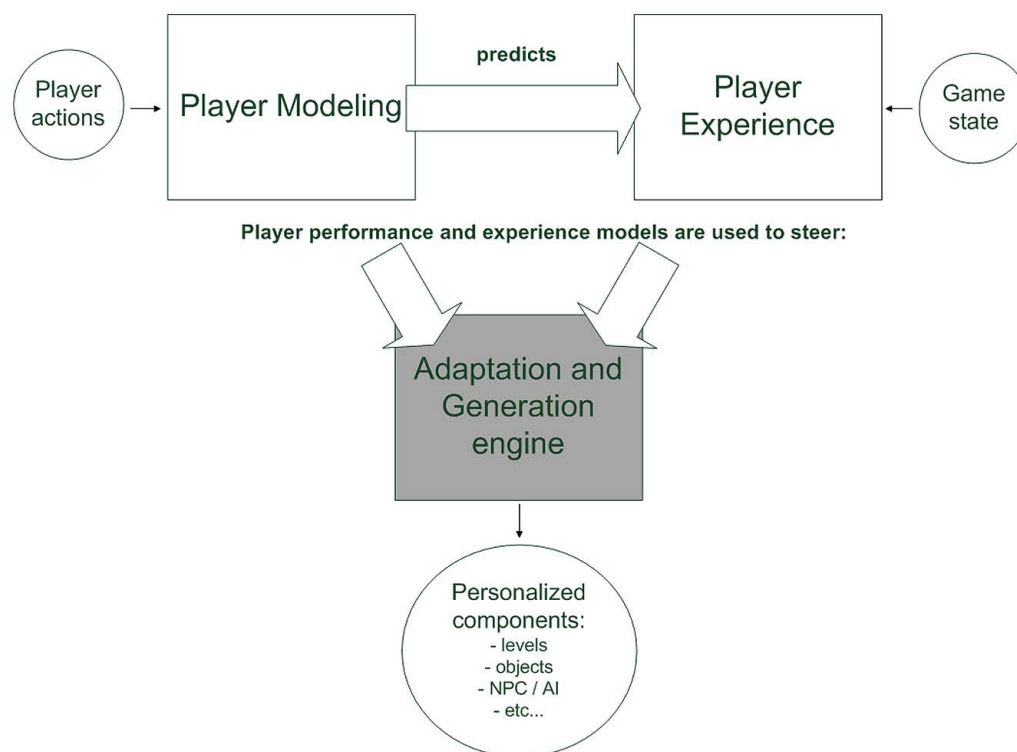


Figura 1.11: Elementos fundamentales para un modelo de implementación del Ajuste Pasivo de la ZE. Fuente: [11].

El funcionamiento del modelo se centra en que, recibiendo como entradas las acciones del jugador y un estado del juego se logra actualizar la función de rendimiento del jugador. A través de esta se crea un modelo de las acciones, preferencias o personalidad del jugador (modelo del jugador) que permite predecir futuras experiencias partiendo del estado actual del juego. Los resultados de ambas etapas se emplean con vista a orientar el motor de adaptación y generación así como el proceso de personalización de los contenidos del juego. Estas últimas acciones se soportan por técnicas GPC.

En el sentido de analizar la posible completitud de este modelo se identifica que, en

lo referente al modelo del jugador y experiencia del jugador se ha avanzado hacia la modelación a partir de variables cualitativas y cuantitativas, estas últimas son las de mayor observación producto a su variedad y complejidad en las mediciones [91, 102]. La dificultad fundamental y actual área de investigación es cómo lograr una conexión efectiva entre los resultados de los modelos anteriores con el motor de adaptación y generación, de forma que el jugador oriente el sistema de juego [61, 68, 94].

En resumen los resultados existentes convergen a la búsqueda de un modelo para la creación de videojuegos auto-adaptativos, pero la práctica ha demostrado que la variedad de videojuegos, así como el enfoque de modelación del jugador impiden llegar a métodos que garanticen un alto nivel de generalización.

A los efectos del presente trabajo, las investigaciones que apuntan hacia la modelación de la auto-adaptabilidad en videojuegos resultan una importante guía para la concreción del objetivo propuesto. En un primer nivel el modelo de Ajuste Pasivo o Activo de la ZE, así como las observaciones realizadas por Ricardo Lopes y Rafael Bidarra resultan ser las guías seleccionadas para un análisis de la auto-adaptabilidad en videojuegos para la rehabilitación. A continuación, se expone un análisis de los referentes relacionados con la rehabilitación para identificar el nivel de ajuste al esquema general de auto-adaptabilidad presentado anteriormente, con énfasis en los sustentos técnicos para una efectiva GPC.

1.6.3. La auto-adaptabilidad en la rehabilitación.

La auto-adaptabilidad es reconocida como una necesidad en los videojuegos para la rehabilitación [10, 103]. La principal dificultad en estos es lograr un equilibrio entre el protocolo de tratamiento y el juego. Según recientes resúmenes [7, 10] el número de videojuegos que abordan algún nivel de adaptabilidad es reducido (ocho según apunta el resumen más actualizado). Las tendencias fundamentales han estado en cómo lograr un

efectivo modelo del jugador respetando algún protocolo establecido.

Los esquemas adoptados se han centrado en la definición de heurísticas o la aplicación de métodos avanzados de IA para ajustar la distribución espacial de los contenidos de la terapia de acuerdo al rendimiento del paciente. Todas las investigaciones identificadas realizan algún nivel GPC, pero de estas solo reconoce el término como importante para la rehabilitación basada en videojuegos el colectivo de autores encabezado por Dajana Dimovska en su trabajo “Towards Procedural Level Generation for Rehabilitation” [9]. En la búsqueda de un modelo para la implementación de la auto-adaptabilidad en videojuegos (Ver epígrafe 1.6.2) se ha respondido a tres incógnitas fundamentales:

- ¿Qué contenidos del videojuego deben ser transformados?
- ¿Cuándo deben ser transformados los contenidos del videojuego?
- ¿Cómo deben ser transformados los contenidos del videojuego?

Partiendo de estas preguntas de investigación y teniendo en cuenta importantes aspectos en el diseño de juegos terapéuticos, como juego significativo, reto y manejo adecuado de los fallos, se realizará el análisis de tres de los referentes más completos identificados en la bibliografía consultada que coinciden con el tema de rehabilitación de funciones motoras.

El proceso adaptativo propuesto por Dajana Dimovska introduce por primera vez la GPC en la rehabilitación. La investigación muestra y valida una propuesta de juego Ski Wii¹⁶ para la rehabilitación de funciones motoras. El juego significativo está relacionado con el objetivo de arribar a la meta atrapando la mayor cantidad de puertas posibles (Ver Figura 1.12).

¹⁶Juego de deslizamiento sobre la nieve con el fin de atrapar banderas o puertas, colocadas siguiendo diferentes reglas de juego. Se emplea la tabla de balance Wii como medio de interacción.

$$P^{dir} = \begin{cases} 0, & \text{if successful pass} \\ E^{dir}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

where $dir = \{left, right\}$ and $E^{dir} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$

$$D^{dir} = P_N^{dir} (d_{max} - d_{min}) + d_{min} \quad (2)$$

where $dir = \{left, right\}$; P_N^{dir} is the normalized P value

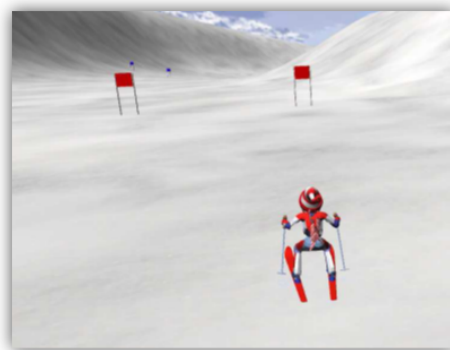


Figura 1.12: Esquema de adaptabilidad aplicado en el juego Ski Wii. Fuente: [9].

En el anterior trabajo la GPC se centra en la generación en preprocesamiento del terreno en primer orden, para ello emplea un algoritmo de generación basado en la curva Catmull-Rom Splines el cual, partiendo de 4 puntos, permite generar secciones de un camino en zigzag. Luego se aplica la GPC en tiempo real permitiendo la distribución espacial de los contenidos puertas tomando en cuenta el rendimiento del paciente en el anterior ejercicio (P^{dir}). Tal y como se muestra en la Figura 1.12 la heurística para la adaptabilidad (D^{dir}) se basa en la distancia entre el centro del camino y la posición del jugador al pasar o no por las puertas. Estas dos opciones definen si hubo éxito o fracaso en el ejercicio lo que implica el aumento o disminución de la distancia entre las puertas y el centro del camino. El mecanismo de adaptabilidad es regulado por los límites (d_{max}, d_{min}) establecidos por el terapeuta como resultado de su experiencia. El reto y manejo adecuado de los fallos se trabaja con el mismo mecanismo, aumentando y disminuyendo la distancia. La retroalimentación es pobre porque solo se muestran los éxitos.

Otro importante referente es el trabajo publicado por Nathaniel Rossol y otros en [8], el cual aborda por primera vez las técnicas avanzadas de IA como las Redes Bayesianas para implementar la auto-adaptabilidad en la rehabilitación. Los autores de esta investigación se centran en el entrenamiento de pacientes que deben usar sillas de ruedas. Para ello, implementaron un sistema que permite crear diferentes entornos de entrenamiento y

definir las variables casuísticamente relacionadas para modelar de manera automática el rendimiento del paciente en el ejercicio. La Figura 1.13 muestra la red configurada para la validación del trabajo y sus tablas de correspondencia probabilísticas así como los valores de probabilidad a priori.

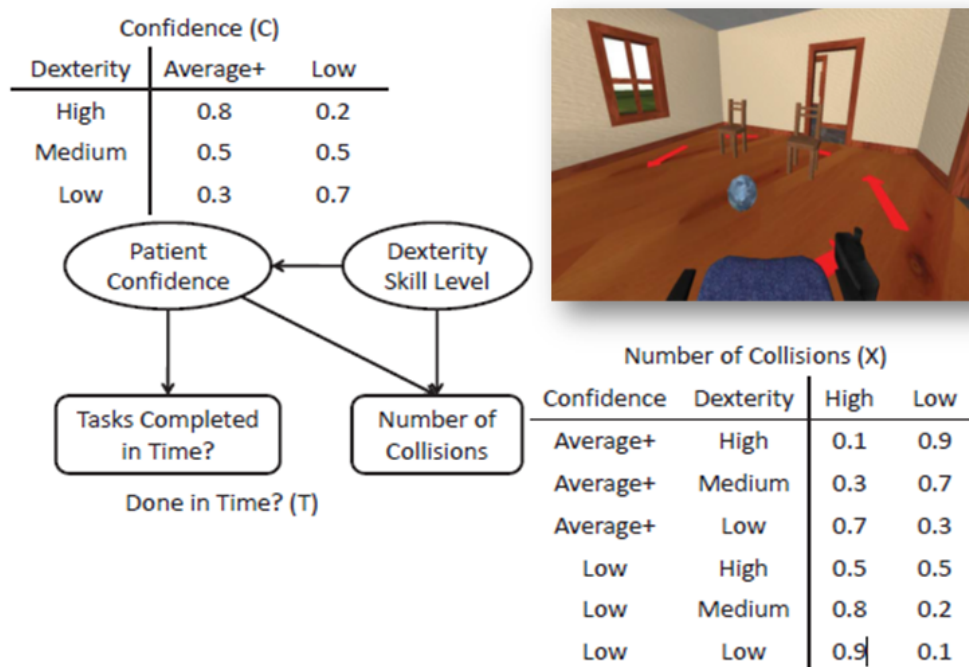


Figura 1.13: Red bayesiana para medir el rendimiento del paciente y realizar el cambio automático de nivel. Fuente: [8].

La auto-adaptabilidad se centra en el procesamiento del rendimiento del paciente a partir del análisis de su nivel de habilidad (Dexterity Skill Level). Esta variable depende de las variables confianza del paciente, tiempo de ejecución y cantidad de colisiones. Todas las variables responden a una valoración cualitativa que a su vez las relaciona con valores de probabilidad a priori. Como resultado del ejercicio el sistema puede establecer si el paciente está apto para pasar al próximo nivel de dificultad, en cuyo caso se carga el nivel correspondiente según sea la salida (bajo, medio, alto).

La propuesta no ejecuta un proceso GPC, solo se centra en la carga del nivel previamente

configurado por el terapeuta. En este sentido el juego significativo, la percepción del reto y el manejo adecuado de los fallos pueden ser bien identificados por el paciente mediante la información brindada por el terapeuta, no por el sistema.

El tercer trabajo presentado por Michele Pirovano y otros, muestra una investigación que aborda un enfoque híbrido al unir técnicas avanzadas de IA y heurísticas. Para el modelo del jugador el sistema define dos niveles, esto garantiza un alto grado de seguridad en cuanto a la ejecución de los ejercicios y el nivel de personalización de estos; se aplica la lógica difusa [104] y el método Quest [105] respectivamente. El resultado devuelto por el modelo del jugador influye en un sistema GPC en tiempo real que configura algunas propiedades de los ejercicios [7].

El juego significativo propuesto como prueba es el juego Atrapar la Fruta, como se puede ver en la Figura 1.14a. Empleando el dispositivo Kinect¹⁷ el usuario mueve el avatar que está posicionado debajo del árbol. El subsistema de lógica difusa compara los grados de inclinación de la cabeza y cuerpo identificando el rendimiento del jugador en cuanto a la calidad de ejecución de los ejercicios. Todos los estados indebidos son notificados al jugador y, a su vez, se regula el segundo nivel de adaptabilidad. Este nivel de adaptabilidad está relacionado con el método Quest, con este se define la complejidad (posición de la fruta en el eje x) convergiendo, poco a poco, a la posición donde el jugador puede alcanzar la fruta; para ello la complejidad del reto aumenta la mitad si logra un éxito y disminuye en el mismo orden si falla. La Figura 1.14b evidencia la existencia de espacios de tiempo donde el jugador puede identificarse como estancado, lo cual evita que el jugador perciba la necesaria esperanza de la mejora.

En sentido general se realiza un buen trabajo sobre el reto y manejo adecuado de los fallos, este último es insuficiente en los estados de estancamiento en donde el jugador

¹⁷<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>

puede perder el control del tratamiento por falta de retroalimentación.

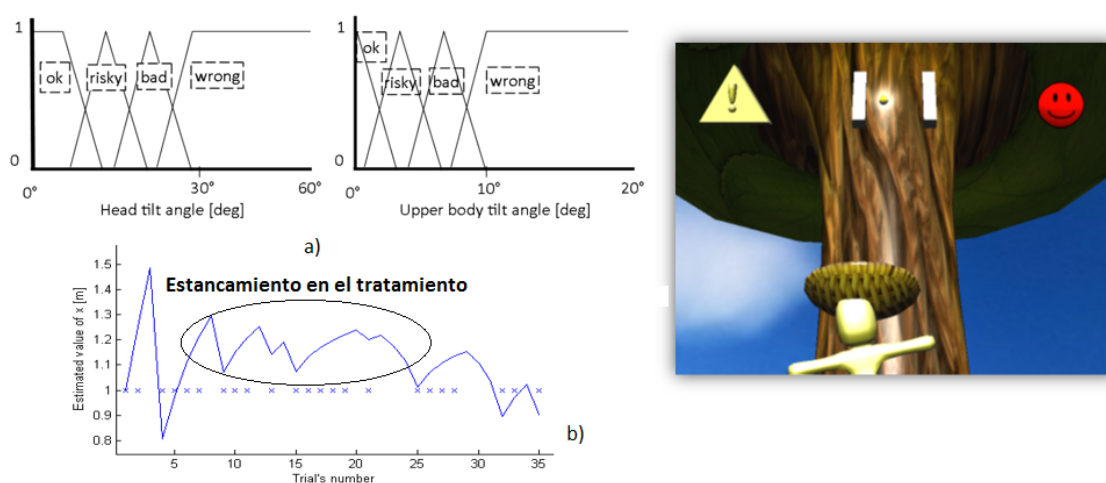


Figura 1.14: Niveles de adaptabilidad aplicados en el juego Atrapar la Fruta. Fuente: [7].

En los ejemplos analizados se trabaja la GPC en preprocesamiento y en tiempo de ejecución para configurar propiedades como la posición y orientación de los contenidos relacionados con el tratamiento (puertas, obstáculos y frutas respectivamente). La complejidad de las transformaciones en tiempo de ejecución no atentan contra el logro de la visualización en tiempo real, lo que permite clasificar los mecanismos aplicados como generación procedural en tiempo real.

Al analizar la aplicación de los videojuegos auto-adaptativos en la rehabilitación se identifica que el área más beneficiada ha sido la rehabilitación de funciones motoras. El desarrollo de los sistemas está retrasado en comparación con el área de estudio puro de videojuegos auto-adaptativos (ver epígrafe 1.6.2). Esto se debe, en gran medida, a que las formas de implementar el modelo del jugador responden a criterios diferentes, por una parte se responde a un protocolo de tratamiento con ejercicios y variables bien definidas según el padecimiento, mientras que por la otra parte, las formas son más generales y siempre buscan la satisfacción del jugador. La dualidad de objetivos, rehabilitar y divertir al paciente, aumentan la complejidad del modelo del jugador.

Por otra parte, las potencialidades provistas por la GPC no han sido asumidas como un elemento significativo en los videojuegos para la rehabilitación, dejando abierta un área de interesante aplicación. En el presente trabajo se realizan algunos aportes en este sentido.

1.7. La Zona de Desarrollo Próximo en la rehabilitación.

Los anteriores trabajos sustentan sus 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 [106]. La ayuda la puede brindar un tutor, los instrumentos de aprendizaje, el medio social, la familia, en esencia cualquier elemento en su contexto de desarrollo puede potenciar el desarrollo de un individuo.

El impacto de la ayuda se traduce en un nivel de desarrollo superior al que tenía el individuo al inicio y menor del alcanzado con la ayuda. En la Figura 1.15 se presenta un esquema que ilustra lo anterior desde el análisis de una de las dimensiones del desarrollo individual, el nivel de habilidad.

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 consciente [107] o inconsciente [7, 8, 9, 30]. La visión de aplicación de la misma viene desde la educación asistida por ordenador, en los llamados sistemas tutoriales (tutoring systems). Estos sistemas buscan la forma de simular un tutor capaz de guiar el aprendizaje de alguna materia automatizando uno o varios métodos de aprendizaje [108].

En el ámbito del tratamiento de discapacidades visuales solo se ha encontrado un trabajo

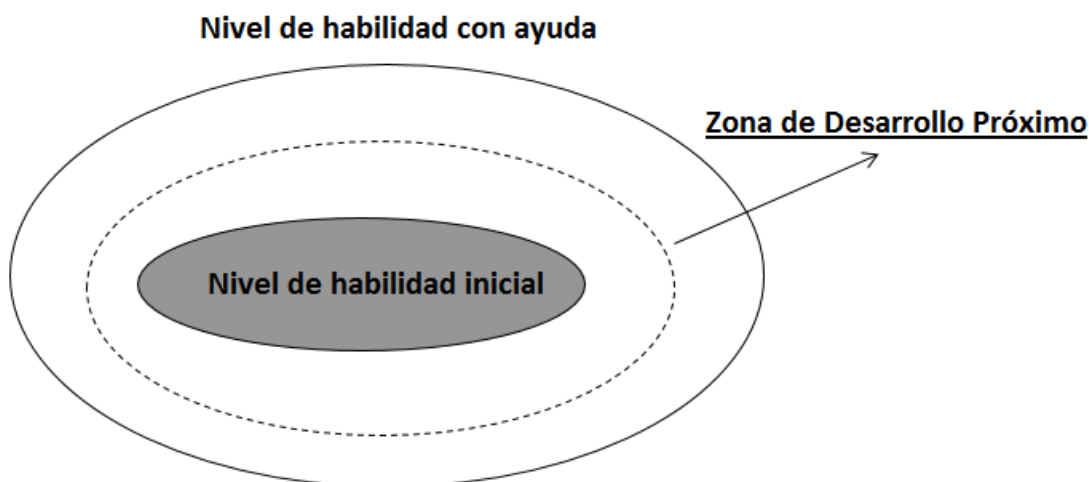


Figura 1.15: Vista de la teoría ZDP y su impacto en el nivel de habilidad de una persona. Fuente: elaboración propia.

que aborda en profundidad este concepto con total apego a la ZDP [107]. En el mismo se busca el desarrollo de las habilidades visuales y espaciales desde un ajuste dinámico de los ejercicios. Este trabajo realiza un análisis de otra teoría extensión de ZDP, el Ámbito del Desarrollo (Developmental Range) o ZDP dinámica. Partiendo de esta Michael W. Connell y David A. Stevens proponen un tutor automático para ajustar la ZDP de manera dinámica. El mismo reconoce el dominio de conocimiento de los niños mediante 30 ejercicios que incluyen atrapar objetos similares y dibujar un patrón definido. El tutor aprende mediante el análisis del desempeño y ajusta la próxima secuencia de ejercicios eliminando los no exitosos e incorporando otros según ejemplos tipos que dependen de la edad o del grado de escolaridad.

A partir de los trabajos identificados [7, 8, 9, 17, 30, 107] , se concluye que el uso de la teoría ZDP en la rehabilitación es enfocado en la simulación de sistemas tutoriales que, de manera empírica (prueba y error), van acumulando información que les permite ajustar los ejercicios al nivel de desarrollo del paciente. El presente trabajo aborda la aplicación de ZDP desde otra óptica y en conjunto con la teoría del Equilibrio.

1.8. Conclusiones parciales

Luego de realizar un estudio sobre importantes referentes en el tratamiento de la visión con videojuegos, la GPC en videojuegos y su relevancia en el desarrollo de videojuegos auto-adaptativos se concluye lo siguiente:

- 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 1.6.2) 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.

Capítulo **2**

MODELO PARA LA
REHABILITACIÓN DE LA AGUDEZA
VISUAL CON VIDEOJUEGOS

2.1. Introducción al capítulo

En el capítulo se exponen los análisis derivados del estudio de los referentes teóricos sobre la creación de un modelo de generación procedural de contenido en tiempo real para la rehabilitación de la agudeza visual con videojuegos. Para ello, se define el marco metodológico de la construcción del modelo que se relaciona con los principios, componentes, premisas, modelo funcional y cualidades.

2.2. Estrategia para el desarrollo del modelo

Un modelo, desde la metodología de la investigación científica puede definirse como:

- “...representación ideal del objeto o fenómeno a investigar, donde el sujeto abstrae todos aquellos elementos esenciales y las relaciones que conforman al objeto y lo sistematiza a un plano superior” [109].
- “...idealización que hace el hombre del objeto de investigación para el esclarecimiento de la problemática, que tiene que resolver en el proceso de la investigación científica, se convierte en el instrumento para la optimización de su actividad científica, donde su expresión superior se encuentra en el modelo sistémico estructural” [110].

Estos conceptos definen la utilidad del modelo como sustituto del objeto de estudio, con la finalidad de optimizar la actividad científica en la búsqueda de una solución a la problemática planteada. Para el cumplimiento de esta propiedad el modelo desarrollado en esta investigación se sustenta en la descripción de diferentes elementos como: principios, premisas, componentes, modelo funcional y cualidades.

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 [111, 112] 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 Ambliopía¹” (Apéndice D). En este 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, 113]. Además, constituyó el marco de aplicación de diferentes aproximaciones del modelo que fueron evaluadas con el videojuego Meteorix [114, 115].

2.3. 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, es 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.
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.

¹Enfermedad de tipo funcional que se evidencia por una AV por debajo de la unidad (superior a cero si se mide con LogMAR) sin una causa biológica aparente [38]

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.

Para implementar el modelo en un videojuego debe cumplirse un número de premisas que se convierten en requerimientos del videojuego. Estos requerimientos se relacionan con características de los juegos de tipo FPS, además de especificaciones para los contenidos terapéuticos relacionados con el protocolo LogMAR.

1. Configurar la cámara en primera persona.
2. Visualizar el arma o contenidos de retroalimentación que enfatizan la perspectiva en primera persona.
3. Interactuar con los contenidos objetivos (terapéuticos) a través del mecanismo apuntar-disparar o focalizar-seleccionar si se tiene en cuenta el sentido de la IHC.
4. Bonificar mediante contenidos de tipo arma, vida o cualquier equivalente como la energía.
5. Los optotipos 3D deben modelarse a escala real, con igual ancho, alto y profundidad. El valor para cada dimensión es de 5.5 centímetros, equivalente al tamaño de los optotipos que se relacionan con la peor agudeza visual.
6. El diseño de los ayudantes debe responder a los aspectos teóricos descritos en el epígrafe 2.3.1.

2.3.1. Los ayudantes en la rehabilitación de la visión

Tal y como se analizó en el epígrafe 1.7, los videojuegos son una especie de ayudante, una forma diferente que permite elevar el desarrollo de las personas desde la automatización de métodos de aprendizaje donde la interactividad y ludificación juegan un papel fundamental. La automatización del proceder de los profesores en el aula ha sido la fuente de inspiración de los sistemas tutoriales, los cuales emulan el comportamiento de los profesores en diferentes contextos educativos.

Este enfoque trabaja sobre la ZDP a un alto nivel, sin llegar a la esencia de cuál elemento constituye la verdadera ayuda y si aplica uno o varios métodos de enseñanza. La identificación y personalización de los métodos de enseñanza para llevar desde la automatización el aprendizaje personalizado, constituye un área importante de investigación.

La rehabilitación puede concebirse como un proceso de aprendizaje. Según la Organización Mundial de la Salud, la rehabilitación en medicina se define como “el conjunto de medidas sociales, educativas y profesionales destinadas a restituir al paciente minusválido la mayor capacidad e independencia posible” [116]. La restitución de la capacidad del paciente en el nuevo contexto físico y social que lo circunda requiere de la ejecución de un protocolo de rehabilitación (proceso de aprendizaje). En este contexto el ayudante puede ser un videojuego. Un análisis más profundo conduce a que son los contenidos del videojuego los que, combinados, brindan la ayuda al aprendizaje o recuperación de las habilidades perdidas por la enfermedad (Ver epígrafe 1.6.3).

En el tratamiento de la agudeza visual una ayuda para que un paciente logre identificar un objetivo es la incorporación de un efecto gráfico que lo resalte. Con el ejemplo anterior la ayuda llega a su esencia, a la capacidad de suprimir uno o varios ruidos que en su mayoría dependen de la enfermedad, aunque existen los que se derivan del nivel de habilidad para

jugar (interacción) o de la capacidad cognitiva del paciente.

El ruido es un término con definiciones en diferentes ámbitos [117], en esencia se refiere a la interferencia sufrida por una señal que afecta su adecuada interpretación. En el contexto de la rehabilitación el término no ha sido empleado y constituye un elemento fundamental para la definición de ayudante que se defiende en este trabajo. Las definiciones resultantes en tal sentido son las siguientes:

- 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.

Partiendo de la definición de ayudante, resulta importante la observación de que en el diseño de los ayudantes debe buscarse la supresión de los ruidos que alejan el entorno de juego del protocolo de tratamiento o medición. En el caso de la agudeza visual los ayudantes deben orientarse a contrarrestar el ruido relacionado con el tamaño del contenido objetivo (reto), el movimiento de los contenidos, la orientación espacial, el color, contraste y la cantidad de objetos en el campo visual.

La concepción del diseño de videojuegos sustentada en el principio del ayudante como supresor de ruido, constituye un aporte importante en el desarrollo de los juegos serios para la rehabilitación [114].

2.4. Submodelo GPC para videojuegos

Los estudios de la GPC evidencian un número significativo de soluciones para videojuegos con puntos de vistas diferentes y gran especialización. Según los análisis no existen propuestas de modelos para la GPC y esto influye en la variedad de formas en que se adaptan los entornos y la experiencia de juego en los videojuegos auto-adaptativos (epígrafe 1.6.2). Para llegar a la definición de los componentes del modelo para la rehabilitación de la agudeza visual con videojuegos auto-adaptativos se aplicó, como estrategia, la creación de un submodelo GPC flexible para adaptar sus componentes y desarrollar el modelo.

El submodelo GPC llamado Generador Basado en Capas (GBC), da respuesta al principio de generación de entornos infinitos 3D. En el proceso de modelación se recurrió al paradigma de agente inteligente combinado con las técnicas de subdivisión espacial sistemas de losas y capas (Ver Figura 2.1).

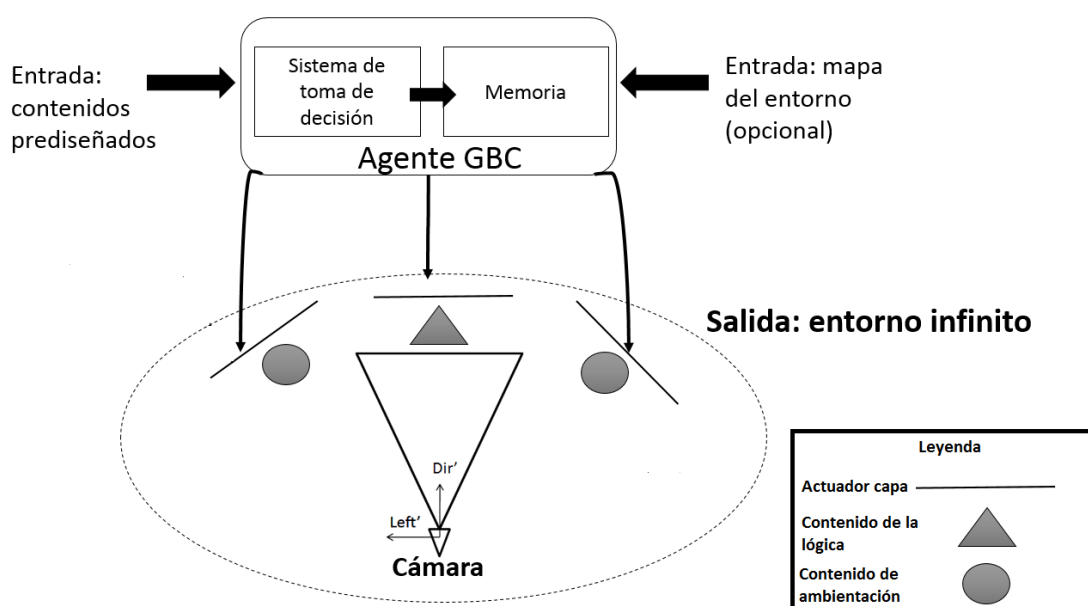


Figura 2.1: Submodelo Generador Basado en Capas. Fuente: elaboración propia.

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.

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 topología². Este componente responde a la unidad básica de los sistemas de subdivisión basados en losas o capas (epígrafe 1.5.1). Presenta orientación y posición, lo que garantiza la correcta ubicación de los contenidos. Para cumplir con su función puede aplicar diferentes técnicas de generación acorde a los primeros dos niveles de la pirámide GPC (epígrafe 1.5).

Sistema de toma de decisión: ejecuta el conjunto de reglas que definen la estrategia de generación del entorno, ejemplo llenado del volumen de visión y administrador de páginas (epígrafe 1.5.1), apoyándose en la información almacenada en la memoria y en el seguimiento al usuario (posición y orientación de la cámara).

Memoria: elemento utilizado por los agentes inteligentes para la toma de decisiones [104]. En este contexto le provee al generador un espacio de almacenamiento de información que se actualiza al eliminar los contenidos que dejan de ser

²Forma geométrica de una capa o losa que delimita el espacio que controla. Puede ser 2D (Punto, Rectángulo) o 3D (Cubo, Esfera).

significativos al pasar el tiempo (tiempo de vida), ejemplo los contenidos de la lógica de un videojuego. Además, al utilizar este componente se trabaja sobre la coherencia estructural en los entornos generados. El sistema de capas y losas ayudan a la organización y acceso a la información.

Para que el agente GBC logre una generación continua del entorno ejecuta en cada cuadro del ciclo de visualización el siguiente proceso :

1. Actualización de las posiciones y sistemas de orientación de todos los actuadores capas respecto a la cámara y según la estrategia de generación definida.
2. Chequeo de las colisiones entre actuadores capas. En los casos de colisión se corrigen si la estrategia no los concibe como parte de ella. Para el análisis de las colisiones se tienen en cuenta los algoritmos de colisión entre primitivas 2D (Rectángulos y Puntos) [119] y 3D (Cubos y Esferas) [118].
3. Generación de contenidos por cada actuador capa según su topología y la estrategia de generación definida. En este paso el generador selecciona si en el espacio de generación se deben posicionar nuevos contenidos o colocar algunos almacenados en la memoria.
4. Actualización de la memoria. En caso de que se cumpla el tiempo de significación establecido, se eliminan de la memoria los contenidos viejos y condicionan los espacios para almacenar nuevos contenidos.

Los Algoritmos 1 y 2 reflejan en síntesis las actividades desarrolladas para ejecutar el proceso de generación. En ellos se recogen las acciones referentes a la actualización del sistema de capas y generación de un entorno respectivamente.

Algoritmo 1 Actualizar sistema de capas. Sistematiza las actividades 1 y 2 del proceso

Entradas: cámara (*Camara*), estrategia de generación (*EG*) y conjunto de capas (*L*)

Salida: *L* actualizado

```
1: Para todo  $l_i \in L$  hacer
2:   ActualizarPosRelativa( $l_i$ , Camara)
3:   ActualizarOrientRelativa( $l_i$ , Camara)
4: Fin para
5: Si EG.Colisiones="No" entonces
6:   Colisiones  $\leftarrow$  {}
7:   Para todo  $l_i \in L$  hacer
8:     Colisiones  $\leftarrow$  ColisionCapas( $l_i$ )
9:     Si Colisiones  $\neq \phi$  entonces
10:      Corregir(Colisiones, EG)
11:   Fin Para
12: Fin Si
13: Retornar L
```

Algoritmo 2 Generar entorno. Sistematiza todas las actividades del proceso GPC

Entradas: Contenidos prediseñados (*C*), cámara (*Camara*), memoria (*M*), estrategia de generación (*EG*), tiempo de vida (*TiempoV*) y conjunto de capas (*L*)

Salida: Entorno

```
1:  $L \leftarrow$  ActualizarCapas(L, Camara, EG) // Se actualiza L (Algoritmo 1)
2: ContGenerados  $\leftarrow$  {}
3: Para todo  $l_i \in L$  hacer
4:   ContGenerados  $\leftarrow$  ContenidosEnMemoria( $l_i$ , M)
5:   Si ContGenerados  $\neq \phi$  entonces
6:     ActivarContenidos( $l_i$ , ContGenerados)
7:   De lo contrario
8:     ContGenerados  $\leftarrow$  GenerarPorCapa( $l_i$ , C, EG)
9:     ActualizarMemoria(M,  $l_i$ , ContGenerados)
10:  Fin Si
11:  Entorno  $\leftarrow$  ActualizarEntorno(Entorno, ContGenerados);
12: Fin para
13: ContEliminados  $\leftarrow$  {}
14: ContEliminados  $\leftarrow$  BorrarContViejos(M, TiempoV)
15: Entorno  $\leftarrow$  ReducirEntorno(Entorno, ContEliminados);
16: Retornar Entorno
```

Partiendo de la visión genérica del GBC se apoya la idea de la creación de un modelo general para la GPC. La combinación del paradigma de agente inteligente con las técnicas de subdivisión espacial sistema de capas o losas resulta un aporte teórico para el logro de la idea anterior. En el epígrafe 3.2 se demuestra su potencial práctico para la generación procedural en tiempo real de diferentes entornos utilizando varios tipos de configuraciones. Más adelante se demostrará su flexibilidad para el desarrollo del modelo objetivo del presente trabajo, pero antes resulta fundamental comprender el diseño del videojuego Meteorix.

2.5. Diseño del videojuego Meteorix

El videojuego Meteorix responde a un juego de tipo FPS de corte galáctico y cumple los requerimientos establecidos para esta clase de videojuegos (epígrafe 1.4). El argumento narrativo se centra en la necesidad de proteger el planeta Tierra de una lluvia de meteoritos radioactivos (Ver Figura 2.2). El jugador debe interceptar estos meteoritos, los cuales se identifican con los colores rojo, azul, verde, amarillo y violeta. A medida que el jugador va venciendo los retos, relacionados con los meteoritos de colores, el juego le premia con nuevos armamentos y el aumento de la energía de la nave. En caso de no interceptar los meteoritos a tiempo, estos se estrellan contra el planeta disminuyendo su vida. La acumulación de energía permite activar diferentes niveles de ayuda que la computadora de la nave provee. Estos ayudantes, explicados con más detalle en el epígrafe 2.6.3 por su relación directa con el modelo, evitan la frustración por los fallos.

El videojuego está compuesto por un grupo de contenidos que son regulados por el sistema de reglas para obtener la lógica del juego. El argumento narrativo define el sentido de las relaciones entre los contenidos más allá de su significado conceptual. Los retos (meteoritos de color) y el sistema de recompensas (armas, energía, vida del planeta,

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

ayudantes) constituyen los principales contenidos a controlar en el juego partiendo del argumento definido. El entorno es construido de forma continua dando la sensación de que es infinito y apelando a la generación procedural en tiempo real como principal sustento para la auto-adaptabilidad. El diseño fue sometido a prueba con 300 niños sanos los cuales mostraron un marcado interés al cooperar con el juego y permitir la exploración de sus habilidades perceptivas y motoras [113].



Figura 2.2: Videojuego Meteorix. Fuente: elaboración propia.

Meteorix constituye un aporte práctico ya que hasta la fecha no se conoce otro videojuego FPS auto-adaptativo para la rehabilitación de la agudeza visual [114]. Su potencial está soportado por el modelo que se describe a continuación.

2.6. Modelo terapeuta virtual ADD-Ayuda

El modelo se obtuvo a partir de la extensión del submodelo GBC, siguiendo los fundamentos del modelo Ajuste Pasivo de la ZE propuesto por Jenova Chen (epígrafe 1.6.2), así como los principios recogidos en el epígrafe 2.3. El resultado se presenta en la Figura 2.3 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 paciente con el entorno de juego. 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 dinámicamente el entorno de juego al nivel de habilidad del jugador, lo cual influye en el rendimiento de este último. El modelo activa toda su estructura para la ejecución del proceso ADD como muestra la Figura 2.4.

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

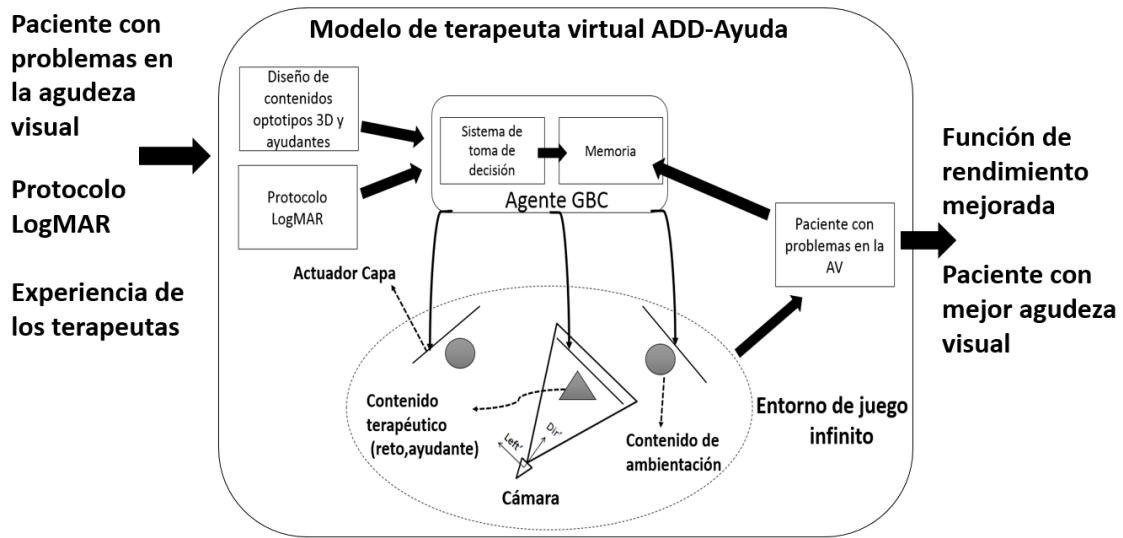


Figura 2.3: Extensión del submodelo GBC al modelo ADD-Ayuda. Fuente: elaboración propia.

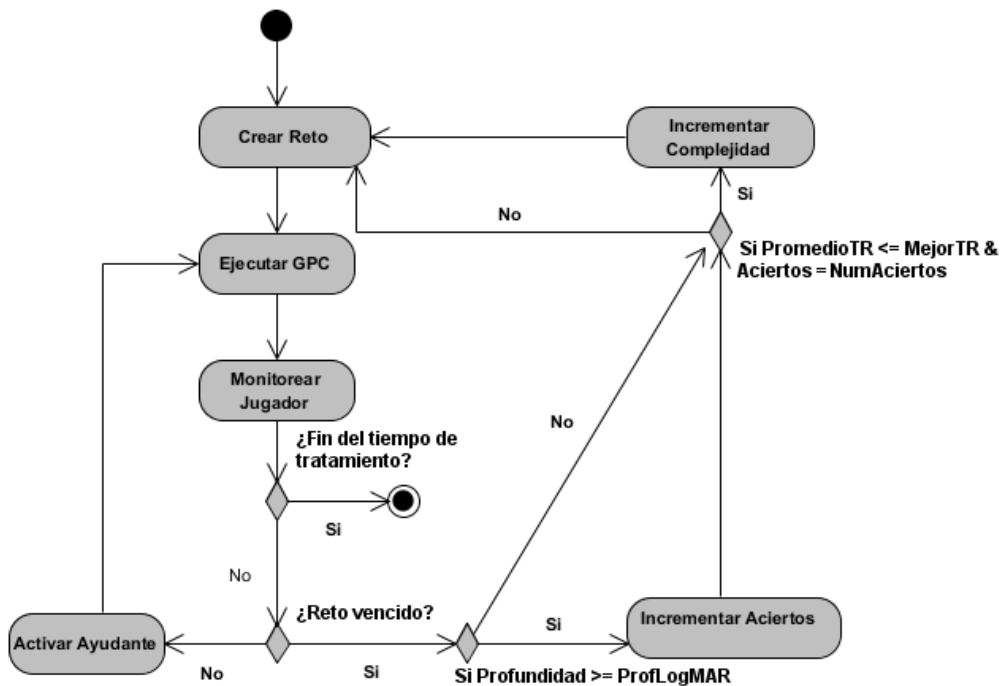


Figura 2.4: Proceso general del terapeuta virtual ADD-Ayuda. Fuente: elaboración propia.

El proceso ADD comienza con la creación del reto que aumenta en complejidad a partir del protocolo LogMAR. Luego recurre a la GPC (Algoritmo 2) que se relaciona con el conjunto de actuadores capas donde existe uno especializado en contenidos terapéuticos que posiciona el reto en el entorno. Por último se monitorea al paciente para identificar si el reto se venció (acierto) o no, esto ante todo pasa a la memoria del agente para luego, según sea el resultado de la inferencia (sistema de reglas $R\{R_1, \dots, R_6\}$), 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.

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 que fueron resueltos en un tiempo de reacción (*PromedioTR*) menor o igual al mejor *TR* de la sesión. Es importante apuntar que el modelo propuesto no realiza los ajustes de complejidad apelando a los datos históricos pertenecientes a diferentes partidas (sesiones), no obstante almacena los resultados promedios de las variables *TR*, *Profundidad*, Número de Aciertos, Fallos Totales así como los Errores por Reto en una estructura de ficheros XML con vista a los análisis posteriores por parte del terapeuta (Apéndice A).

El sistema de toma de decisión, componente principal para el control del proceso ADD, regula cada flujo de ejecución partiendo del análisis anterior. Para ello ejecuta el conjunto de reglas *R* tal que:

Variables condicionantes: tiempo de juego (*TG*), reto (*Reto*), profundidad del reto (*Profundidad*), profundidad asociada a LogMAR (*ProfLogMAR*), tiempo reacción del reto (*TR*), promedio TR (*PromedioTR*), suma de mejores TR (*SumTR*), mejor tiempo de reacción en la sesión (*MejorTR*), número esperado de aciertos consecutivos

(*NumAciertos*).

R_1 : Si $TG \geq 30$ entonces

Fin de la sesión

de lo contrario

R_2

R_2 : Si $Reto = \text{"Vencido"}$ entonces

R_3

R_5

R_6

CrearReto()

de lo contrario

ActivarAyudante()

R_3 : Si $Profundidad \geq ProfLogMAR$ entonces

IncrementarAciertos()

$SumTR \leftarrow SumTR + TR$

R_4

R_4 : Si $Aciertos = NumAciertos$ entonces

$PromedioTR \leftarrow SumTR / NumAciertos$

$SumTR \leftarrow 0$

R_5 : Si $PromedioTR \leq MejorTR$ y $Aciertos = NumAciertos$ entonces

IncrementarComplejidad()

R_6 : Si $TR < MejorTR$ entonces

$MejorTR \leftarrow TR$

El proceso ADD constituye el aporte teórico más importante para la rehabilitación ya que define diferentes etapas que facilitan la articulación de las teorías del Equilibrio y ZDP

a través de la GPC [114, 115]. El Equilibrio propone la necesidad de equilibrar el nivel de habilidad y la complejidad del reto para permanecer motivado. En este aspecto, el proceso controla el aumento de la complejidad (epígrafe 2.6.2) en el sentido de adecuarla a la habilidad óculo-manual³, expresada en los valores de TR y número de aciertos en el rango de *Profundidad* esperado ($Profundidad \geq ProfLogMAR$). En el caso de que el reto esté por encima de la habilidad óculo-manual se coloca al paciente fuera de su zona de desarrollo, por lo que elevarlo a este nuevo estadio necesita de un mecanismo de ayuda según ZDP. En este momento se aplica un ayudante y de esta forma integra las teorías del Equilibrio y ZDP [114].

Por otra parte, la estructura del modelo así como su funcionamiento interno representado por el proceso ADD, presentan características que evidencian su flexibilidad para extenderlo al tratamiento de otras funciones visuales. Una de estas es la de colocar los contenidos terapéuticos en el campo visual ya que presenta un actuador capa que se encarga de generar contenidos dentro del volumen de visión de la cámara. Con esta característica se garantiza que el estímulo sea visible desde el momento de su aparición. Además, los aumentos de complejidad del (epígrafe 2.6.3) reto pueden seguir regulados por la habilidad óculo-manual debido a que expresa el buen funcionamiento del sistema visual humano [40]. Los ayudantes por su parte mantienen vigencia pues su diseño trabaja sobre ruidos comunes a otras funciones como la habilidad para controlar el juego, movimiento y contraste. La diferencia recaería solo en el protocolo de tratamiento o medición, vinculado de forma estrecha con la función que se desea rehabilitar.

A continuación se presentarán las especificidades del modelo para realizar el ajuste dinámico de los retos y ayudantes. En tal sentido se precisa comprender la complejidad de la cuantificación de la habilidad óculo-manual, valorada en un estudio estadístico con

³Capacidad que el ser humano desarrolla para utilizar, simultáneamente y de forma integrada, la vista y las manos con el propósito de realizar una actividad [120].

niños sanos.

2.6.1. Cuantificación de la habilidad óculo-manual

La cuantificación de la habilidad óculo-manual es un elemento importante para trabajar sobre la motivación de los pacientes y mejorar su rendimiento. Con este fin se realizó un estudio sobre 300 niños con el mejor nivel de agudeza visual (cero según LogMAR) y edades comprendidas entre los cinco y siete años. La herramienta empleada fue el videojuego Meteorix. En esta ocasión se sometió cada niño a 50 retos (tareas en el contexto experimental). La ejecución de 50 tareas permiten obtener resultados significativos en las investigaciones de percepción visual [105].

En el estudio se analizaron variables como la *Edad* y *Profundidad* asociada a la intersección de los meteoritos, así como el *TR* en el proceso de apuntar y disparar. Como resultado se identificó que el nivel de correlación entre las variables *Profundidad* y *TR* fue alto (86 %), llegando a un valor de 95.6 % a la edad de siete años [35]. Sobre la base de los resultados del estudio se decidió tomar como variables a controlar por el modelo la *Profundidad* y *TR*. Ambas reflejan la habilidad óculo-manual, pero la *Profundidad* se relaciona más con el nivel de agudeza visual ya que varía el tamaño del meteorito (optotipo 3D), mientras que *TR* expresa el tiempo en el proceso de interacción con los meteoritos a diferentes tamaños desde que aparecen en el campo visual.

2.6.2. Ajuste dinámico de los retos

Los retos para el tratamiento de la agudeza visual deben, como principio del modelo, ajustarse al protocolo LogMAR. Esto impone adecuar el tamaño de los optotipos que conforman el reto al test LogMAR, según el nivel de complejidad definido. Para esto los contenidos terapéuticos de tipo reto deben diseñarse teniendo en cuenta que las

dimensiones del alto, ancho y profundidad son iguales. En este caso se tuvo en cuenta la dimensión en profundidad porque los optotipos que conforman el reto son 3D.

Al cumplir este requisito se logró una proyección aproximada a lo que establece el test, a pesar de que cambie de perspectiva producto al movimiento de la cámara (Anexo B). Es importante remarcar que para el tratamiento de la agudeza visual lo más importante es el tamaño del optotipo (mínimo reconocible) y en un segundo caso la separación entre estos (mínimo separable). Siguiendo este orden es que se aumenta la complejidad de los retos, realizándose aumentos en el mismo nivel y entre niveles. Para este control el terapeuta virtual destina una capa (l_{terap}) que se orienta siempre respecto a la cámara y mantiene una distancia variable según sea el nivel de dificultad definido. Esta distancia desde una vista en primera persona es equivalente a la *Profundidad*.

El test de entrada al modelo tiene once filas de optotipos con variaciones en el tamaño de una fila a otra (equivalentes a 0.5 centímetros). El aumento de la complejidad en un mismo nivel, se relaciona con aumentar la *Profundidad* para acercar el tamaño de los optotipos 3D al tamaño de los optotipos del test LogMAR. El límite de profundidad ($Profundidad_{Lim}$) representa la profundidad donde se alcanza el tamaño del optotipo que mide la mejor agudeza visual; a partir de este valor se definen los saltos de complejidad (50, 75 y 115 % de $Profundidad_{Lim}$) como ilustra la Figura 2.5.

Al generar los retos al 50 %, por ejemplo, y aplicar el movimiento de los contenidos en dirección a la cámara, se logra barrer las filas con los optotipos de mayor tamaño. Este principio responde a una de las premisas del éxito de la rehabilitación de la visión, la naturaleza repetitiva de la complejidad de los ejercicios [38, 121].

Otro momento importante en el trabajo sobre los retos es cuando se alcanza el máximo reto ($Profundidad \geq Profundidad_{Lim}$) y se cumple la condición para incrementar la complejidad ($PromedioTR \leq MejorTR$ y $Aciertos = NumAciertos$). En estos casos la

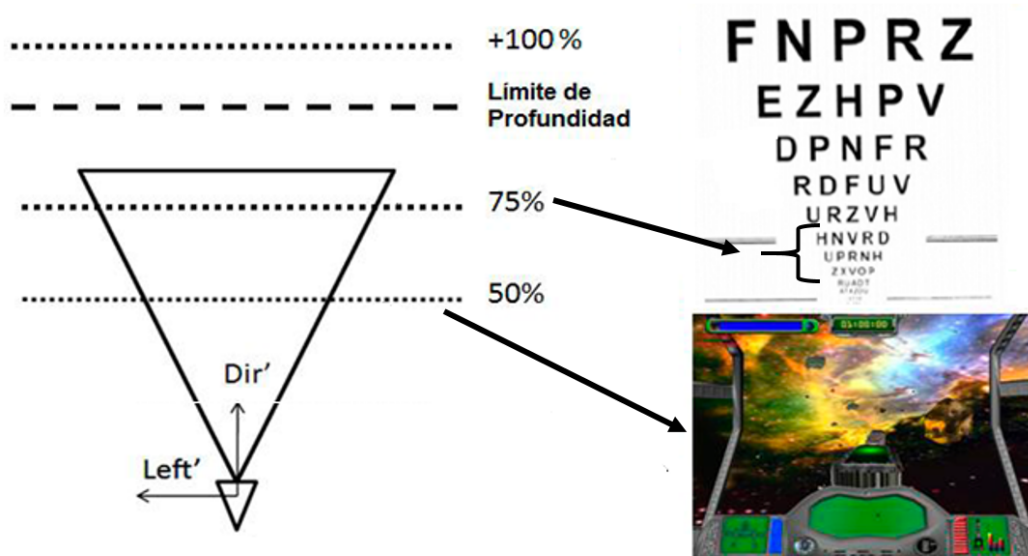


Figura 2.5: Ajuste del reto en un mismo nivel. Fuente: elaboración propia.

complejidad define un cambio de nivel y los retos aumentan el número de optotipos a dos y tres respectivamente.

En tal sentido crear un reto (Algoritmo 3) se relaciona con ajustar los optotipos a las siguientes características:

- Nivel 1: trabaja sobre el mínimo reconocible. El reto está compuesto por un solo optotipo 3D con similar tamaño al optotipo LogMAR que representa la peor agudeza visual.
- Nivel 2: trabaja sobre el mínimo reconocible y el mínimo separable entre filas del test. El reto está compuesto por dos optotipos 3D con iguales características que el nivel uno. El segundo optotipo se traslada en la profundidad para que su tamaño se ajuste a la tercera fila del test y la distancia entre los contornos de este y el primero sea igual a su tamaño (Figura 2.6).
- Nivel 3: trabaja sobre el mínimo reconocible y el mínimo separable entre filas y

en una misma fila. El reto está compuesto por tres optotipos de los cuales dos se ajustan a las especificaciones del nivel 2. El tercero se ajusta al mismo tamaño del segundo optotipo pero se separa a una distancia múltiplo del mínimo separable.



Figura 2.6: Mínimo separable (MS) entre filas y en una misma fila. Reto relacionado con el tercer nivel. Fuente: elaboración propia.

Es importante destacar que en tres dimensiones es complejo lograr que el mínimo separable en una misma fila llegue a su máxima expresión ya que, como consecuencia de la proyección en perspectiva de los optotipos, estos pueden solaparse. En este aspecto el modelo ajusta el mínimo separable en una misma fila a dos espacios mínimos separables (dos veces el tamaño del optotipo de dicho nivel) como límite de aproximación.

Lo expuesto está sujeto a importantes restricciones que permiten ajustar los optotipos 3D al protocolo LogMAR. Estas son:

1. Los optotipos 3D deben diseñarse a escala real (cada unidad en el entorno virtual

equivale a un milímetro) en un software de diseño como 3Ds Max⁴ o Blender⁵. El tamaño en las tres dimensiones corresponde al definido para el optotipo relacionado con la menor agudeza visual. En el caso del test LogMAR 5.5 centímetros (epígrafe 1.2.1).

2. Para lograr una mejor aproximación al sistema visual humano la cámara debe configurarse con un ángulo de apertura de 46 grados y una distancia al plano de proyección de 0.5 milímetros. Con esta configuración las cámaras fotográficas logran una perspectiva similar a la humana [122].
3. Para estandarizar la relación de aspecto⁶ debe establecerse una ventana de proyección a pantalla completa (fullscreen), sujeta a una resolución de 800x600 sobre monitores de 15 pulgadas. La resolución y el tamaño del monitor responden a un déficit tecnológico en el contexto de validación de la propuesta (computadoras en las escuelas especiales seleccionadas).
4. El observador debe colocarse a una distancia de 50 a 60 centímetros de la pantalla del monitor partiendo de una premisa ergonómica [123]. Se debe evitar el acercamiento a la pantalla a una distancia menor o igual a 40 centímetros debido a que una persona que presente una agudeza visual de 0.1 puede llegar a identificar la línea máxima de agudeza visual (cero para LogMAR) si se aproxima 40 centímetros a los optotipos [43].

Bajo tales condiciones se calibró la profundidad logrando una proyección de los optotipos 3D próxima a los 0.5 centímetros (diferencia máxima tres milímetros) como indica el test en su último nivel (Anexo B). En Meteorix se alcanzó este mínimo a una *Profundidad*

⁴www.autodesk.com/products/3ds-max/overview

⁵<http://www.blender.org/foundation/>

⁶Es igual a la proporción del ancho y alto del plano de proyección.

de siete metros. Según el test debería alcanzarse a los cuatro metros pero el error está sustentado por la naturaleza de la simulación del sistema visual (visión monocular con volumen de visión en forma de pirámide truncada). El error puede permanecer con diferencias sustanciales incluso si se implementara como un sistema estereoscópico [124]. El algoritmo para la creación de retos tomando en cuenta la complejidad por niveles y las restricciones anteriores se describe a continuación:

Algoritmo 3 Algoritmo para la creación del reto por niveles

Entradas: conjunto de optotipos 3D ($Opto$), nivel de dificultad ($Nivel$), tamaño de los optotipos en la fila uno y tres del test LogMAR (tam_{fila1} y tam_{fila3}), conjunto de posiciones controladas por la capa l_{terap} ($\forall Pos_i = (x, y, z)$ tal que $Pos_i \in Posiciones$)

Salida: reto ($Reto$)

```
1:  $tam_{fila1} \leftarrow 5,5$ 
2:  $tam_{fila3} \leftarrow 4,5$ 
3:  $vectorpos \leftarrow (0, 0, 0)$ 
4:  $sentido \leftarrow (-1, 0, 0)$ 
5: Si  $Nivel \geq 1$  entonces
6:    $Opto_1.pos \leftarrow ObtenerPosAleatoria(Posiciones)$ 
7:    $Reto \leftarrow Adicionar(Reto, Opto_1)$ 
8: Fin Si
9: Si  $Nivel \geq 2$  entonces
10:  // Se evita la repetición de  $Opto_1.pos$ 
11:   $vectorpos \leftarrow ObtenerPosAleatoria(Posiciones, Opto_1.pos)$ 
12:   $vectorpos.z \leftarrow 0$ 
13:   $vectorpos \leftarrow 0,5 * (tam_{fila1} + tam_{fila3}) + tam_{fila3} * Normalizar(vectorpos)$ 
14:   $vectorpos.z \leftarrow Opto_1.pos.z + 1272$  // 1272-profundidad relativa a  $tam_{fila3}$ 
15:   $Opto_2.pos \leftarrow vectorpos$ 
16:   $Reto \leftarrow Adicionar(Reto, Opto_2)$ 
17: Fin Si
18: Si  $Nivel = 3$  entonces
19:   $vectorpos \leftarrow Opto_2.pos - Opto_1.pos$ 
20:  Si  $vectorpos.x > 0$  entonces  $sentido \leftarrow (1, 0, 0)$ 
21:   $vectorpos \leftarrow sentido * Random(2, 5)$ 
22:   $Opto_3.pos \leftarrow Opto_2.pos + vectorpos$ 
23:   $Reto \leftarrow Adicionar(Reto, Opto_3)$ 
24: Fin Si
25: Retornar  $Reto$ 
```

A partir del alcance del trabajo se considera importante, en futuras extensiones del modelo, abordar esta problemática de ajuste del tamaño del optotipo con una base matemática más completa, que abarque una diversidad de variantes tomando en cuenta el nivel de resolución, tamaño del monitor y la aproximación al sistema visual humano. Lo fundamental de esta base matemática debe ser reducir el error asociado con el tamaño del optotipo según el test LogMAR. La resolución y el tamaño del monitor influyen en la proyección del optotipo en pantalla. Manteniendo constante todas las condiciones, y elevando la resolución a 1024x768, se lograría elevar la cantidad de píxeles por pulgadas de 71 a 91 aproximadamente, lo cual reduce de forma automática el tamaño del optotipo. En estas nuevas condiciones si se desea llevar el optotipo al tamaño esperado habría que disminuir la *Profundidad*, lo que reduciría el error y acercaría más la terapia al protocolo LogMAR.

El problema relacionado con la resolución y el tamaño del monitor puede hacerse más complejo ya que las dimensiones de los monitores no son simétricas, la asimetría en los modelos de monitores actuales agudizan un poco más el problema. Además, la simulación del sistema visual humano en cuanto a las técnicas de proyección, agrega otro nivel de complejidad que necesita de un obligatorio estudio de percepción para continuar la reducción del error de los optotipos según LogMAR. Avanzar en la problemática identificada mejoraría el modelo y sería un importante paso para la generación procedural de optotipos, lo que suprimiría la entrada de optotipos prediseñados.

2.6.3. Ajuste dinámico de los ayudantes

Al inicio de este capítulo (epígrafe 2.3.1) se abordaron conceptos importantes como ruido y ayudante en la rehabilitación con videojuegos. Un entorno de juego está sujeto a un número considerable de ruidos que afectan la percepción de las personas con

discapacidades visuales. El videojuego diseñado (Meteorix) presenta tantos ruidos como diferencias tiene respecto al protocolo LogMAR. Crear ayudantes capaces de suprimir o reducir los ruidos es el resultado de un proceso de prediseño, estos llegan como contenidos definidos al terapeuta virtual. Esta concepción de ayudante-supresor de ruido resulta novedosa a partir de los estudios realizados. El modelo propone aplicar los ayudantes de forma aleatoria, ordenados (partiendo del criterio de especialistas) y ordenados automáticamente a partir de heurísticas que cuantifican el nivel de influencia de los ayudantes. Por ser esto último un aporte se le dedica el resto del epígrafe.

Según la teoría ZDP luego de aplicar un ayudante la habilidad de un individuo debe aumentar con relación al nivel que tenía con anterioridad. Esto está sujeto al contexto que rodea el proceso de aplicación de un ayudante, dependiendo tanto de las características físicas del paciente como del tiempo de aplicación del ayudante. Al incorporar ayudantes en el videojuego Meteorix, se logró constatar estos elementos durante la rehabilitación de niños con problemas en la agudeza visual [114].

Los ayudantes diseñados fueron de tipo interacción y percepción. Los mismos son contenidos ayudantes del modelo y trabajados en las pruebas de validación.

- **Piloto Automático:** la lógica de interacción recoge el uso del teclado para orientar la cámara y el ratón es empleado para apuntar y disparar al objetivo. En este sentido el empleo simultáneo de controles es un ruido, por tanto el piloto automático suprime los controles de orientación al guiar de forma automática la cámara hacia el objetivo.
- **Ralentizar Tiempo:** el movimiento resulta un ruido que aleja el entorno del protocolo LogMAR. Este ayudante reduce la velocidad de movimiento de los contenidos terapéuticos permitiendo que el objetivo sea percibido de mejor forma.

- Radar: el tamaño es el ruido principal que afecta la agudeza visual en las condiciones del protocolo LogMAR. En un entorno de juego el color y contraste influyen en el reconocimiento de un objetivo. El radar es un elemento gráfico que persiguiendo al objetivo permite la rápida identificación del mismo (Figura 2.7).



Figura 2.7: Ayudante radar en forma de anillo de color verde. Fuente: elaboración propia.

Al aplicar estos ayudantes por separado un número consecutivo de veces luego de que el paciente falló un objetivo (en el caso de Meteorix esto ocurre cuando el objetivo sobrepasa la nave o falla siete balas), se identificó que existe una mejoría en el rendimiento reflejado en el número de aciertos sucesivos y aumento de la *Profundidad*. De igual forma se observó que la profundidad antes y después de aplicado un ayudante tenían diferencias ($Profundidad_{Antes} < Profundidad_{Desp}$) y que el número de aciertos luego de aplicado un ayudante podía ser cero. Estos elementos mostraron la naturaleza estocástica del fenómeno y a su vez una relación casuística entre ayudantes (H_i) y el número de aciertos

sucesivos luego de aplicado este (S). Cada relación casuística es independiente pues se aplica un solo ayudante cuando se identifica un fallo (epígrafe 3.6). Partiendo de estas observaciones se definieron diferentes heurísticas fundamentadas en la fórmula de Bayes y probabilidad total, incorporando al modelo la capacidad de ordenar los ayudantes según su nivel de influencia.

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

$$P(S|H_i) = \frac{P(H_i)P(H_i|S)}{\sum_{i=1}^m P(H_i)(P(H_i|S_i))} \quad (2.6.1)$$

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

donde S es el conjunto de aciertos después de aplicado un ayudante; H_i elemento perteneciente al conjunto de ayudantes.

Dada la naturaleza del fenómeno se define $P(H_i) = \frac{1}{3}$. La probabilidad de aparición de un ayudante es igual a $\frac{1}{3}$ ya que son tres los ayudantes, además que durante el juego tienen igual probabilidad de aparición. Los valores de $P(H_i|S)$ responden a los datos estadísticos recolectados durante el proceso de interacción. Esta probabilidad a priori es igual a la frecuencia acumulada relativa al valor de aciertos superiores o igual a siete. Siete constituye la mediana de aciertos sucesivos de los ayudantes más relacionados con la agudeza visual (Ralentizar tiempo y Radar) (epígrafe 3.6). De esta forma se valora la influencia en el intervalo donde alcanza su mayor expresión.

Al tomar en consideración los casos en donde no hay influencia ($S = 0$), se obtiene otra heurística más completa e importante pues permite un mejor trabajo sobre el manejo adecuado de los fallos. Ambas características responden a una misma distribución y relación causa-efecto identificada, por lo tanto, su suma devuelve la probabilidad total relacionada con tales hechos a partir de cualquier muestra. Para estos casos la heurística es:

$$\epsilon_i = \frac{1}{m}(P(S|H_i) + P(C|H_i)) \quad (2.6.2)$$

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

donde H_i es la hipótesis correspondiente al uso del ayudante que se analiza, m el número de ayudantes y $\epsilon_i = P(S|H_i)$.

La frecuencia relativa para valores $S \geq 7$ es el componente fundamental en la heurística que determina la influencia de un ayudante. Por otra parte, las relaciones de las variables $Profundidad_{Antes} < Profundidad_{Desp}$ y $TR_{Antes} > TR_{Desp}$, permiten aumentar la cantidad de información para lograr una mejor heurística y por tanto, una mejor inferencia (un segundo nivel). Este nivel se denota como ϵ_{2do} y refleja la influencia del ayudante en la habilidad óculo-manual, su resultado responde a $\frac{Profundidad_{Desp}}{Profundidad_{Antes}}$ ó $\frac{TR_{Antes}}{TR_{Desp}}$. Con ϵ_{2do} se puede medir el nivel de influencia de un ayudante, pero en el modelo se propone otro nivel de heurística que fusiona todas las descrita con anterioridad. Partiendo de esto la heurística resultante de toda la familia es:

$$\epsilon_i = \frac{1}{m}(\epsilon_{2do}P(S|H_i) + P(C|H_i)) \quad (2.6.3)$$

El modelo incluye toda la familia de heurísticas para el ajuste dinámico de los ayudantes, pero se propone como la más completa la heurística 2.6.3. Ante todas las variantes de heurísticas se identificó, como un aporte significativo del trabajo, el análisis de cada una como método de inferencia para medir la influencia de un ayudante en el tratamiento de la agudeza visual. En tal sentido en el epígrafe 3.6 se recogen la validación de las mismas. Las heurísticas responden a características aplicables en otros contextos de rehabilitación. El número de aciertos luego de aplicado un ayudante y la habilidad óculo-manual son variables medibles en la rehabilitación de otras discapacidades visuales, motoras

y cognitivas [2, 22, 40]. Entre estas se encuentran por ejemplo las relacionadas con el campo visual, las extremidades superiores y la memoria respectivamente. En estos casos su aplicación dependería solo del valor de la media o mediana de aciertos de los ayudantes que suprimen o reducen los ruidos más relacionados con el padecimiento. La calidad de este valor repercute en la pertinencia del análisis para ordenar los ayudantes por su nivel de influencia. En tal sentido la realización de estudios para validar las potencialidades de estas heurísticas contribuirían a mejorar muchas de las actuales terapias de rehabilitación.

2.7. Cualidades del modelo ADD-Ayuda

Al modelo se le atribuyen tres cualidades:

- **Sistémico:** cualidad que se evidencia en la interrelación de cada uno de sus componentes y en la pérdida del sentido de sus partes fuera del sistema. Al modelarse como un agente inteligente se evidencia que no tiene sentido el componente Sistema de Toma de Decisión sin el componente Memoria, y ambos sin al menos un Actuador Capa. El terapeuta virtual ADD-Ayuda logra su objetivo estableciendo una sinergia entre estos componentes como se refleja en su funcionamiento (Ver Figura 2.4).
- **Flexible:** por la creación de diferentes tipos de entornos empleando como base el submodelo GBC. Además, ADD-Ayuda puede extenderse al tratamiento de otras funciones visuales ajustando el flujo Crear Reto.
- **De mejora continua:** se logra a través del ajuste dinámico de la dificultad partiendo de la información del proceso de interacción paciente-contenidos. Esto garantiza que con el paso del tiempo aumente la personalización en cuanto a la generación de contenidos retos y ayudantes.

2.8. Conclusiones parciales

Como resultados del capítulo se han desarrollado importantes acápites para la presentación de un modelo que, mediante la generación procedural en tiempo real, provee ventajas para ser aplicado en la rehabilitación de la agudeza visual con videojuegos. En este proceso se desarrollaron los componentes del modelo que permiten cualificarlo como sistémico, flexible y de mejora continua. Se tienen como principales conclusiones de este proceso:

- 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 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.

Capítulo **3**

**APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS
RESULTADOS**

3.1. Introducción al capítulo

En el capítulo se exponen las potencialidades prácticas del submodelo Generador Basado en Capas para la generación procedural en tiempo real, mostrando su flexibilidad en la creación de entornos y aportando así al potencial práctico del modelo ADD-Ayuda. Luego se presentan las características de la herramienta de validación Meteorix y los dos estudios realizados con la misma en las escuelas especiales Orlando Nodarse y Flor de la Revolución, de los municipios Bauta (Artemisa) y de La Lisa (La Habana) respectivamente. Los resultados permitieron comprobar la veracidad de la hipótesis del trabajo. Además, se analiza desde los datos recopilados en los estudios anteriores la calidad de las heurísticas (epígrafe 2.6.3) para medir el nivel de influencia de los ayudantes en el proceso de rehabilitación. Finalmente se presentan los resultados de la aplicación del método grupo focal a especialistas en oftalmología y rehabilitación como otra forma de valorar los resultados obtenidos.

3.2. Generación procedural en tiempo real. Generador Basado en Capas

En el proceso de validación del modelo ADD-Ayuda se necesitó comprobar las potencialidades del submodelo GBC como sustento para la generación procedural en tiempo real. En este sentido se implementó una biblioteca con la capacidad de generar diferentes entornos empleando estrategias basadas en sistemas de losas y capas [111, 112]. En el videojuego Meteorix se configuró la generación a partir de un sistema basado en capas (Ver Figura 3.1) que utilizó, como base para el control gráfico, el motor Scene ToolKit¹.

¹Motor gráfico desarrollado por integrantes del grupo de Visualización y Realidad Virtual de la Universidad de las Ciencias Informáticas.

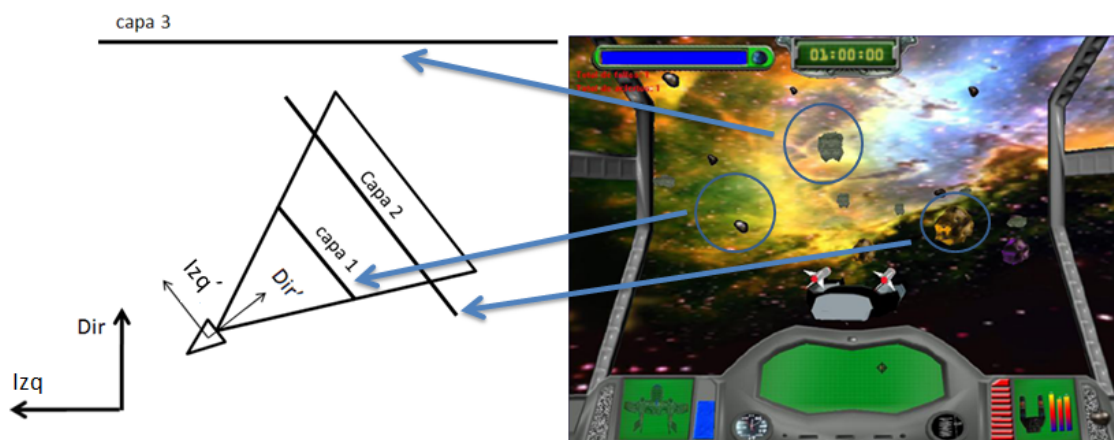


Figura 3.1: Configuración del generador GBC para crear el entorno del videojuego Meteorix. Fuente: elaboración propia.

A partir de la configuración basada en sistema de capas se logró generar otros entornos espaciales como el presentado en la Figura 3.2 para lo cual se empleó el motor Ogre3D². Además, en esta misma figura se muestran los resultados de terrenos y paisajes que apelan a la configuración de las capas como sistema de losas ordenadas en forma de rejilla regular (Ver Figura 3.3). Estos resultados demuestran la capacidad multitécnica del submodelo GBC así como su potencialidad para la integración con diferentes motores gráficos.

Por otra parte, en los entornos generados se logró una frecuencia de visualización superior a los 30 fps. Esto permite validar el potencial del submodelo GBC para la generación procedural en tiempo real, así como su flexibilidad para la generación de diferentes entornos [111]. Este es un paso importante para la búsqueda de un modelo general para la GPC (epígrafe 1.5). Las ventajas del GBC aumentan el potencial práctico del modelo ADD-Ayuda ya que se puede realizar la rehabilitación en diferentes tipos de entornos. A continuación se expondrán las características de la herramienta Meteorix y un estudio de casos con niños ambliopes como primera aproximación para la validación del modelo.

²<http://www.ogre3d.org/>

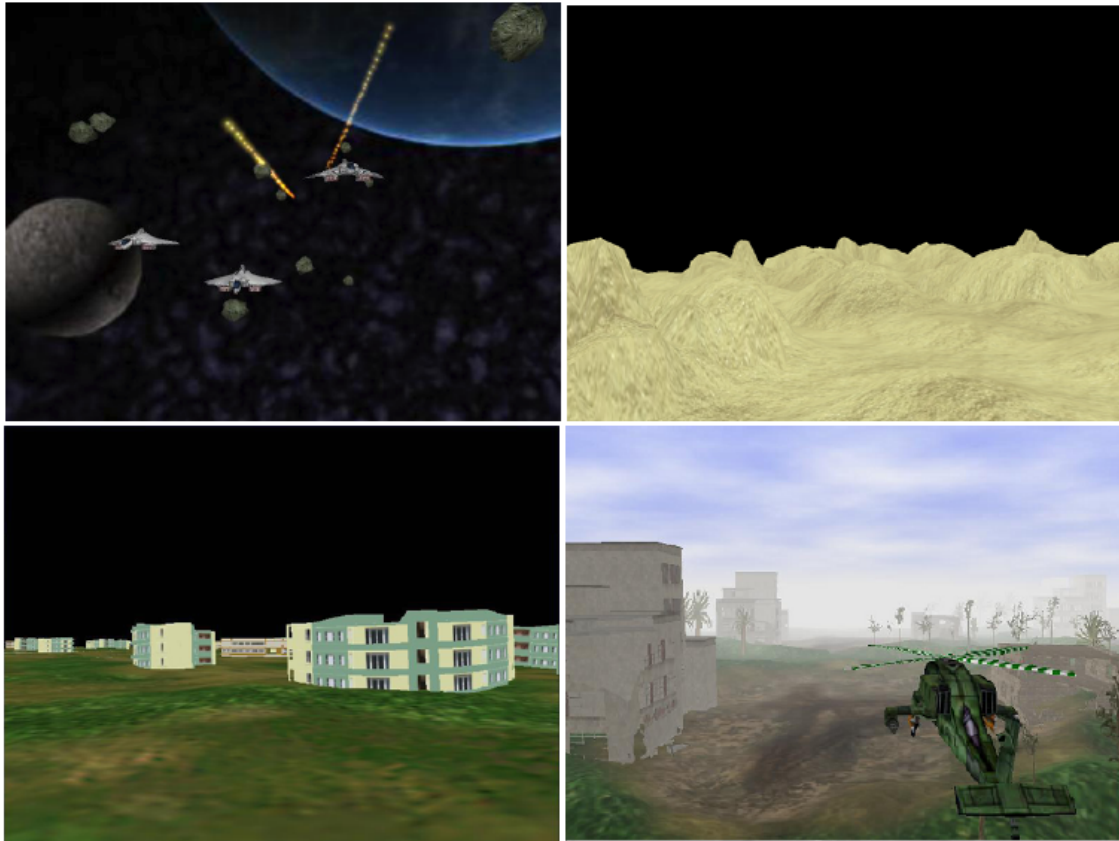


Figura 3.2: Ejemplos de entornos generados con GBC. Fuente: elaboración propia.

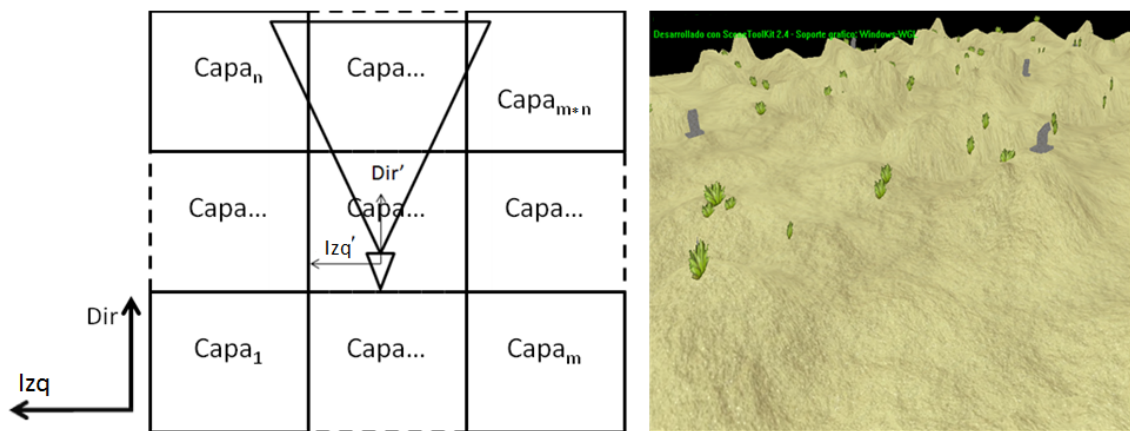


Figura 3.3: Configuración del generador GBC para crear entornos con sistemas de losas. Fuente: elaboración propia.

3.3. Herramienta para la validación. Meteorix

La herramienta creada para la validación del modelo fue el videojuego Meteorix. El mismo tiene como base principal el terapeuta virtual ADD-Ayuda que controla los contenidos de la terapia y medioambientales, en este caso meteoritos de diferentes colores (rojo, verde, azul, amarillo, violeta y gris). Los ayudantes que se diseñaron son los descritos en el epígrafe 2.6.3. Estos fueron aplicados de forma ordenada, partiendo de las recomendaciones de los terapeutas del proyecto Apéndice D (Piloto Automático- H_1 , Ralentizar Tiempo- H_2 , Radar- H_3).

Meteorix fusiona la lógica del juego con el tratamiento. Para lograr esto deja el control del entorno al terapeuta virtual ADD-Ayuda y le informa de los eventos ocurridos como resultado de la interacción del jugador con los diferentes dispositivos (teclado y ratón). Además, se nutre de la información que provee el terapeuta virtual sobre la evolución de la terapia para regular otros contenidos que forman parte de los mecanismos de retroalimentación del juego como: las armas, el nivel de energía, las balas y la vida del planeta Tierra.

3.4. Estudio de casos con niños ambliopes

El primer estudio fue un análisis de tres niños con problemas en la agudeza visual. Por recomendación de los especialistas del proyecto (Apéndice D), se seleccionaron niños con ambliopía. La selección del padecimiento se debió a que es una enfermedad que se expresa únicamente por la pérdida de la agudeza visual y que excluye otras afectaciones en las funciones visuales.

En un régimen de juego intensivo se sometieron a estos niños a un tratamiento durante 30 minutos por día. Dos (los niños B y C) emplearon parche³ como parte del tratamiento. El

³Técnica de rehabilitación que consiste en tapar el ojo con mejor visión de dos a seis horas al día.

objetivo del estudio fue identificar si se podía rehabilitar la agudeza visual y la respuesta adaptativa del modelo tenía un influencia visible en el rendimiento del paciente.

Luego de someter a los niños al tratamiento definido se realizó una medición de la agudeza visual en la sesión número 10 en la cual se detectó una mejoría en la agudeza visual como muestra la Tabla 3.1. La medición se realizó con el test Snellen porque los niños no cooperaron con el test LogMAR ya que el existente para este proyecto presenta optotipos de tipo letras. Tal y como se analizó en el epígrafe 1.2.1 ambos test son equivalentes. La notación empleada en todas las mediciones realizadas fue en escala decimal.

Al analizar los resultados se identificó una mejora de uno o dos niveles de la agudeza visual, marcando un progreso importante ya que en ese tiempo y bajo las mismas condiciones de trabajo en el aula, otros niños afectados con la misma enfermedad no mejoraron su condición. En un 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 en el número de aciertos luego de aplicado un ayudante, tal y como se ilustra en las Figuras 3.4, 3.5, 3.6. Por el alto nivel de variabilidad en las sesiones [1,3] se decidió ilustrar las restantes para una mejor comprensión del fenómeno.

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.

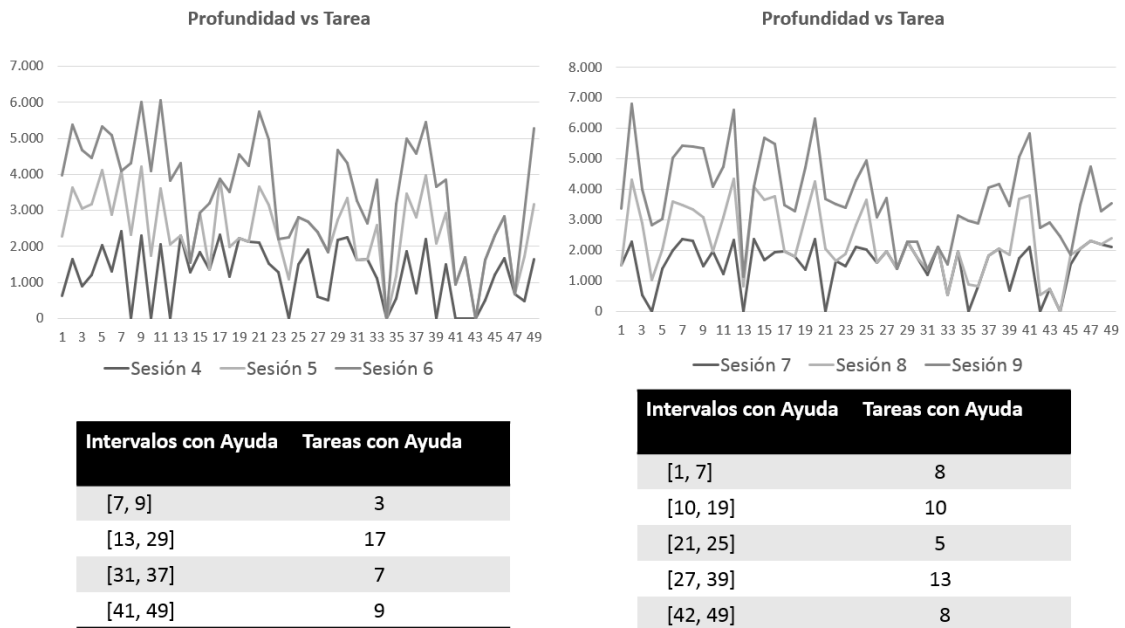


Figura 3.4: Rendimiento del paciente A en cada tarea (reto) y aplicación de los ayudantes por intervalos.

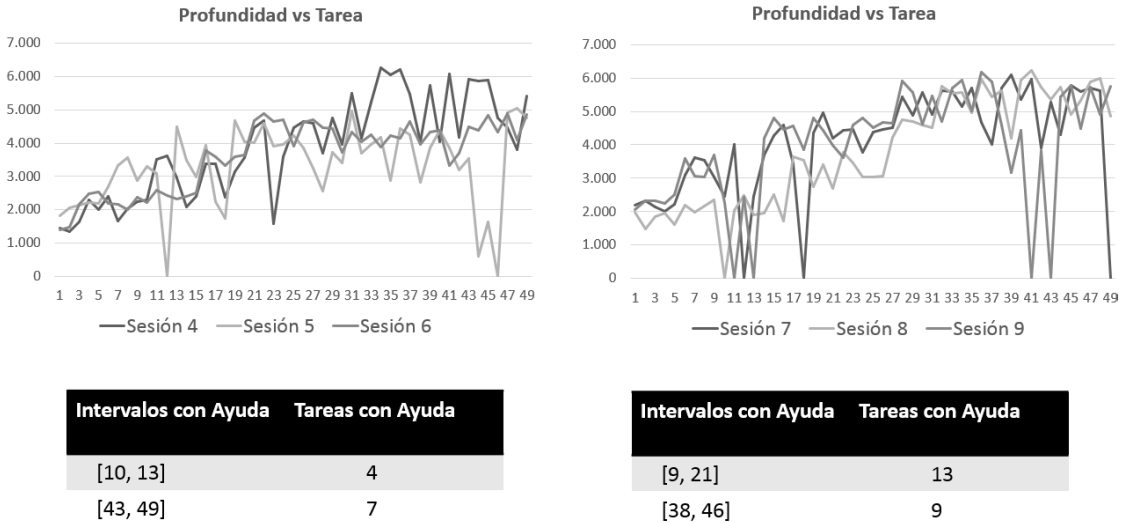


Figura 3.5: Rendimiento del paciente B en cada tarea (reto) y aplicación de los ayudantes por intervalos.

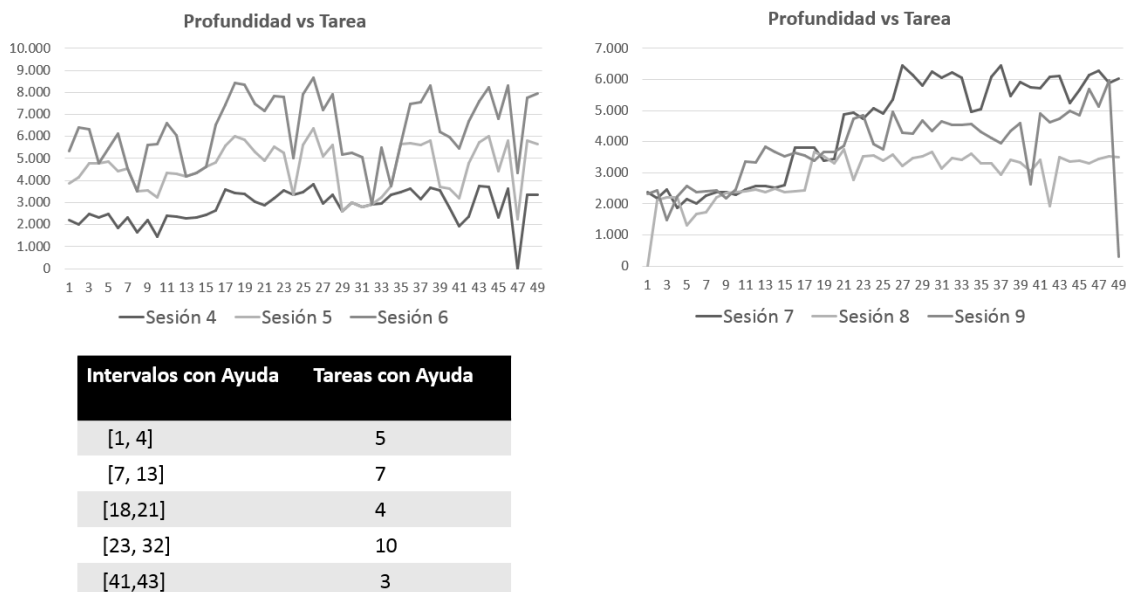


Figura 3.6: Rendimiento del paciente C en cada tarea (reto) y aplicación de ayudantes por intervalos.

Tabla 3.1: Mediciones de la agudeza visual (AV) antes y después de aplicar el videojuego Meteorix. Medición basada en Snellen en escala decimal y notación ojo derecho (OD)–ojo izquierdo (OI).

Niño	Edad	AV antes (OD–OI)	AV después
A	5	0.5–0.5	0.6–0.6
B	6	0.5–0.6	0.7–0.7
C	7	1.0–0.2	1.0–0.4

3.5. Validación de la hipótesis

Para la validación de la hipótesis se realizó un trabajo sobre una muestra de 14 niños ambliopes con edades de cinco, seis y siete años. En esta ocasión se aplicó un cuasiexperimento atendiendo a que la equivalencia del grupo de control (siete compañeros de aula) no se cumple en un 100 % producto de la variabilidad de la agudeza visual. Se sometió a cada niño al mismo tratamiento con el videojuego Meteorix y bajo

las mismas condiciones del estudio de casos. Se recogieron los resultados del proceso de interacción con los retos (tareas) de cada sesión y se realizó la medición de la agudeza visual al inicio, en el intervalo de las sesiones [10,12] y [20,24].

La hipótesis del trabajo defiende la contribución a la mejora del rendimiento en los pacientes y rehabilitación de la agudeza visual como resultados de la aplicación del modelo ADD-Ayuda. Para comprobar la mejoría del rendimiento se recopilaban las primeras 60 tareas de las primeras 12 sesiones para cada niño (10 080 tareas). La selección de las 60 tareas iniciales se debió a que en los estudios de análisis psicofísico de la visión se afirma que con un número cercano a 60 tareas resulta suficiente para encontrar valores límites en las respuestas perceptivas del ser humano [105]. Para el análisis de la rehabilitación de la agudeza visual se recogieron las mediciones de la agudeza visual en similares tiempos a la muestra y al grupo de control.

3.5.1. Impacto en la mejoría del rendimiento

Para el análisis del rendimiento se decidió comparar diferentes momentos en las sesiones (tareas 20, 40 y 60). En cada corte se calculó la media, con estos valores se obtuvo una aproximación al rendimiento grupal, por edad y nivel inicial de agudeza visual. Esto permitió un análisis de tendencias como muestran las Figuras 3.7 y 3.8.

La condición de control refleja las variaciones en la *Profundidad* de las tareas como una forma de ajustarse al mínimo reconocible propuesto por el test LogMAR. Esta puede ser aproximada a una función lineal monótona creciente que toma los valores de 3500 (50 % de $Profundidad_{Lim}$), 5250 (70 %) y 7000(100 %) para las tareas 20, 40 y 60 respectivamente. En los resultados se identificó un acercamiento a la condición de control en todos los grupos.

La edad es un aspecto importante en el desarrollo visual. El ser humano debe terminar

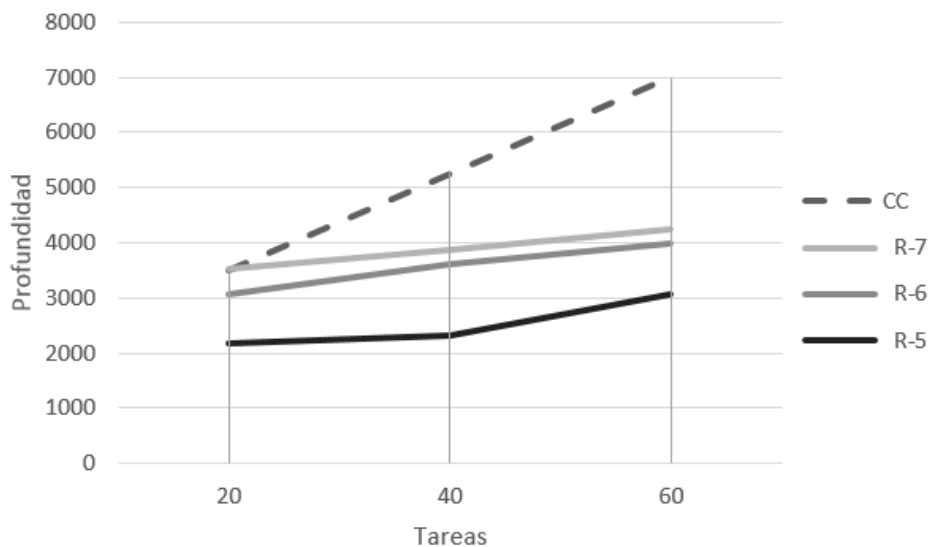


Figura 3.7: Aproximación del rendimiento (R) a la condición de control (CC) en diferentes edades.

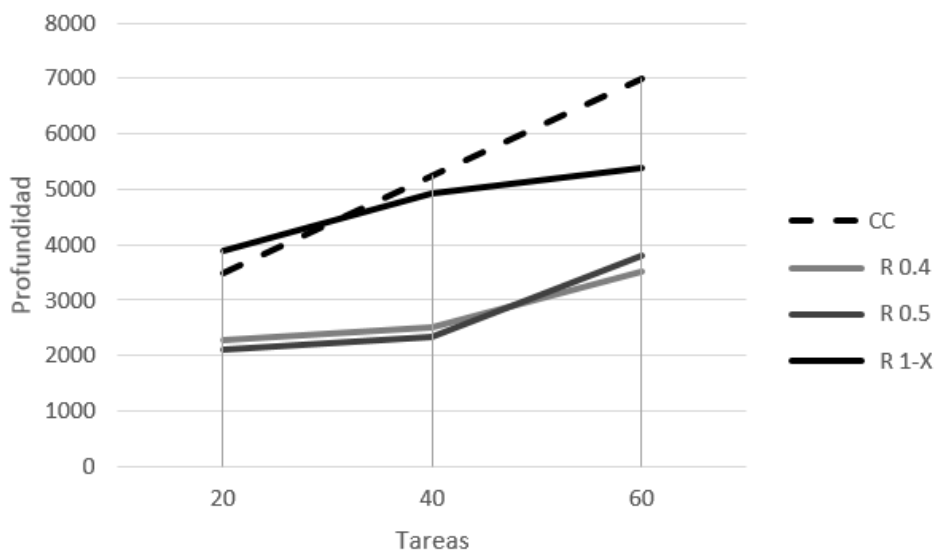


Figura 3.8: Aproximación del rendimiento (R) a la condición de control (CC) en diferentes niveles de visión.

el proceso de maduración de las vías visuales entre los siete y diez años [38]. Los niños con mayor edad deben tener un mejor desarrollo visual, lo cual se traduce en una mejor respuesta ante los estímulos perceptivos. Ante una enfermedad como la ambliopía estas

diferencias permanecen para niños con similares niveles de visión. La Figura 3.7 muestra el grado de aproximación del rendimiento para las edades cinco, seis y siete años. Tal y como se puede apreciar la aproximación del rendimiento es mayor a mayor edad, lo que valida que el modelo mejora coherentemente el rendimiento según la edad.

En el caso de los grupos por niveles de agudeza visual se agruparon según las mediciones (ojo derecho–ojo izquierdo) 0.4–0.4, 0.5–0.5, 1–X donde $X = 0,2$ ó $0,5$. Los dos primeros grupos no emplearon parche en el tratamiento mientras que el tercero si. Al analizar la Figura. 3.8 se evidencia como existió una mejoría superior en el rendimiento del grupo tres partiendo del nivel de aproximación a la condición de control. Con el número de niños por grupo (tres, dos, dos) no se puede arribar a conclusiones generalizables, pero se puede afirmar que, para estos casos, hubo mejor rendimiento en los niños con ambliopía unilateral⁴ coincidiendo con el criterio de los oftalmólogos del proyecto Apéndice D.

Los análisis de tendencias anteriores no son suficientes para validar la contribución del modelo en la mejora del rendimiento. En este sentido se realizó un análisis estadístico por cada grupo de edad para valorar el comportamiento del rendimiento en diferentes momentos (tarea 20, 40 y 60). La comparación se centró en los pares (20,40) y (40,60) con el fin de encontrar diferencias significativas a favor de la mejoría del rendimiento. Para ello se analizó, en un inicio, el supuesto de normalidad en las muestras empleando la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov. Se aplicó como herramienta estadística el sistema SPSS⁵. Los resultados de la Tabla 3.2 muestran que no se obtuvieron diferencias significativas ($p > 0,05$) lo cual permite aceptar el supuesto de normalidad de las muestras.

Atendiendo a la normalidad de las distribuciones se aplicó el test T para muestras pareadas relacionadas con el fin de valorar las diferencias entre las medias de los

⁴En estos casos solo hay pérdida de la agudeza visual en un ojo.

⁵Sistema de análisis estadístico reconocido en la comunidad científica (<http://www.spss.com/>)

Tabla 3.2: Resultados de la aplicación del test Kolmogorov-Smirnov en las muestras de cinco, seis y siete años. Fuente: Apéndice C.1

Corte	Estadístico Z	Sig. asintótica
20	1.198	0.113
40	1.135	0.152
60	0.920	0.365
20	0.916	0.371
40	0.872	0.433
60	1.027	0.242
20	0.870	0.436
40	0.675	0.752
60	0.972	0.302

pares (20,40) y (40,60). Como se puede apreciar en la Tabla 3.3 los resultados muestran diferencias significativas en los grupos de edades de seis y siete años. En el caso de siete años se logra una mejoría significativa en el rendimiento en el par (40,60). Atendiendo a los resultados se puede concluir, que partiendo de la muestra estudiada, el modelo mejoró significativamente el rendimiento en el grupo de seis y siete años, no siendo así en el caso de cinco años.

Tabla 3.3: Diferencia entre medias según el test T para muestras pareadas, en las edades de cinco, seis y siete años respectivamente. Fuente: Apéndice C.1

Par	Dif. Medias	Estadístico t	Nivel de significación
(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

Con los resultados anteriores se corrobora la validez del modelo en cuanto a su

contribución a la función de rendimiento. Los análisis de tendencias y significación estadística demuestran que el modelo es capaz de personalizar el tratamiento ajustándose de forma coherente a la edad del paciente.

3.5.2. Impacto en la rehabilitación de la agudeza visual

Luego de realizar las mediciones al grupo experimental y de control se sometieron los datos recogidos en las Tablas 3.4 y 3.5 a un análisis comparativo en cuanto al número de niveles de agudeza visual mejorados por grupos. La mejora en la agudeza visual se distribuye como se muestra en la Figura 3.9.

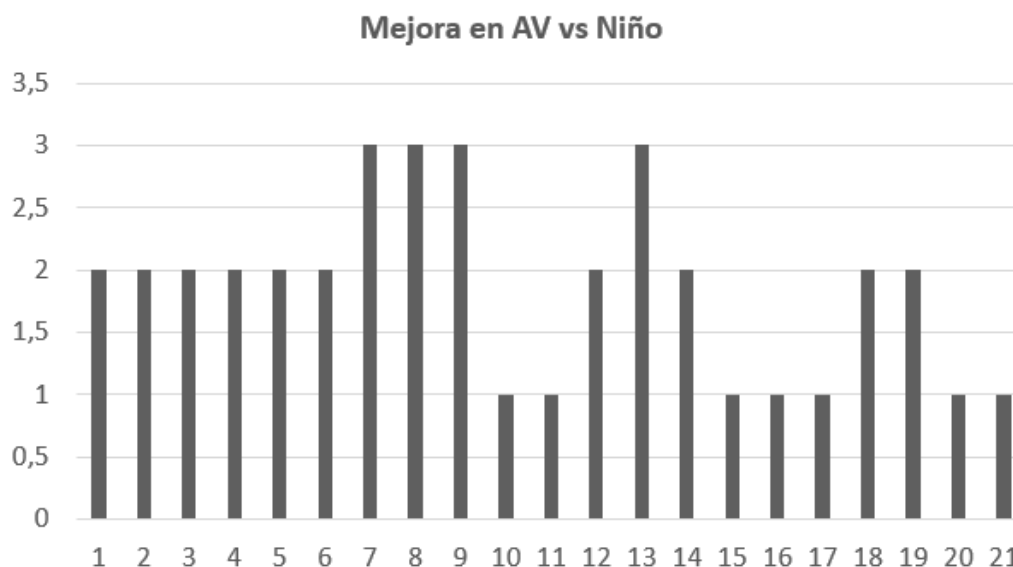


Figura 3.9: Comportamiento en la mejora de la agudeza visual (AV) en cada niño (1 al 14 grupo experimental y del 15 al 21 grupo control).

Como se puede apreciar existió en el grupo experimental una tendencia a la mejora de dos y tres niveles, mientras que en el grupo control (niños del 15 al 21) lo más frecuente fue un solo nivel. Las muestras de ambos grupos cumplen los supuestos para la aplicación de la prueba T para muestras independientes. Los resultados reflejan la existencia de

diferencias significativas en los grupos experimental y control en cuanto a la mejora en el nivel de agudeza visual ($p = 0,007$). El grupo experimental alcanzó una media superior a la del grupo control ($media_{exp} = 2,14$ y $media_{cont} = 1,29$). Este resultado valida la efectividad del modelo ADD-Ayuda en la rehabilitación de la agudeza visual (Apéndice C.2).

Tabla 3.4: Medición de la agudeza visual (AV) del grupo experimental en diferentes momentos del estudio según el test Snellen en escala decimal. Notación ojo derecho (OD)–ojo izquierdo (OI).

Niño	Edad	AV Inicial (OD–OI)	Sesión [10,20]	Sesión [20,24]
1	5	0.5–0.5	0.6–0.6	0.7–0.6
2	5	0.5–0.5	0.5–0.5	0.5–0.7
3	5	0.4–0.4	0.4–0.4	0.5–0.6
4	5	0.4–0.4	0.4–0.4	0.5–0.6
5	6	0.3–0.4	0.4–0.4	0.5–0.6
6	6	1–0.2	1–0.2	1–0.4
7	6	0.5–0.5	0.6–0.6	0.8–0.7
8	6	0.1–0.4	0.3–0.6	0.4–0.7
9	6	0.5–0.6	0.7–0.7	0.8–0.8
10	7	0.2–0.3	0.3–0.3	0.3–0.4
11	7	0.2–0.3	0.3–0.3	0.3–0.4
12	7	1–0.5	1–0.6	1–0.7
13	7	0.8–0.5	0.8–0.7	0.8–0.8
14	7	0.4–0.5	0.4–0.6	0.6–0.7

Tabla 3.5: Medición de la agudeza visual (AV) del grupo control en diferentes momentos del estudio según el test Snellen en escala decimal. Notación ojo derecho (OD)–ojo izquierdo (OI)

Niño	Edad	AV Inicial (OD–OI)	AV Final
15	5	0.3–0.4	0.4–0.4
16	5	0.4–1	0.5–1
17	6	0.6–0.7	0.7–0.7
18	6	1–0.5	1–0.7
19	7	0.4–0.4	0.5–0.6
20	7	0.7–0.7	0.8–0.8
21	7	0.6–0.5	0.7–0.6

Por otra parte, en las investigaciones analizadas sobre el tratamiento de la ambliopía con videojuegos [24, 25, 26] se identificaron similares condiciones de validación en la investigación [25]. En esta se aplica el sistema Viston-VR el cual emplea como sustento para la rehabilitación la técnica estereoscópica Lazy Eyes, descrita en el epígrafe 1.3. En el estudio se sometió a los niños a un tratamiento diario de 30 minutos durante una semana, alcanzando mejorías de hasta dos niveles en la agudeza visual. Los grupos de edades trabajadas coinciden con las del presente trabajo de investigación.

El tiempo de tratamiento es un elemento importante para la rehabilitación, sobre todo para los niños [34]. La percepción de la mejora es un factor determinante para la motivación en las terapias de rehabilitación [2]. En este sentido el videojuego Meteorix alcanza una mejora de hasta dos niveles también pero en 10 sesiones. Comparativamente se identifica que con el tratamiento de la ambliopía con un videojuego FPS auto-adaptativo como Meteorix, se puede lograr una rápida percepción de la mejoría similar al sistema estereoscópico Viston-VR (difieren en 3 sesiones). Esto apunta a que un estudio para la comparación entre tratamientos puede aportar al establecimiento de sistemas de tratamiento basados en videojuegos más efectivos, motivantes y económicos.

3.6. Influencia de los ayudantes en el proceso de rehabilitación

Uno de los aportes más importantes de este trabajo es la cuantificación de la influencia de los ayudantes para su ordenamiento automático. Los niveles de aproximación al protocolo LogMAR dependieron en gran medida de la influencia (ϵ_i) que estos tuvieron. Varias de las restricciones y bases de las heurísticas planteadas para medir la influencia de los ayudantes fueron el resultado de observaciones realizadas en el estudio de casos, y de los análisis estadísticos a los datos obtenidos en el cuasiexperimento diseñado. Las más

representativas fueron las siguientes:

1. El número de aciertos consecutivos (S) luego de aplicado un ayudante es un indicador para medir la influencia de un ayudante.
2. El tiempo de influencia de un ayudante puede medirse por S y su media es menor que siete.
3. La *Profundidad* y *TR* son indicadores para medir la influencia de un ayudante.

Para probar la primera afirmación se trabajó sobre un total de 840 aplicaciones de ayudantes, 60 por cada niño. Para ello se comprobó primero que el ajuste a la distribución normal aplicando la prueba Kolmogorov Smirnov. En la Tabla 3.6 se aprecian los resultados de la prueba donde se demuestra que la distribución de S para cada ayudante (H_i) difiere significativamente ($p < 0,05$) de la distribución normal por lo que se necesita continuar los análisis empleando pruebas no paramétricas. Estos resultados también muestran, sobre la base de la no normalidad de las distribuciones, que el estadístico para representar los datos es la mediana en detrimento de la media.

Tabla 3.6: Resultados de la prueba Kolmogorov-Smirnov en la distribución de S para cada ayudante H_i . Fuente: Apéndice C.3.

H_i	Media	Mediana	Desviación Típica	Estadístico Z	Sig. asintótica
H_1	4.65	2	5.05	3.139	0.001
H_2	6.61	6	5.44	2.554	0.001
H_3	6.71	5	5.60	2.430	0.001

Para demostrar la pertinencia de S como estimador para medir la influencia de un ayudante, se realizó una comparación partiendo de la hipótesis nula de igualdad de medianas entre pares de ayudantes, con el objetivo de identificar la existencia de diferencias significativas. La prueba indicada para estos caso es Wilcoxon [125] y los resultados de su aplicación se recogen en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7: Rangos de comparación de la prueba Wilcoxon, el estadístico Z y su nivel de significación para los pares de ayudantes (H_2, H_1) , (H_3, H_1) , (H_3, H_2) . Fuente: Apéndice C.3.

Ayudantes	Rangos(+)	Rangos(-)	Empates	Estadístico Z	Sig. asintótica
(H_2, H_1)	96	57	27	3.79	0.001
(H_3, H_1)	100	59	21	3.87	0.001
(H_3, H_2)	71	71	38	0.24	0.805

Según estos resultados se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los ayudantes (H_2, H_1) y (H_3, H_1) , no siendo así en el caso de (H_3, H_2) los cuales tuvieron la misma influencia. De esta forma queda demostrado primero que S puede considerarse un estimador del nivel de influencia de un ayudante y que tiene una naturaleza temporal. Además, siete aciertos sucesivos puede ser un número representativo en cuanto a la mediana (no la media como se pensaba) de aciertos de un ayudante ya que parte de la proximidad a los mejores niveles de influencia, alcanzados por los ayudantes H_2 y H_3 (Ver estadísticos descriptivos en la Tabla 3.6).

Por otra parte, en relación al nivel similar de influencia de los ayudantes H_2 y H_3 , se ha identificado en un estudio reciente que los pequeños cambios de velocidad son menos percibidos por los niños de menor edad [126]. La muestra seleccionada comprendió a niños con edades entre 5 y 11 años y el movimiento de los objetos se realizó en dos dimensiones. Ante los resultados obtenidos en la comparación de los ayudantes (H_3, H_2) y la similitud en las edades del grupo experimental seleccionado (con edades entre cinco y siete años) se ha evidenciado que el fenómeno de percepción de los pequeños cambios de velocidad podría influir también en el movimiento en tres dimensiones.

La tercera afirmación tiene una estrecha relación con lo definido como influencia de segundo nivel (ϵ_{2do}). Para ello se seleccionaron 81 aplicaciones de ayudantes que cumplieran la condición de $S \geq 7$ con el objetivo de evitar la influencia de un ayudante sobre otro. Se calcularon las medias antes y después de las variables *Profundidad* y *TR* para luego comparar las distribuciones de ambas. Al recurrir a la prueba Kolmogorov-

Smirnov se aceptó el supuesto de normalidad de las distribuciones ya que el nivel de significación fue mayor que 0.05 (Ver Tabla 3.8).

Tabla 3.8: Resultados de la prueba Kolmogorov-Smirnov a las distribuciones de medias de *Profundidad* y *TR* en un antes y después al aplicar un ayudante. Fuente: Apéndice C.4.

Vaiaibles	Estadístico Z	Sig. asintótica
<i>Profundidad</i> _{Antes}	0.832	0.493
<i>Profundidad</i> _{Desp}	0.934	0.348
<i>TR</i> _{Antes}	1.263	0.082
<i>TR</i> _{Desp}	1.210	0.107

Ante tales resultados en cuanto a la naturaleza normal de las distribuciones, se aplicó la prueba T para muestras pareadas (Tabla 3.9) identificándose diferencias significativas en los pares (*Profund*_{Antes}, *Profund*_{Desp}) y (*TR*_{Antes}, *TR*_{Desp}). Los resultados demostraron que ambas variables *Profundidad* y *TR* pueden emplearse como opción para medir ϵ_{2do} .

Tabla 3.9: Diferencia entre medias según la prueba T para muestras pareadas, referente a los valores *Profundidad* y *TR* en un antes y después. Fuente: Apéndice C.4.

Par	Dif. Medias	Estadístico t	Nivel de significación
(<i>Profund</i> _{Antes} , <i>Profund</i> _{Desp})	234.5	3.352	0.001
(<i>TR</i> _{Antes} , <i>TR</i> _{Desp})	-0.28	-1.99	0.050

3.6.1. Potencialidades de las heurísticas para la inferencia en el ordenamiento de los ayudantes

Para comprobar la efectividad de las heurísticas 2.6.1, 2.6.2, 2.6.3 (epígrafe 2.6.3) se decidió tomar los datos asociados a los niños de cinco años ya que fue el grupo en donde el rendimiento no tuvo diferencias significativas y por ende se necesita un mejor trabajo con los ayudantes. Realizando cortes de 30 y 180 aplicaciones de los ayudantes, se procedió a la evaluación de cada heurística analizando, en primer orden, la influencia

individual en un niño y luego en tres. Con esta información se compararon los resultados de la estadística clásica (prueba Wilcoxon para muestras relacionadas) y los resultados de cada heurística, en la búsqueda de similares niveles de inferencia. Los resultados según la estadística clásica se ilustran en las Tablas 3.10, 3.11. Para una muestra de $n = 30$ no se puede estimar el orden de los ayudantes mientras que para $n = 180$ el ordenamiento es incompleto aún, ya que para el par (H_2, H_1) $p > 0,05$, no obstante dada la proximidad del valor $p = 0,065$ al nivel de significación seleccionado se puede aceptar que H_2 es mejor que H_1 .

Tabla 3.10: Rangos de comparación de la prueba Wilcoxon, el estadístico Z y su nivel de significación para los pares de ayudantes (H_2, H_1) , (H_3, H_1) , (H_3, H_2) en un niño ($n = 30$). Fuente: Apéndice C.4.

Ayudantes	Rangos(+)	Rangos(-)	Empates	Estadístico Z	Sig. asintótica
(H_2, H_1)	5	5	0	0.565	0.572
(H_3, H_1)	6	3	1	0.416	0.677
(H_3, H_2)	6	2	2	0.771	0.441

Tabla 3.11: Rangos de comparación de la prueba Wilcoxon, el estadístico Z y su nivel de significación para los pares de ayudantes (H_2, H_1) , (H_3, H_1) , (H_3, H_2) en una muestra de tres niños ($n = 180$). Fuente: Apéndice C.4.

Ayudantes	Rangos(+)	Rangos(-)	Empates	Estadístico Z	Sig. asintótica
(H_2, H_1)	31	24	5	1.849	0.065
(H_3, H_1)	35	21	4	2.358	0.018
(H_3, H_2)	22	24	14	0.426	0.670

Al evaluar la heurística 2.6.1 se llegó a los resultados presentados en la Tabla 3.12. Al comparar los dos métodos, con $n = 30$, se evidencia que el método bayesiano permite inferir cuál es el orden de los ayudantes según su influencia mientras que el método clásico no. Por otra parte, con $n = 180$ el método bayesiano llega a igual nivel de inferencia que el método clásico. Se identificó $P(S|H_2) = P(S|H_3) \geq P(S|H_1)$ con una diferencia del doble.

Con $n = 180$ el método clásico muestra resultados significativos y el método bayesiano evidencia una tendencia a equilibrar el nivel de influencia para $S \geq 7$. Ambos métodos llegan a igual nivel de inferencia solo que el bayesiano adiciona que existe una diferencia de influencia entre los pares (H_2, H_1) , (H_3, H_1) de un 13 y 17 % respectivamente. En ambas muestras los ayudantes H_2 y H_3 tienen similares niveles de influencia. Solo se agrega que el método bayesiano, para $n = 180$, identifica un influencia superior a favor del ayudante H3 equivalente a un 4 % .

Con estos resultados se concluye que la heurística 2.6.1 permite llegar a iguales o superiores niveles de inferencia que el método clásico. Además, dado que $n = 30$ pertenece a un niño, se puede concluir que este número es una primera aproximación al mínimo de información necesaria para realizar el ordenamiento de los ayudantes en tiempo real.

Tabla 3.12: Comparativa según la heurística 2.6.1.

n	$P(S|H_1)$	$P(S|H_2)$	$P(S|H_3)$
30	0.1	0.2	0.2
180	0.25	0.38	0.42

La heurística 2.6.2 permite aumentar la cantidad de información ya que incorpora las veces que falla un ayudante ($S = 0$). Los resultados se presentan en la Tabla 3.13 y el nivel de inferencia continúa en coherencia con los análisis anteriores pero aporta más información sobre el fenómeno desde el punto de vista individual y grupal.

Tabla 3.13: Comparativa según la heurística 2.6.2.

n	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3
30	0.07	0.17	0.2
180	0.14	0.19	0.21

Al observar comparativamente entre los datos de un niño y de tres, se identificó que el

nivel de influencia mejora sustancialmente (el doble) para el H_1 (ϵ_1), evidenciando que H_1 aporta mejores resultados en los dos restantes niños. Para el caso de H_2 (ϵ_2) y H_3 (ϵ_3), en el primer niño dejan de ser iguales marcando una diferencia de un 5 % mientras que forma grupal la diferencia se reduce en un 3 % (uno de los restantes niños tiene mejores resultados con H_2 que con H_3). Estos análisis demuestran que esta heurística es más potente que la heurística 2.6.1.

Para someter a prueba la heurística 2.6.3 se necesitó del cálculo de la función ϵ_{2do} para lo cual se seleccionó la variable *Profundidad*. Según $\frac{Profundidad_{Desp}}{Profundidad_{Antes}}$, ϵ_{2do} es 1.08, 1.04 y 1.02 respectivamente. Esto muestra mejoras en la *Profundidad* en el orden de 8, 4 y 2 % para los casos en donde no hay una influencia de un ayudante sobre otro (en estos casos H_1 es el mejor ayudante).

Al calcular ϵ_i (Tabla 3.14) se aprecia que para el primer niño no hubo cambios, sin embargo de forma grupal ϵ_1 mejoró en un punto porcentual. En el caso de H_2 y H_3 no existieron variaciones en comparación con la heurística 2.6.2 por lo que ϵ_{2do} no aportó nueva información en este sentido.

Tabla 3.14: Comparativa según la heurística 2.6.3.

n	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3
30	0.07	0.17	0.2
180	0.15	0.19	0.21

En las comparaciones anteriores se logró demostrar las potencialidades de las heurísticas propuestas en un análisis ascendente en cuanto a la descripción del fenómeno. La descripción del mismo mejora sustancialmente con cada heurística aplicada lográndose una mejor inferencia para el ordenamiento de los ayudantes, según su influencia, así como una propuesta de valor mínimo ($n = 30$) para ordenar los ayudantes en tiempo real. Además, con los análisis comparativos se identifica que las heurísticas 2.6.2 y 2.6.3 son

las mejores opciones a aplicar en el terapeuta ADD-Ayuda para la rehabilitación de la ambliopía.

3.7. Estudio focal con especialistas en oftalmología y rehabilitación

La validación cuantitativa es una poderosa herramienta, pero su combinación con técnicas cualitativas permite reafirmar o identificar aspectos relevantes y comunes al saber teórico-práctico de los especialistas de una determinada área de investigación. 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 [127].

Con el objetivo de valorar aspectos teóricos y prácticos del modelo relacionados con las especialidades de oftalmología y rehabilitación se decidió aplicar la técnica de grupo focal. El grupo estuvo compuesto por ocho especialistas en oftalmología y rehabilitación pertenecientes al departamento de Oftalmología Pediátrica del Instituto Cubano de Oftalmología Ramón Pando Ferrer. Los mismos no participaron en el proyecto Apéndice D. La mesa de trabajo partió de la presentación de los aspectos teóricos del modelo no pertenecientes al área de la informática y los resultados alcanzados a partir su aplicación en el videojuego Meteorix. A continuación se muestran los aspectos abordados y un resumen de las valoraciones dadas por los especialistas.

1. Acercamiento del entorno de juego al protocolo de medición LogMAR.

Los especialistas estuvieron de acuerdo en que el enfoque es correcto y los resultados apuntan a su efectividad. Además, afirmaron que este es una nueva forma para el control de la rehabilitación en videojuegos. Propusieron valorar su

efectividad con una muestra mayor para llegar a una conclusión definitiva.

2. Nivel de personalización del tratamiento

Ante este aspecto el grupo llegó al consenso en que se personaliza la terapia de forma coherente con la edad y el nivel de rendimiento en la sesión. El enfoque de ayudantes como supresores de ruidos en la rehabilitación les resultó interesante, y afirmaron que, a pesar de que los resultados demostraron su efectividad en la mejora del rendimiento, se debería seguir estudiando si es efectiva la personalización a partir del ordenamiento automático de los mismos. Ante esta observación se recomienda para próximos trabajos explorar si el ordenamiento a partir del cálculo del nivel de influencia (ϵ_i) mejoraría la capacidad de personalización.

3. Valoración de la calidad de las muestras para el grupo experimental y de control.

Ante esto afirmaron que las muestras seleccionadas cumplen con los requisitos de niños con ambliopía, solo cuestionaron su representatividad por la cantidad de niños (14), aunque afirmaron que existía un adecuado balance en la cantidad por edades.

4. Relevancia de los resultados estadísticos asociados a la mejoría de la agudeza visual.

En este aspecto reconocieron que en la muestra seleccionada para el grupo experimental se evidencia una significativa mejora de la agudeza visual en un corto período de tiempo. El criterio generalizado fue que se necesita realizar otro estudio con una muestra mayor, que valore no solo el nivel de mejora sino la permanencia del nivel de agudeza visual en el tiempo.

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

En este último aspecto todos manifestaron su reconocimiento al trabajo porque humaniza los tratamientos que se realizan (epígrafe 1.2.2). Además, afirmaron que los niños serán los más beneficiados porque pueden vincular el tratamiento y la diversión. En este sentido afirmaron que para ellos es efectivo porque las salidas del juego (Apéndice A) les permiten un mejor seguimiento al proceso de rehabilitación a partir de una mayor cantidad de información cuantitativa del paciente.

En resumen, el grupo focal valoró de positivo todos los aspectos 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 en el tratamiento de otros padecimientos como la baja visión.

3.8. Conclusiones parciales

Como conclusiones del presente capítulo se tienen:

- 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 (ϵ_i) puede medirse de diferentes formas al emplear las heurísticas propuestas por el modelo. La heurística 2.6.3 es la que mejor describe el fenómeno pero no brinda mucha información para la inferencia al compararse con la heurística 2.6.2.
- 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.

GLOSARIO

aciertos : se le denomina al conjunto de retos vencidos.

agente inteligente : entidad que percibe, razona y actúa sobre un entorno.

agudeza visual : función de carácter monocular o binocular que se identifica como el menor espacio visual que puede ser visualmente detectado, discriminado o identificado.

ambliopía : enfermedad caracterizada por la prevalencia del nivel de agudeza visual por debajo de lo normal sin una causa aparente.

auto-adaptabilidad : referente a los sistemas informáticos, constituye la capacidad para ajustarse automáticamente al contexto de ejecución en un ciclo cerrado de retroalimentación.

avatar : en ambientes virtuales multiusuarios de internet y en juegos, el avatar es la representación gráfica del usuario.

generación procedural de contenido : construcción de contenidos empleando algoritmos.

generación procedural en tiempo real : generación procedural en tiempo de ejecución cuya eficiencia permite una visualización en tiempo real.

habilidad óculo-manual : capacidad que el ser humano desarrolla para utilizar, simultáneamente y de forma integrada, la vista y las manos con el propósito de realizar una actividad.

inmersión :fenómeno asociado a la capacidad humana de sentirse parte de un entorno virtual.

juegos serios : prueba mental llevada a cabo frente a una computadora, de acuerdo con reglas específicas, que usan la diversión como modo de formación gubernamental o corporativo, con objetivos en el ámbito de la educación, sanidad, política pública y comunicación estratégica.

ludificación : concepto referido a la transformación de los procesos rutinarios en juegos.

manejo adecuado de los fallos :mecanismos de retroalimentación que informa el fallo en un reto y/o ajusta la complejidad del mismo.

motor gráfico : núcleo de programas encargados de gestionar los gráficos de un videojuego.

mínimo reconocible : capacidad del sistema visual para reconocer formas u objetos o su orientación.

mínimo separable : capacidad de ver separado dos objetos muy próximos.

optotipo : el término 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.

protocolo : plan escrito y detallado de un experimento científico, un ensayo clínico o una actuación médica.

rejilla regular : método de subdivisión espacial que divide regularmente un espacio bidimensional en celdas de iguales características.

rendimiento : expresa el comportamiento de la habilidad de un jugador en la interacción con diferentes retos al pasar el tiempo.

reto : su existencia tiene una relación directa con el fin de ganar el juego.

test : conjunto de optotipos ordenados por tamaño y proyectados con un contraste máximo según el formato seleccionado (impreso o digital).

visualización en tiempo real : es aquel cambio de imagen en donde el usuario reacciona y actúa ante un coherente cambio de imágenes. Se mide en cuadros por segundo y se le atribuye a las frecuencias por encima de los 30 cuadros por segundo.

ACRÓNIMOS

ADD Ajuste Dinámico de la Dificultad.

FPS tiradores en primera persona-First Person Shooters.

fps cuadros por segundo.

GBC Generador Basado en Capas.

GPC generación procedural de contenido.

GPCE generación procedural de contenido entorno.

GPIC generación procedural e inteligente de contenido.

IA Inteligencia Artificial.

IHC Interacción Hombre-Computadora.

ZDP Zona de Desarrollo Próximo o Potencial.

ZE Zona del Equilibrio.

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 anisometric 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] J. D. Domínguez, «Detección de trastornos visuales (1.ª parte)», *Revista Pediatría de Atención Primaria*, vol. 10, n.º 8, págs. 95-123, 2008.
- [42] A. B. García, *Atención en Baja Visión*. Madrid-ONCE, 2000.
- [43] M. R. y V. G., *Manual de Optometría*. Editorial Médica Panamericana, 2011, págs. 3-21.
- [44] 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.
- [45] M. Heuser, *A complete multilanguage electronic vision test system*, 2014. dirección: <http://www.imac-visiontest.com/visiontest/logmar-etdrs-test>.

- [46] A. Gargantini, M. Bana y F. Fabiani, «Using 3d for rebalancing the visual system of amblyopic children», en *International Workshop on Virtual Rehabilitation*, 2011.
- [47] 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.
- [48] 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.
- [49] 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.
- [50] A. Miloletti, A. Sandro y E. Susser, «Community mental health services in latin america for people with severe mental disorders», *Public Health Reviews*, vol. 34, págs. 1-23, 2012.
- [51] M. W. Brault, «Americans with disabilities: 2010», U.S CENSUS BURBEAU, inf. téc., 2012.
- [52] 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.
- [53] 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.
- [54] 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.
- [55] J. D. i Gavaldá y H. T. Navarro, *Introducción a los videojuegos*. Universidad Abierta de Cataluña, España, 2007.

- [56] D. Bowman y R. McMahan, «Virtual reality: How much immersion is enough?», *IEEE Computer*, vol. 40, n.º 7, págs. 36-43, 2007.
- [57] EAGame, *Crysis console screenshot*, 2011. dirección: <http://www.ea.com/crysis-1/images>.
- [58] 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.
- [59] J. Togelius, M. J. Nelson y A. Liapis, «Characteristics of generatable games», *Intelligence*, vol. 9, pág. 20, 2014.
- [60] 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.
- [61] 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.
- [62] 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.
- [63] 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.
- [64] D. Adams y M. Mandler, *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>.
- [65] 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.

- [66] 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.
- [67] P. Musialski, P. Wonka, D. G. Aliaga, M. Wimmer, L. van Gool y W. Purgathofer, «A survey of urban reconstruction», *Computer Graphics Forum*, vol. 32, n.º 6, págs. 146-177, 2013.
- [68] 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.
- [69] T. Akenine-Moller, E. Haines y N. Hoffman, *Real-Time Rendering 3rd Edition*. Natick, MA, USA: A. K. Peters, Ltd., 2008.
- [70] G. Bebis, R. Boyle, B. Parvin, D. Koracin, F. Charless, W. Sen, C. Min-Hyung, S. Mantler, J. Schulze, D. Acevedo y col., *Advances in Visual Computing: 8th International Symposium*, ép. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, 2012.
- [71] B. Javi, «Sistemas gráficos interactivos (sgi)», Universidad Politécnica de Cataluña, inf. téc., 2008. dirección: <http://www.lsi.upc.edu/%20~pere/SGI/guions/ArquitecturaRV.pdf>.
- [72] J. M. Ibanez, «Metodología para la generación de entornos virtuales distribuidos y su aplicación a simuladores de conducción», Tesis doct., 2005.
- [73] 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.
- [74] B. Worlds, *Decensor engine*, <http://www.binaryworlds.com/products.html>, 2003.
- [75] 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.

- [76] F. Nocke y B. Christian-A, «Scaper.real-time generation of infinite environment», Tesis de lic., Fachhochschule Wedel, University of Applied Sciences, 2005.
- [77] C. University, *Cambridge dictionaries online*, 2015. dirección: <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/british/avatar>.
- [78] S. Dahlskog y J. Togelius, «Procedural content generation using patterns as objectives», en *Applications of Evolutionary Computation*, Springer, 2014, págs. 325-336.
- [79] R. M. Smelik, T. Tutenel, 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.
- [80] S. Greuter, J. Parker, N. Stewart y G. Leach, «Real-time procedural generation of ‘pseudo infinite’ cities», en *GRAPHITE '03: Proceedings of the 1st international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia*, Melbourne, Australia: ACM, 2003, págs. 87-94.
- [81] M. Danaher, «Dynamic landscape generation using page management», en *10-th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision- WSCG 2002*, 2002, págs. 135-138.
- [82] J. Gregory, *Game Engine Architecture*, J. Lander y W. M., eds. A K Peters, Ltd. Wellesley, Massachusetts, 2009.
- [83] 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.
- [84] N. J. Nilsson, *Principles of Artificial Intelligence*. Natick, MA, USA: Springer Verlag, Berlin, 1982, pág. 1045.
- [85] C. Reynolds, «Using interactive evolution to discover camouflage patterns», en *ACM SIGGRAPH*, Los Angeles, California: ACM, 2010.
- [86] 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.
- [87] 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.
- [88] 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.
- [89] S. J. Russell y N. P., *Artificial Intelligent: A modern approach*, 2nd. Prentice - Hall, 2003.
- [90] T. Lechner, B. Watson y U. Wilensky, «Procedural city modeling», en *1st Midwestern Graphics Conference*, 2003.
- [91] 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.
- [92] 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.
- [93] 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.
- [94] 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.
- [95] J. Chen, «Flow in games (and everything else)», *Commun. ACM*, vol. 50, págs. 31-34, 2007.
- [96] S. Blackman, «Serious game and less!», en *ACM SIGGRAPH Comput. Graphics*, vol. 39, 2005, págs. 12-16.

- [97] C. Aldrich, «A field guide to educational simulations», en *Learn. Circuits*, 2002.
- [98] R. Rouse, *Game Desing Theory and Practice*. Second Edition. Jones y Bartlett Publishers LLC, USA, 2005.
- [99] 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.
- [100] R. Houlette, «Player modeling for adaptive games», *AI Game Programming Wisdom II*, págs. 557-566. 2004.
- [101] 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.
- [102] J. Togelius, N. Shaker y G. N. Yannakakis, «Active player modelling», *ArXiv*, 2013.
- [103] 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.
- [104] M. Buckland, *Programming Game AI by Example*. USA: Wordware Publishing, 2005.
- [105] B. Farell y D. G. Pelli, «Psychophysical methods, or how to measure a threshold and why», *Vision Research: A Practical Guide to Laboratory Methods*, págs. 129-136, 1999.
- [106] J. Piaget, *Piaget's Theory, in Handbook of Child Psychology (4th Ed.)* Wiley: New York Harvard University Press., 1983.
- [107] 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.
- [108] N. Padilla-Zea, J. L. González-Sánchez, F. L. Gutiérrez, M. J. Cabrera y P. Paderewski, «Diseño de videojuegos colaborativos y educativos centrados

- en la jugabilidad», *IEEE-Revista Iberoamericana de Tecnologías para el Aprendizaje*, vol. 4, n.º 3, págs. 191-198, 2009.
- [109] R. Ordaz Lorenzo, *La modelación como método científico general del conocimiento y sus potencialidades en el campo de la educación*, R. Ordaz Lorenzo, ed. Instituto Superior Pedagógico Enrique José Varona, 2003.
- [110] A. D. Valle-Lima, *Metamodelos de la Investigación Pedagógica*. Instituto Central de Ciencias Pedagógicas. Ministerio de Educación de Cuba, 2007.
- [111] 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.
- [112] ———, «Layer generator, a real time virtual environment generator», en *SIGRADI, Bogotá, Colombia*, 2010, págs. 316-319.
- [113] 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.
- [114] 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.
- [115] O. Correa, P. Martinto y A. Aria, «Affective video game for the treatment of amblyopia in young children», *Entertainment Computing*, *En revisión*, 2015.
- [116] N. Centro Caren, *Campo de acción de la rehabilitación*, 2009. dirección: <http://www.neurorehabilitacion.com/areascampo.htm>.
- [117] *Definición abc*, <http://www.definicionabc.com/?s=Ruido>, 2013.
- [118] T. Miller, *Beginning 3D Game Programming*. USA: Sams Publishing, 2004.
- [119] J. S. Harbour, *Game Programming All in One (2nd Edition)*, A. Shafran, ed. USA: Thomson Course Technology, USA, 2004, págs. 317-324.

- [120] J. J. Ortega y J. A. Obispo, *Manual de psicomotricidad.(Teoría, exploración, programación y práctica)*. Ediciones la Tierra Hoy S.L, 2007.
- [121] D. Sagi, «Perceptual learning in vision research», *Vision Research*, vol. 51, n.º 51, págs. 1552-1566, 2011.
- [122] D. Lezano, *The Photography Bible*. A David y Charlles book, 2007, págs. 52-53.
- [123] P. Mondelo, P. Bombardo, J. Busquets y E. Torada, *Diseño de puestos de trabajo*. Universidad Politécnica de Cataluña, 2004.
- [124] A. Huckauf y C. v. Hunnius, «Virtual and real visual depth», en *APGV05 Proceedings of 2nd symposium on Applied perception in graphics and visualization*, 2005, págs. 179-186.
- [125] M. Gómez-Gómez, C. Danglot-Banck y L. Vega-Franco, «Sinopsis de pruebas estadísticas no paramétricas. cuándo usarlas», *Revista Mexicana de Pediatría*, vol. 70, n.º 2, págs. 91-99, 2003.
- [126] C. Manning, D. Aagten-Murphy y E. Pellicano, «The development of speed discrimination abilities», *Vision Research*, vol. 70, págs. 27-33, 2012.
- [127] 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.

APÉNDICES

Apéndice **A**

ESTRUCTURAS DE FICHEROS DE SALIDA

A.1.

```
▼<UserProfile>
  <Name id="" age="5" visiongrade="0.5-0.6">BRAYAN</Name>
  ▼<Sessions total="1">
    ▼<Session number="1" day="21" month="10" year="2013">
      ▼<Level type="1" id="16412982014BRAYAN">
        <SoftwareTime>36.828125</SoftwareTime>
        <Tasks>15</Tasks>
        <Hits>15</Hits>
        <ErrorAverage>0.266667</ErrorAverage>
        <ReactionTime>1.234896</ReactionTime>
        <DepthAverage>3546.583252</DepthAverage>
      </Level>
      ▼<Level type="2" id="17182982014BRAYAN">
        <SoftwareTime>14.082031</SoftwareTime>
        <Tasks>5</Tasks>
        <Hits>5</Hits>
        <ErrorAverage>0.000000</ErrorAverage>
        <ReactionTime>2.030469</ReactionTime>
        <DepthAverage>2854.750000</DepthAverage>
      </Level>
      ▼<Level type="3" id="19162982014BRAYAN">
        <SoftwareTime>93.808594</SoftwareTime>
        <Tasks>17</Tasks>
        <Hits>15</Hits>
        <ErrorAverage>0.000000</ErrorAverage>
        <ReactionTime>2.189338</ReactionTime>
        <DepthAverage>3873.896973</DepthAverage>
      </Level>
    </Session>
  </Sessions>
</UserProfile>
```

```

▼<UserConfig>
  <Tsof>901.397949</Tsof>
  <Treacc>2.283205</Treacc>
  <PErrors>0.303226</PErrors>
  <CantAC>151</CantAC>
  <CantT>155</CantT>
  <ProfP>5418.711426</ProfP>
▼<Tareas cantreal="155">
  ▼<Tarea number="1">
    <TReacc>3.231934</TReacc>
    <Errors>0</Errors>
    <Prof>1782.500000</Prof>
    <Acierto>Si</Acierto>
    <Ayuda>0</Ayuda>
  </Tarea>
  ▼<Tarea number="2">
    <TReacc>1.602051</TReacc>
    <Errors>0</Errors>
    <Prof>2237.500000</Prof>
    <Acierto>Si</Acierto>
    <Ayuda>0</Ayuda>
  </Tarea>
  ▼<Tarea number="3">
    <TReacc>1.206055</TReacc>
    <Errors>0</Errors>
    <Prof>2352.500000</Prof>
    <Acierto>Si</Acierto>
    <Ayuda>0</Ayuda>
  </Tarea>
  ▼<Tarea number="4">
    <TReacc>0.647949</TReacc>
    <Errors>0</Errors>
    <Prof>2522.500000</Prof>
    <Acierto>Si</Acierto>
    <Ayuda>0</Ayuda>
  </Tarea>
  .
  .
  .
  </Tareas>
</UserConfig>

```


Apéndice **B**

RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN
ENTRE OPTOTIPOS 3D Y OPTOTIPOS
LOGMAR. ERROR DE
APROXIMACIÓN

APÉNDICE B. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN ENTRE OPTOTIPOS 3D Y OPTOTIPOS LOGMAR. ERROR DE APROXIMACIÓN

B.1.

TAMAÑO DE LOS OPTOTIPOS 3D A DIFERENTES PROFUNDIDADES y ERROR RELATIVO COMPARADO CON LOGMAR

Lecturas	50 % del Límite de Profundidad	Tamaño LogMAR	Diferencia (Error)
1	2	3	1
2	1.9	3	1.1
3	1.8	3	1.2
4	1.9	3	1.1
5	1.8	3	1.2
6	1.8	3	1.2
7	2.0	3	1
8	1.8	3	1.2
9	1.8	3	1.2
10	2.0	3	1
			ERROR MAX 1.2 cm

Lecturas	75 % del Límite de Profundidad	Tamaño LogMAR	Diferencia (Error)
1	1.3	2	0.7
2	1.3	2	0.7
3	1.2	2	0.8
4	1.2	2	0.8
5	1.3	2	0.7
6	1.3	2	0.7
7	1.3	2	0.7
8	1.2	2	0.8
9	1.2	2	0.8
10	1.3	2	0.7
			ERROR MAX 0.8 cm

Lecturas	Límite de Profundidad	Tamaño LogMAR	Diferencia (Error)
1	0.8	0.5	0.3
2	0.8	0.5	0.3
3	0.7	0.5	0.2
4	0.8	0.5	0.3
5	0.7	0.5	0.2
6	0.7	0.5	0.2
7	0.7	0.5	0.2
8	0.8	0.5	0.3
9	0.8	0.5	0.3
10	0.7	0.5	0.2
			ERROR MAX 0.3 cm

Apéndice **C**

**SALIDAS DE LAS PRUEBAS
EJECUTADAS EN EL PROGRAMA
ESTADÍSTICO SPSS**

C.1.

➔ Análisis para niños de 5 años

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Task_20	Task_40	Task_60
N		45	45	45
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	2181,5556	2329,2000	2447,2667
	Std. Deviation	732,27695	952,19604	914,58208
Most Extreme Differences	Absolute	,179	,169	,144
	Positive	,179	,169	,144
	Negative	-,146	-,070	-,063
Kolmogorov-Smirnov Z		1,198	1,135	,967
Asymp. Sig. (2-tailed)		,113	,152	,307

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Task_20	2181,5556	45	732,27695	109,16140
	Task_40	2329,2000	45	952,19604	141,94500
Pair 2	Task_40	2329,2000	45	952,19604	141,94500
	Task_60	2447,2667	45	914,58208	136,33785

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Task_20 & Task_40	45	,600	,000
Pair 2	Task_40 & Task_60	45	,828	,000

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Task_20 - Task_40	-147,644	778,44274	116,04339	-381,515	86,22565	-1,272	44	,210
Pair 2	Task_40 - Task_60	-118,067	548,13835	81,71164	-282,746	46,61233	-1,445	44	,156

APÉNDICE C. SALIDAS DE LAS PRUEBAS EJECUTADAS EN EL PROGRAMA
ESTADÍSTICO SPSS

➔ **Análisis para niños de 6 años**

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Task_20	Task_40	Task_60
N		59	59	59
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	3051,4915	3610,2373	3987,4576
	Std. Deviation	1160,133	1516,791	1429,293
Most Extreme Differences	Absolute	,119	,114	,134
	Positive	,119	,114	,093
	Negative	-,067	-,100	-,134
Kolmogorov-Smirnov Z		,916	,872	1,027
Asymp. Sig. (2-tailed)		,371	,433	,242

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Task_20	3051,4915	59	1160,13305	151,03646
	Task_40	3610,2373	59	1516,79094	197,46936
Pair 2	Task_40	3610,2373	59	1516,79094	197,46936
	Task_60	3987,4576	59	1429,29323	186,07813

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Task_20 & Task_40	59	,762	,000
Pair 2	Task_40 & Task_60	59	,785	,000

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Task_20 - Task_40	-558,746	983,02553	127,97902	-814,924	-302,568	-4,366	58	,000
Pair 2	Task_40 - Task_60	-377,220	969,38863	126,20365	-629,844	-124,596	-2,989	58	,004

APÉNDICE C. SALIDAS DE LAS PRUEBAS EJECUTADAS EN EL PROGRAMA
ESTADÍSTICO SPSS

➔ **Análisis para niños de 7 años**

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Task_20	Task_40	Task_60
N		50	50	50
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	3528,4000	3857,2000	4249,0600
	Std. Deviation	1771,826	1382,743	1382,509
Most Extreme Differences	Absolute	,123	,095	,137
	Positive	,120	,086	,101
	Negative	-,123	-,095	-,137
Kolmogorov-Smirnov Z		,870	,675	,972
Asymp. Sig. (2-tailed)		,436	,752	,302

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Task_20	3528,4000	50	1771,82608	250,57405
	Task_40	3857,2000	50	1382,74293	195,54938
Pair 2	Task_40	3857,2000	50	1382,74293	195,54938
	Task_60	4249,0600	50	1382,50883	195,51627

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Task_20 & Task_40	50	,397	,004
Pair 2	Task_40 & Task_60	50	,867	,000

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Task_20 - Task_40	-328,800	1762,19492	249,21200	-829,610	172,01026	-1,319	49	,193
Pair 2	Task_40 - Task_60	-391,860	714,28434	101,01506	-594,857	-188,863	-3,879	49	,000

C.2.

→ Comparación del nivel de mejora de la agudeza visual entre el grupo experimental y control

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		NivelesExper
N		21
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	1,8571
	Std. Deviation	,72703
Most Extreme Differences	Absolute	,245
	Positive	,232
	Negative	-,245
Kolmogorov-Smirnov Z		1,121
Asymp. Sig. (2-tailed)		,162

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

T-Test

Group Statistics

	Grupo	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
NivelesExper	1	14	2,1429	,66299	,17719
	2	7	1,2857	,48795	,18443

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
NivelesExper	Equal variances assumed	,226	,640	3,020	19	,007	,85714	,28383	,26308	1,45120
	Equal variances not assumed			3,351	15,926	,004	,85714	,25576	,31476	1,39952

C.3.

➔ **Análisis para determinar el ordenamiento de los ayudantes por el nivel influencia**

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		SuccessA1	SuccessA2	SuccessA3
N		180	180	180
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	4,6556	6,6111	6,7111
	Std. Deviation	5,05315	5,44591	5,60376
Most Extreme Differences	Absolute	,234	,190	,181
	Positive	,234	,135	,168
	Negative	-,178	-,190	-,181
Kolmogorov-Smirnov Z		3,139	2,554	2,430
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Wilcoxon Signed Ranks Test

Ranks

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
SuccessA2 - SuccessA1	Negative Ranks	57 ^a	66,88	3812,00
	Positive Ranks	96 ^b	83,01	7969,00
	Ties	27 ^c		
	Total	180		
SuccessA3 - SuccessA1	Negative Ranks	59 ^d	69,64	4109,00
	Positive Ranks	100 ^e	86,11	8611,00
	Ties	21 ^f		
	Total	180		
SuccessA3 - SuccessA2	Negative Ranks	71 ^g	69,80	4955,50
	Positive Ranks	71 ^h	73,20	5197,50
	Ties	38 ⁱ		
	Total	180		

a. SuccessA2 < SuccessA1

b. SuccessA2 > SuccessA1

c. SuccessA2 = SuccessA1

d. SuccessA3 < SuccessA1

e. SuccessA3 > SuccessA1

f. SuccessA3 = SuccessA1

g. SuccessA3 < SuccessA2

h. SuccessA3 > SuccessA2

i. SuccessA3 = SuccessA2

Test Statistics^b

	SuccessA2 - SuccessA1	SuccessA3 - SuccessA1	SuccessA3 - SuccessA2
Z	-3,791 ^a	-3,877 ^a	-,247 ^a
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000	,000	,805

a. Based on negative ranks.

b. Wilcoxon Signed Ranks Test

APÉNDICE C. SALIDAS DE LAS PRUEBAS EJECUTADAS EN EL PROGRAMA
ESTADÍSTICO SPSS

C.4.

➔ **Análisis del nivel de influencia de segundo nivel (Profundidad y Tiempo de Reacción)**

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		DepthBefore	DepthAfter	RTBefore	RTAfter
N		81	81	81	81
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	3658,172840	3892,642	3,5301	3,2541
	Std. Deviation	1187,22509	1144,507	1,26135	1,15295
Most Extreme Differences	Absolute	,092	,104	,140	,134
	Positive	,070	,059	,140	,134
	Negative	-,092	-,104	-,058	-,067
Kolmogorov-Smirnov Z		,832	,934	1,263	1,210
Asymp. Sig. (2-tailed)		,493	,348	,082	,107

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	DepthBefore	3658,173	81	1187,2250923	131,9139
	DepthAfter	3892,642	81	1144,5071462	127,1675
Pair 2	RTBefore	3,5301	81	1,26135	,14015
	RTAfter	3,2541	81	1,15295	,12811

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	DepthBefore & DepthAfter	81	,855	,000
Pair 2	RTBefore & RTAfter	81	,468	,000

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	DepthBefore - DepthAfter	-234,469	629,6263195	69,95848	-373,691	-95,2473	-3,352	80	,001
Pair 2	RTBefore - RTAfter	,27605	1,24840	,13871	,00000	,55209	1,990	80	,050

APÉNDICE C. SALIDAS DE LAS PRUEBAS EJECUTADAS EN EL PROGRAMA ESTADÍSTICO SPSS

➔ **Comparación para el análisis entre ayudantes de un niño (n=30)**

Wilcoxon Signed Ranks Test

		Ranks		
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
SuccessA2 - SuccessA1	Negative Ranks	5 ^a	4,40	22,00
	Positive Ranks	5 ^b	6,60	33,00
	Ties	0 ^c		
	Total	10		
SuccessA3 - SuccessA1	Negative Ranks	6 ^d	4,33	26,00
	Positive Ranks	3 ^e	6,33	19,00
	Ties	1 ^f		
	Total	10		
SuccessA3 - SuccessA2	Negative Ranks	6 ^g	3,92	23,50
	Positive Ranks	2 ^h	6,25	12,50
	Ties	2 ⁱ		
	Total	10		

- a. SuccessA2 < SuccessA1 f. SuccessA3 = SuccessA1
 b. SuccessA2 > SuccessA1 g. SuccessA3 < SuccessA2
 c. SuccessA2 = SuccessA1 h. SuccessA3 > SuccessA2
 d. SuccessA3 < SuccessA1 i. SuccessA3 = SuccessA2
 e. SuccessA3 > SuccessA1

Test Statistics^a

	SuccessA2 - SuccessA1	SuccessA3 - SuccessA1	SuccessA3 - SuccessA2
Z	-,565 ^a	-,416 ^b	-,771 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	,572	,677	,441

- a. Based on negative ranks.
 b. Based on positive ranks.
 c. Wilcoxon Signed Ranks Test

➔ **Comparación para el análisis entre ayudantes de tres niño (n=180)**

Wilcoxon Signed Ranks Test

		Ranks		
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
SuccessA2 - SuccessA1	Negative Ranks	24 ^a	22,92	550,00
	Positive Ranks	31 ^b	31,94	990,00
	Ties	5 ^c		
	Total	60		
SuccessA3 - SuccessA1	Negative Ranks	21 ^d	24,26	509,50
	Positive Ranks	35 ^e	31,04	1086,50
	Ties	4 ^f		
	Total	60		
SuccessA3 - SuccessA2	Negative Ranks	24 ^g	20,90	501,50
	Positive Ranks	22 ^h	26,34	579,50
	Ties	14 ⁱ		
	Total	60		

- a. SuccessA2 < SuccessA1 f. SuccessA3 = SuccessA1
 b. SuccessA2 > SuccessA1 g. SuccessA3 < SuccessA2
 c. SuccessA2 = SuccessA1 h. SuccessA3 > SuccessA2
 d. SuccessA3 < SuccessA1 i. SuccessA3 = SuccessA2
 e. SuccessA3 > SuccessA1


Test Statistics^b

	SuccessA2 - SuccessA1	SuccessA3 - SuccessA1	SuccessA3 - SuccessA2
Z	-1,849 ^a	-2,358 ^a	-,426 ^a
Asymp. Sig. (2-tailed)	,065	,018	,670

- a. Based on negative ranks.
 b. Wilcoxon Signed Ranks Test

Apéndice **D**

PROYECTO INTERDISCIPLINAR


F. Hernández Silva Juan Raúl
#4068

**Proyecto de Investigación sobre los efectos de la terapia neurosensorial
en el manejo de la ambliopía**

La Ambliopía es la reducción de la agudeza visual mejor corregida (AVMC), unilateral o bilateral, que no puede ser atribuida a alguna anomalía estructural del ojo o de la vía visual posterior. Esta afecta del 3-5% de la población. En la consulta de oftalmología pediátrica el 90 % del trabajo está relacionada con esta.

Es la principal causa de disminución de la AV monocular dentro de una población de 20 a 70 años, sobrepasando la retinopatía diabética, el glaucoma, la degeneración macular relacionada con la edad y la catarata.

El tratamiento se basa fundamentalmente en eliminar la causa, indicar la mejor corrección óptica y forzar la visión del ojo peor limitando el uso del mejor ojo a través de:

- Terapia oclusiva.
- Penalizaciones.

Otras modalidades de tratamiento esta la terapia farmacológica sistémica con el uso de Levodopa-Carbidopa. y la estimulación neurosensorial a través de software

El uso de medicación sistémica es una opción basado en el papel sumamente imprescindible que tienen los neurotransmisores en la conformación de la arquitectura visual.

La terapia oclusiva ha sido la opción que a través de los años ha demostrado ser superior al resto de las terapias. Los horarios de oclusiones se han ido modificando a regimenes menos severos, siempre que esta se haya asociado a un esfuerzo visual que puede ser de 20 minutos a 2 horas con el auxilio de entretenimientos de mesa o juegos informáticos.

Este propuesta de proyecto sobre el manejo de la ambliopía se basa en la aplicación de un software de juegos para la estimulación en la fijación como complemento a la terapia oclusiva creado y desarrollado en la Universidad de

las Ciencias Informáticas. (UCI) partiendo del conocimiento de que no todos los videojuegos son dañinos, existiendo una tendencia de estos hacia el entrenamiento, educación y terapias de rehabilitación que los ha colocado como una alternativa muy interesante a problemas abordados de una manera muy motivante. Los Juegos Serios, término que reúne a este grupo de videojuegos es hoy uno de los temas más abordados en diferentes foros internacionales en donde se valora y estudia la utilidad de los mismos.

En nuestra investigación se emplea el juego Meteorix que es un videojuego en tercera dimensión (3D), de corte galáctico, capaz de personalizar los contenidos del juego según sea el nivel de respuesta del niño (habilidades óculo manual), lo cual se realiza basándose en un sistema estadístico, que permite identificar el grado de avance (cantidad de aciertos) y por tanto seleccionar el próximo paso en el tratamiento. Además, proporciona niveles de ayuda, los cuales son activados de forma automática y en orden jerárquico acorde a variables psicológicas y pedagógicas. Su lógica es fusionada con la del tratamiento de una manera que el paciente no se percata de que está siendo tratado, este equilibrio constituye uno de los aportes a sistemas de este tipo. Al final de cada sesión, el sistema almacena los resultados, lo cual haciendo uso de una Herramienta Auxiliar, le permite identificar el grado de avance del paciente y reorientar, si es preciso, el tratamiento.

Previo a su aplicación a pacientes con diagnóstico de Ambliopía se validará aplicándolo en una población infantil sana en edades comprendidas entre los 3 y 8 años para conocer datos normales por edad como son la velocidad de reacción, el número de aciertos

Para la selección de la muestra inicial se realizará ^{MAVE} un screening entre niños de 3 a 7 años para seleccionar los que tengan una AVMC de la 1.0 de visión para conocer los valores normales por edad como son tiempo y velocidad de reacción ante los estímulos visuales. Al tener estos valores estaremos validando el software para utilizarlo como terapia en la rehabilitación visual de niños ambliopes a los que seleccionaremos según los siguientes criterios de inclusión.