UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
TELECOMUNICACIÓN

Modelado y Evaluación de
Entornos Virtuales Interactivos para
Rehabilitación Cognitiva en Daño Cerebral

TESIS DOCTORAL

José María Martínez Moreno

Ingeniero de Telecomunicación

Madrid, febrero de 2016

Departamento de Tecnología Fotónica y Bioingeniería
Grupo de Bioingeniería y Telemedicina
E.T.S.I de Telecomunicación

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Modelado y Evaluación de
Entornos Virtuales Interactivos para
Rehabilitación Cognitiva en Daño Cerebral

TESIS DOCTORAL

Autor:

José María Martínez Moreno

Directores:

Enrique J. Gómez Aguilera

José María Tormos Muñoz

Madrid, febrero de 2016

Tribunal nombrado por el Magnífico y Excelentísimo Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día 2 de febrero de 2016.

Presidente:	Dra. M ^a Elena Hernando Pérez	Doctora en Ingeniería de Telecomunicación Profesora Titular de Universidad Universidad Politécnica de Madrid
Vocales:	Dr. César Cáceres Taladriz	Doctora en Ingeniería de Telecomunicación Profesor Contratado Doctor Universidad Rey Juan Carlos
	Dr. Mariano Alcañiz Raya	Doctor en Ingeniería Industrial Catedrático Universidad Universidad Politécnica de Valencia
	Dra. Rocío Sánchez-Carrión Abascal	Doctora en Neurociencias Neuropsicólogo Institut Universitari de Neurorehabilitació Guttmann
Secretario:	Dra. Patricia Sánchez González	Doctora en Ingeniería de Telecomunicación Profesor Ayudante Doctor Universidad Politécnica de Madrid
Suplentes:	Dra. Laura María Roa Romero	Doctor en Ciencias Físicas Catedrática de Universidad Universidad de Sevilla
	Dr. Luis Javier Reina Tosina	Doctor en Ingeniería de Telecomunicación Profesor Titular de Universidad Universidad de Sevilla

Realizado el acto de defensa y lectura de la tesis doctoral el día 2 de febrero de 2016 en Madrid, se acuerda otorgarle la calificación de:

PRESIDENTE:

VOCALES:

SECRETARIO:

Resumen

El Daño Cerebral (DC) se refiere a cualquier lesión producida en el cerebro y que afecta a su funcionalidad. Se ha convertido en una de las principales causas de discapacidad neurológica de las sociedades desarrolladas. Hasta la más sencilla de las actividades y acciones que realizamos en nuestro día a día involucran a los procesos cognitivos. Por ello, la alteración de las funciones cognitivas como consecuencia del DC, limita no sólo la calidad de vida del paciente sino también la de las persona de su entorno.

La rehabilitación cognitiva trata de aumentar la autonomía y calidad de vida del paciente minimizando o compensando los desórdenes funciones causados por el episodio de DC. La plasticidad cerebral es una propiedad intrínseca al sistema nervioso humano por la que en función a la experiencia se crean nuevos patrones de conectividad. El propósito de la neurorrehabilitación es precisamente modular esta propiedad intrínseca a partir de ejercicios específicos, los cuales podrían derivar en la recuperación parcial o total de las funciones afectadas.

La incorporación de la tecnología a las terapias de rehabilitación ha permitido desarrollar nuevas metodologías de trabajo. Esto ha ayudado a hacer frente a las dificultades de la rehabilitación que los procesos tradicionales no logran abarcar. A pesar del gran avance realizado en los últimos años, todavía existen debilidades en el proceso de rehabilitación; por ejemplo, la transferencia a la vida real de las habilidades logradas durante la terapia de rehabilitación, así como su generalización a otras actividades cotidianas.

Los entornos virtuales pueden reproducir situaciones cotidianas. Permiten simular, de forma controlada, los requisitos conductuales que encontramos en la vida real. En un contexto terapéutico, puede ser utilizado por el neuropsicólogo para corregir en el paciente comportamientos patológicos no deseados, realizar intervenciones terapéuticas sobre Actividades de Vida Diaria que estimulen conductas adaptativas.

A pesar de que las tecnologías actuales tienen potencial suficiente para aportar nuevos beneficios al proceso de rehabilitación, existe cierta reticencia a su incorporación a la clínica diaria. A día de hoy, no se ha podido demostrar que su uso aporte una mejoría significativa con respecto a otro tipo de intervención; en otras palabras, no existe evidencia científica de la eficacia del uso de entornos virtuales interactivos en rehabilitación.

En este contexto, la presente Tesis Doctoral trata de abordar los aspectos que mantienen a los entornos virtuales interactivos al margen de la rutina clínica diaria. Se estudian las diferentes etapas del proceso de rehabilitación cognitiva relacionado con la integración y uso de estos entornos: diseño de las actividades, su implementación en el entorno virtual, y finalmente la ejecución por el paciente y análisis de los respectivos datos. Por tanto, los bloques en los que queda dividido el trabajo de investigación expuesto en esta memoria son:

1. **Diseño de las AVD.** La definición y configuración de los elementos que componen la AVD permite al terapeuta diseñar estrategias de intervención terapéutica para actuar sobre el comportamiento del paciente durante la ejecución de la actividad. En esta parte de la tesis se pretende formalizar el diseño de las AVD de tal forma que el terapeuta pueda explotar el potencial tecnológico de los entornos virtuales interactivos abstrayéndose de la complejidad implícita a la tecnología. Para hacer viable este planteamiento se propone una metodología que permita modelar la definición de las AVD, representar el conocimiento implícito en ellas, y asistir al neuropsicólogo durante el proceso de diseño de la intervención clínica.
2. **Entorno virtual interactivo.** El gran avance tecnológico producido durante los últimos años permite reproducir AVD interactivas en un contexto de uso clínico. El objetivo perseguido en esta parte de la Tesis es el de extraer las características potenciales de esta solución tecnológica y aplicarla a las necesidades y requisitos de la rehabilitación cognitiva. Se propone el uso de la tecnología de Vídeo Interactivo para el desarrollo de estos entornos virtuales. Para la evaluación de la misma se realiza un estudio experimental dividido en dos fases con la participación de sujetos sanos y pacientes, donde se valora su idoneidad para ser utilizado en terapias de rehabilitación cognitiva.
3. **Monitorización de las AVD.** El uso de estos entornos virtuales interactivos expone al paciente ante una gran cantidad de estímulos e interacciones. Este hecho requiere de instrumentos de monitorización avanzado que aporten al terapeuta información objetiva sobre el comportamiento del paciente, lo que le podría permitir por ejemplo evaluar la eficacia del tratamiento. En este apartado se propone el uso de métricas basadas en la atención visual y la interacción con el entorno para conocer datos sobre el comportamiento del paciente durante la AVD. Se desarrolla un sistema de monitorización integrado con el entorno virtual que ofrece los instrumentos necesarios para la evaluación de estas métricas para su uso clínico.

La metodología propuesta ha permitido diseñar una AVD basada en la definición de intervenciones terapéuticas. Posteriormente esta AVD ha sido implementada mediante la tecnología de vídeo interactivo, creando así el prototipo de un entorno virtual para ser utilizado por pacientes con déficit cognitivo. Los resultados del estudio experimental mediante el cual ha sido evaluado demuestran la robustez y usabilidad del sistema, así como su capacidad para intervenir sobre el comportamiento del paciente. El sistema de monitorización que ha sido integrado con el entorno virtual aporta datos objetivos sobre el comportamiento del paciente durante la ejecución de la actividad.

Los resultados obtenidos permiten contrastar las hipótesis de investigación planteadas en la Tesis Doctoral, aportando soluciones que pueden ayudar a la integración de los entornos virtuales interactivos en la rutina clínica. Esto abre una nueva vía de investigación y desarrollo que podría suponer un gran progreso y mejora en los procesos de neurorrehabilitación cognitiva en daño cerebral.

Abstract

Brain injury (BI) refers to medical conditions that occur in the brain, altering its function. It becomes one of the main neurological disabilities in the developed society. Cognitive processes determine individual performance in Activities of Daily Living (ADL), thus, the cognitive disorders after BI result in a loss of autonomy and independence, affecting the patient's quality of life.

Cognitive rehabilitation seeks to increase patients' autonomy and quality of life minimizing or compensating functional disorders showed by BI patients. Brain plasticity is an intrinsic property of the human nervous system whereby its structure is changed depending on experience. Neurorehabilitation pursues a precise modulation of this intrinsic property, based on specific exercises to induce functional changes, which could result in partial or total recovery of the affected functions.

The new methodologies that can be approached by applying technologies to the rehabilitation process, permit to deal with the difficulties which are out of the scope of the traditional rehabilitation. Despite this huge breakthrough, there are still weaknesses in the rehabilitation process, such as the transferring to the real life those skills reached along the therapy, and its generalization to others daily activities.

Virtual environments reproduce daily situations. Behavioural requirements which are similar to those we perceive in real life, are simulated in a controlled way. In these virtual environments the therapist is allowed to interact with patients without even being present, inhibiting unsuitable behaviour patterns, stimulating correct answers throughout the simulation and enhancing stimuli with supplementary information when necessary.

Despite the benefits which could be brought to the cognitive rehabilitation by applying the potential of the current technologies, there are barriers for widespread use of interactive virtual environments in clinical routine. At present, the evidence that these technologies bring a significant improvement to the cognitive therapies is limited. In other words, there is no evidence about the efficacy of using virtual environments in rehabilitation.

In this context, this work aims to address those issues which keep the virtual environments out of the clinical routine. The stages of the cognitive rehabilitation process, which are related with the use and integration of these environments, are analysed: activities design, its implementation in the virtual environment, and the patient's performance and the data analysis.

Hence, the thesis is comprised of the main chapters that are listed below:

1. **ADL Design.** Definition and configuration of the elements which comprise the ADL allow the therapist to design intervention strategies to influence over the patient behaviour along the activity performance. This chapter aims to formalise the AVD design in order to help neuropsychologists to make use of the interactive virtual environments' potential

but isolating them from the complexity of the technology. With this purpose a new methodology is proposed as an instrument to model the ADL definition, to manage its implied knowledge and to assist the clinician along the design process of the therapeutic intervention.

2. **Interactive virtual environment.** Continuous advancements make the technology feasible for re-creating rehabilitation therapies based on ADL. The goal of this stage is to analyse the main features of virtual environments in order to apply them according to the cognitive rehabilitation's requirements. The interactive video is proposed as the technology to develop virtual environments. Experimental study is carried out to assess the suitability of the interactive video to be used by cognitive rehabilitation.
3. **ADL monitoring system.** This kind of virtual environments bring patients in front lots of stimuli and interactions. Thus, advanced monitoring instruments are needed to provide therapist with objective information about patient's behaviour. This thesis chapter propose the use of metrics rely on visual patients' visual attention and their interactions with the environment. A monitoring system has been developed and integrated with the interactive video-based virtual environment, providing neuropsychologist with the instruments to evaluate the clinical force of this metrics.

Therapeutic interventions-based ADL has been designed by using the proposed methodology. Interactive video technology has been used to develop the ADL, resulting in a virtual environment prototype to be use by patients who suffer a cognitive deficits. An experimental study has been performed to evaluate the virtual environment, whose overcomes show the usability and solidity of the system, and also its capacity to have influence over patient's behaviour. The monitoring system, which has been embedded in the virtual environment, provides objective information about patients' behaviour along their activity performance.

Research hypothesis of the Thesis are proven by the obtained results. They could help to incorporate the interactive virtual environments in the clinical routine. This may be a significant step forward to enhance the cognitive neurorehabilitation processes in brain injury.

Contents

1. Introducción	1
1.1. Caso clínico / Contexto clínico	1
1.1.1. Sistema nervioso y conducta	1
1.1.2. Funciones cognitivas	4
1.1.3. Daño cerebral	6
1.1.3.1. Etiología del daño cerebral	6
1.1.3.2. Secuelas	10
1.1.3.3. Impacto del daño cerebral en la vida diaria	12
1.1.3.4. Prevalencia e incidencia	13
1.2. Neurorrehabilitación	16
1.2.1. Concepto	16
1.2.2. Fundamentos neurobiológicos	19
1.2.2.1. Plasticidad	19
1.2.2.2. Neuronas espejo	21
1.2.3. Proceso de rehabilitación	22
1.2.4. Tecnologías y rehabilitación	27
1.2.4.1. TIC en neurorrehabilitación	29
1.3. Entornos virtuales	31
1.3.0.2. Estrategias tecnológicas en los entornos virtuales	33
1.3.0.3. Interfaces de interacción	34
1.3.0.4. Uso en rehabilitación cognitiva	36
1.4. Necesidades del proceso de rehabilitación basado en entornos virtuales	37
1.5. Justificación de la investigación	39
2. Hipótesis y Objetivos	41
2.1. Hipótesis de investigación	41
2.2. Objetivos	42

3. Metodología de diseño de AVD	45
3.1. Introducción	45
3.2. Estado del arte	46
3.2.1. Personalización y creación de actividades	46
3.2.2. Representación de conocimiento	49
3.2.3. Evaluación de Actividades de Vida Diaria	50
3.3. Modelo de definición de AVD	51
3.3.1. Premisas	52
3.3.2. Modelo conceptual	53
3.3.2.1. Elementos de base	53
3.3.2.2. Estructura del modelo	54
3.4. Prueba de concepto: editor de guiones terapéuticos	56
3.4.1. Análisis de requisitos	58
3.4.1.1. Actor	58
3.4.1.2. Requisitos funcionales	58
3.4.1.3. Requisitos no funcionales	60
3.4.2. Modelado de funcionalidades complejas	61
3.4.3. Arquitectura y definición formal	64
3.4.4. Diseño	65
3.4.5. El modelo como ontología	68
3.4.6. Prueba de concepto	73
3.5. Caso de estudio	77
3.6. Discusión	80
4. Entorno virtual de vídeo interactivo	85
4.1. Introducción	85
4.2. Estado del arte	86
4.2.1. Clasificación por AVD	86
4.2.1.1. Tareas funcionales específicas	87
4.2.1.2. Escenarios virtuales complejos	88
4.2.2. Tecnologías	92
4.2.2.1. Tecnología de desarrollo	92
4.2.2.2. Dispositivos de visualización	93
4.2.2.3. Dispositivos de interacción	93
4.3. Análisis crítico del estado del arte	95
4.4. Vídeo interactivo	96
4.4.1. Definición y características	96
4.4.1.1. Estructura	97
4.4.1.2. Elementos del vídeo	97
4.4.1.3. Interacción	97
4.4.2. El vídeo interactivo en rehabilitación	98
4.4.3. Vídeo interactivo y entornos virtuales	99
4.5. Prueba de concepto	99
4.5.1. Escenarios	100

4.5.2.	Escenas	100
4.5.3.	Estímulos	101
4.5.4.	Visualización e interacción	102
4.5.5.	Sistema de guiado	103
4.6.	Evaluación: investigación experimental	104
4.6.1.	Metodología de la evaluación	105
4.6.1.1.	Fases del estudio	105
4.6.1.2.	Material	106
4.6.1.3.	Procedimiento	109
4.6.2.	Resultados	109
4.6.2.1.	Tiempo	111
4.6.2.2.	Número de errores	114
4.6.2.3.	Número de clics	115
4.6.2.4.	Usabilidad	117
4.6.2.5.	Experiencia de usuario	121
4.7.	Discusión	122
5.	Sistema de monitorización avanzado	129
5.1.	Introducción	129
5.2.	Estado del arte	130
5.3.	Tecnología de eye-tracking	132
5.3.1.	Definición y características	132
5.3.1.1.	Definición	132
5.3.1.2.	La exploración visual	133
5.3.1.3.	Dispositivos de eye-tracking	133
5.3.2.	Eye-tracking en neurorrehabilitación	135
5.4.	Sistema de monitorización avanzado	136
5.4.1.	Monitorización eye-tracking	137
5.4.1.1.	Dispositivo eye-tracking	137
5.4.1.2.	Integración vídeo interacción - eye-tracking	137
5.4.2.	Registros el sistema de monitorización	138
5.4.2.1.	Atención visual	138
5.4.2.2.	Flujo de actividad	139
5.4.2.3.	Interacción	140
5.5.	Resultados del SMA aplicado al estudio	140
5.5.1.	Mapas de interacción	141
5.5.2.	Pérdida de atención visual	143
5.5.3.	Distancia de la trayectoria visual	145
5.5.4.	Mapa de calor	146
5.5.5.	Mapa de exploración visual	150
5.5.6.	Reproducción enriquecida de la AVD	153
5.6.	Discusión	154

6. Conclusiones y trabajos futuros	157
6.1. Discusión de las hipótesis de investigación	157
6.2. Contribuciones principales de la tesis	160
6.2.1. Aportaciones	160
6.2.2. Publicaciones	160
6.2.2.1. Internacionales	160
6.2.2.2. Nacionales	161
6.3. Trabajo futuros	162
6.3.1. Metodología de diseño de AVD	162
6.3.2. Entorno virtual de video interactivo	163
6.3.3. Sistema de monitorización avanzado	163

List of Figures

1.1. Global de la Enfermedad [WHO:2006].	14
1.2. Estimación de la incidencia global del TCE [Roozenbeek:2013].	14
1.3. Equipo Multidisciplinario[Guttmann:2008].	19
1.4. Fases de la Rehabilitación Cognitiva.	24
1.5. Especialidades de telemedicina y número de Comunidades Autónomas españolas que tienen integrado cada especialidad [SEIS:2015].	28
1.6. Estimación de evolución del mercado mundial de mHealth (ingresos en millones de dólares) [AMETIC:2015].	29
1.7. Continuo de virtualidad de Milgram [Milgram:1994].	33
3.1. Interfaz de GNPT para planificar y visualizar las sesiones de un paciente.	47
3.2. Interfaces de usuario para la edición de juegos. eAdventure (izquierda) y Alice (derecha).	48
3.3. Ejemplos de entornos virtuales prediseñados sobre los que se pueden componer las actividades.	49
3.4. Estructura jerárquica del modelo de AVD.	55
3.5. Metodología seguida en el proceso de diseño del EGT.	57
3.6. Diagrama de ejemplo de relación entre Estados, Estímulos y Trayectorias.	61
3.7. Diagrama de representación de una trayectoria simple.	62
3.8. Diagrama de representación de una trayectoria compuesta.	63
3.9. Diagrama de representación de trayectoria mixta.	63
3.10. Diagrama de representación de las Trayectorias Inicio y Fin.	64
3.11. Diagrama de representación de Trayectorias de Rescate.	65
3.12. Diagrama de la arquitectura del proceso de edición de guiones.	66
3.13. Diseño de la interfaz gráfica del EGT: Pantalla de inicio.	67
3.14. Diseño de la interfaz gráfica del EGT: Tareas.	67
3.15. Diseño de la interfaz gráfica del EGT: navegación y visualiza- ción de los guiones.	68

3.16. Diseño de la interfaz gráfica del EGT: Editor Gráfico (izq) y formularios de configuración (derecha).	69
3.17. Diagrama de clases de la ontología: (a) Nivel estructural; (b) Nivel conceptual basado en Trayectorias.	70
3.18. IU Prueba de concepto. Pantalla de inicio.	74
3.19. EGT - Prueba de concepto. Formularios de creación de actividad (izq.) y tarea (derecha).	74
3.20. EGT - Prueba de concepto. Editor de Tarea.	75
3.21. EGT - Prueba de concepto. Panel de gestión de Estímulos en un Estado.	76
3.22. EGT - Prueba de concepto: Trayectoria de tipo rescate.	76
3.23. EGT - Prueba de concepto. Asistente de generación de Trayectorias Complejas Paralelas.	77
4.1. Escenario real (izquierda) y su representación en el modelo virtual (derecha).	87
4.2. Tarea StreetCrossing correspondientes a los entornos virtuales de Katz (izquierda), Navarro (centro), Saiano (derecha).	88
4.3. Entorno de la Oficina Virtual.	89
4.4. Virtual Classroom (2006).	90
4.5. Sistema OctaVis (izquierda). Entorno virtual de Navarro que integra el uso del joystick y el sistema TrackingIR4 (derecha).	94
4.6. Flujo de acción del vídeo como respuesta a una interacción.	97
4.7. Escenas correspondientes a cada uno de los tres escenarios por los que transcurre la AVD.	100
4.8. Estímulos en la una escena de la tarea “casa”: (1) Estímulos propios del vídeo (a) televisión, (b) mando a distancia, (c) puerta; y (2) Estímulos añadidos virtualmente, (a) instrucciones, (b) flechas de dirección.	102
4.9. Ejemplos tipos de elementos interactivos.	103
4.10. Niveles de ayuda durante la Tarea “Panadería”.	104
4.11. Boxplot Tiempos medios de la AVD para cada grupo.	112
4.12. Representación media de tiempo empleado por Objetivo.	113
4.13. Boxplot Errores cometidos en media en la AVD para cada grupo.	115
4.14. Representación media de errores cometidos por Objetivo.	116
4.15. Boxplot Número de clics medios de la AVD para cada grupo.	117
4.16. Representación media del número de clics empleado por Objetivo.	118
4.17. Valoración SUS de los sujetos Guiados y No Guiados.	120
4.18. Rangos de aceptabilidad SUS.	120
4.19. Radar plot de los resultados del cuestionario de experiencia de usuario.	123
4.20. Instante del VI correspondiente al Estado asociado al Objetivo 3 de la Tarea 1.	124

4.21. Instantes del VI correspondientes a los Objetivos 2 (izq.) y 3(der.) de la Tarea 2.	125
5.1. Dispositivos eye-trackers: integrado en el monitor (izquierda), portable (centro), integrado en unas gafas (derecha).	134
5.2. Mapa de calor (izquierda). Mapa de mirada (derecha).	135
5.3. Dispositivo Tobii 1750.	137
5.4. Diagrama de integración VI-EyeTracking.	138
5.5. Mapas de Interacción acumulado por Tareas. Grupo de sujetos No Guiado. En verde: interacciones correctas. En rojo: interacciones con distractores.	141
5.6. Mapas de Interacción acumulado por Tareas. Grupo de sujetos Guiado. En verde: interacciones correctas. En rojo: interacciones con distractores.	142
5.7. Mapas de Interacción acumulado por Tareas. Grupo de sujetos Pacientes. En verde: interacciones correctas. En rojo: interacciones con distractores.	142
5.8. Equivalencia de las regiones de interacción y estímulos de la Tarea 1.	143
5.9. Superposición MI-Escena principal del Objetivo 2 - Tarea 1. Grupo Pacientes.	143
5.10. Diagrama de Pérdidas de Atención Visual durante la AVD. Valores medios por Objetivo para cada uno de los tres grupos.	144
5.11. Diagrama explicativo del cálculo de la Distancia de la trayectoria de exploración visual.	145
5.12. Grafos de la Distancia de la Trayectoria visual de exploración por Grupos de sujetos.	146
5.13. Mapa 3D de la función densidad de probabilidad para una Escena (izquierda), y su correspondiente MC (derecha).	147
5.14. Mapa de Calor de la escena principal del Objetivo 1 - Tarea 1. Grupo No Guiado.	148
5.15. Mapa de Calor de la escena principal del Objetivo 1 - Tarea 1. Grupo Guiado.	148
5.16. Mapa de Calor de la escena principal del Objetivo 1 - Tarea 1. Grupo Pacientes.	149
5.17. MC correspondiente a la Escena principal del Objetivo 3 - Tarea 2. Grupo Pacientes.	150
5.18. MC correspondientes al Objetivo 3 de la Tarea1. Grupo No Guiado (izquierda), Guiado (centro), Pacientes (derecha).	150
5.19. MEX de la Escena del Objetivo 3 - Tarea 3. Correspondiente a un sujeto del grupo No Guiado. Ejemplo de exploración visual	151
5.20. MEX de la Escena del Objetivo 6 - Tarea 2. Correspondiente a un sujeto Paciente. Ejemplo del orden de fijación de los Estímulos.	152

5.21. MEX de la Escena del Objetivo 1 - Tarea 1. Correspondiente a dos sujetos Pacientes distintos (izquierda y derecha). MC de calor similares pero trayectorias de exploración visual distintas.	152
5.22. MEX correspondientes a sujetos Pacientes. No leer las instrucciones como posible causa de los errores.	153
5.23. MEX de dos sujetos Pacientes. El análisis de la exploración visual de los mensajes podría indicar dificultades en la lectura o comprensión.	153
5.24. Reproducción de la AVD con información de interacción y atención visual.	154

List of Tables

1.1. Etiología del Traumatismo Craneoencefálico.	15
3.1. Ontología. Clase “ADL”	70
3.2. Ontología. Clase “Task”	70
3.3. Ontología. Clase “TaskState”	71
3.4. Ontología. Clase “Stimulus”	71
3.5. Ontología. Clase “StimulusState”	71
3.6. Ontología. Clase “StimulusObject”	71
3.7. Ontología. Clase “StimulusResponse”	72
3.8. Ontología. Clase “Action”	72
3.9. Ontología. Clase “Interaction”	72
3.10. Ontología. Clase “Leap”	73
3.11. Ontología. Clase “Pathway”	73
3.12. Resumen AVD. Tarea 1	78
3.13. Resumen AVD. Tarea 2	79
3.14. Resumen AVD. Tarea 3	80
3.15. Ejemplo de la AVD para cada una de las clases del nivel estructural de la Ontología	81
4.1. Niveles de registro de resultado	110
4.2. Tiempo medio para cada grupo por AVD y por Tarea. *1 p<0,05 test Wilcoxon *2 p<0,05 test Bootstrap - No existe diferencia significativa (p>0,05)	112
4.3. Tiempo medio para cada grupo por Objetivo. *1 p<0,05 test Wilcoxon *2 p<0,05 test Bootstrap - No existe diferencia significativa (p>0,05)	113
4.4. Número de errores cometidos en media para cada grupo por AVD y por Tarea. *1 p<0,05 test Wilcoxon *2 p<0,05 test Bootstrap - No existe diferencia significativa (p>0,05)	114

4.5.	Número de Errores cometidos en media para cada grupo por Objetivo. *1 $p < 0,05$ test Wilcoxon *2 $p < 0,05$ test Bootstrap - No existe diferencia significativa ($p > 0,05$)	116
4.6.	Número de clics medio para cada grupo por AVD y por Tarea. . *1 $p < 0,05$ test Wilcoxon *2 $p < 0,05$ test Bootstrap - No existe diferencia significativa ($p > 0,05$)	117
4.7.	Número de clics medio para cada grupo por Objetivo. *1 $p < 0,05$ test Wilcoxon *2 $p < 0,05$ test Bootstrap - No existe diferencia significativa ($p > 0,05$)	118
4.8.	Puntuación por pregunta y puntuación SUS para cada sujeto Guiado	119
4.9.	Puntuación por pregunta y puntuación SUS para cada sujeto No Guiado	119
4.10.	Puntuaciones para el cuestionario de experiencia de usuario Grupos Guiado (izquierda) y No Guiado (derecha)	121
4.11.	Puntuaciones para el cuestionario de experiencia de usuario. Grupo Pacientes	122

Capítulo 1

Introducción

1.1. Caso clínico / Contexto clínico

1.1.1. Sistema nervioso y conducta

El cerebro humano tiene billones de células nerviosas, que se ordenan siguiendo patrones de trabajo con el objetivo de controlar el pensamiento, comportamiento, movimiento y las emociones [Woodward:2008].

Ramón y Cajal identificó estas células nerviosas como unidades funcionales de información, a las que hoy en día nos referimos como neuronas. Estas tareas de procesamiento de información implican adquirir la información de los receptores sensoriales, pasar esta información a otras neuronas y hacer que los músculos se muevan para realizar conductas. También han de retener las instrucciones sobre cómo comportarnos (codificar recuerdos), y asimismo tienen que generar nuestros pensamientos y emociones. Al mismo tiempo, tiene que regular los muchos procesos del organismo en los que rara vez pensamos, tales como la respiración, la temperatura corporal y el ciclo vigilia-sueño. La idea de que la neurona es la unidad básica de conducta se conoce como la “hipótesis de la neurona” [Kolb:2002].

El cerebro está dividido longitudinalmente en dos mitades, en apariencia son similares pero difieren en las funciones que realizan. Estas diferencias quedan patentes en los roles que cada uno de los hemisferios cerebrales desempeñan en la cognición humana (percepción, lenguaje, pensamiento y conciencia). Algunas diferencias parecen claras debido al cableado cruzado. Por ejemplo, aspectos como el procesamiento sensorial y motor implican el envío cruzado de información de entrada (sensorial) y salida (motor) entre los hemisferios izquierdo y derecho, y viceversa. O también, la información procedente del nervio desde la retina de cada ojo que se envía al lado opuesto

del cerebro, lo que también ocurre con el control de las manos.

Ambos hemisferios están conectados a través del cuerpo calloso. Estas fibras nerviosas mantienen un tráfico constante de ida y vuelta, que sirve para integrar ambos lados. Cuando el cuerpo calloso está intacto, la velocidad del flujo de información hace que las diferencias funcionales no sean obvias, pero en el momento que es cortado las diferencias comienzan a ser visibles.

Cada uno de los hemisferios está dividido en cuatro lóbulos (frontal, parietal, temporal y occipital) que se identifican a simple vista, más dos regiones que no son visibles. No obstante, a nivel funcional se puede hacer una división más sencilla de la corteza cerebral, en la que se identifican dos partes: una anterior (lóbulo frontal) y una posterior (lóbulos parietal, temporal y occipital). La región posterior contiene la proyección de la mayoría de los órganos sensoriales (vista, oído, gusto, olfato y tacto). Las regiones motoras están localizadas en la parte anterior, por tanto relacionado con las funciones de acción, control, planificación, algunas funciones de memoria de trabajo, lenguaje, etc. En cierto modo, la mitad posterior se ocupa de la percepción del presente, mientras que la mitad anterior de la corteza cerebral intenta predecir y controlar el futuro.

Lóbulo Frontal

Es el lugar donde se realiza la planificación y salida de las funciones motoras. Se lo conoce como el “órgano de civilización” ya que a pesar de compartir funciones motoras con el resto de los mamíferos, la parte prefrontal del este lóbulo distingue a los humanos del resto. El cortex prefrontal es la parte no motora de la corteza frontal, y quizás sea la parte cognitiva más distintiva del cerebro [Bernards:2010]. Es una región amplia que se extiende por un tercio de la corteza. Algunas de las funciones para las que se requiere el cortex prefrontal son:

- Iniciar actividades
- Planificar
- Contener información crítica lista para ser usada (aspectos de la memoria de trabajo)
- Cambiar la disposición mental desde una línea de pensamiento a otra
- Monitorizar la efectividad de las acciones
- Detectar y resolver en una acción planificaciones conflictivos
- Inhibir planes y acciones que son ineficaces o contraproducentes

Esta lista muestra el papel tan importante que tiene el cortex prefrontal dentro de la cognición humana. Algunos científicos creen que es más grande en humanos y que es lo que nos distingue nuestra especie de otros primates. Además, el cortex prefrontal tiene partes dedicadas a procesos relacionados con la personalidad así como con la cognición social (lo que nos dice cómo comportarnos, por ejemplo). Otra región es la dedicada a la asimilación de la expresión verbal del lenguaje (área de Broca), otra función única en los humanos.

El lóbulo frontal, mucho mayor en los humanos que en otros primates, desarrolla nuevas funciones y procesos para enfrentar a los seres humanos con actividades como el lenguaje, pensamiento y el control ejecutivo de procesos de órdenes.

Lóbulo Parietal

El lóbulo parietal participa de forma marcada en las funciones cognitivas superiores del cerebro. Recibe las señales somatosensoriales entrantes, pero participa en más que en el procesamiento de una sola modalidad sensorial. Cumple una función integradora del mundo que nos rodea, integra la percepción del espacio externo, la imagen corporal y la atención [Clark:2012].

Localiza los estímulos ambientales según las coordenadas de un mapa. Mapas aloécnicos, que utiliza un marco de referencia externo, y mapas egocéntricos, definido en base a términos de la propia posición actual. En función de esto, formula planes motores en base a la información percibida y a la experiencia.

El sistema somatosensorial nos dice cómo está el cuerpo, proporcionando información sobre sensaciones corporales como el tacto, la temperatura, el dolor, la posición en el espacio, el movimiento de las articulaciones, etc. Además de ayudarnos a tener información sobre el mundo, el sistema somatosensorial nos permite distinguir lo que el mundo nos hace a nosotros de lo que nosotros le hacemos a él [Kolb:2002].

Lóbulo Temporal

Es la región donde se procesa el sonido, así como el lugar donde se localizan los sistemas de comprensión del habla y lenguaje auditivo. El procesamiento de esta información y estímulos implica además la representación conceptual de conocimiento semántico. Es por tanto, la base de las funciones cognitivas asociadas al lenguaje [Bernards:2010].

Lóbulo occipital

Ocupa la parte posterior de la corteza cerebral. Toda la corteza del lóbulo occipital está dedicada a la visión, donde se puede distinguir entre la corteza

visual primaria, secundaria y terciaria, donde estas dos últimas se reconocen como las áreas de asociación visual del lóbulo occipital. Existen muchas conexiones directas e indirectas, que enlazan el lóbulo occipital con otras regiones corticales, por ejemplo, áreas de las cortezas tanto temporal como parietal también participan en el procesamiento visual [Clark:2012].

1.1.2. Funciones cognitivas

Las células de la corteza visual primaria responden sólo a las imágenes visuales que poseen propiedades lineales (línea y bordes). Las neuronas de la corteza visual interpretan los contornos y los límites de un objetivo visual en términos de segmentos lineales. La corteza visual secundaria recibe la entrada de información binocular y permite la apreciación de tres dimensiones. La distancia del objetivo se codifica por medio de algunas neuronas. Son las neuronas de la corteza visual terciaria las que integran las señales visuales con las auditivas y táctiles.

En la definición de función cerebral, Luria [Luria:1973] distinguía entre aquellas que refieren al funcionamiento de un tejido particular, y los procesos psicológicos entendidos como “sistemas funcionales complejos” en los que se integra el trabajo de un grupo de zonas cerebrales. Cada una de estas regiones aporta su propia contribución a la construcción del proceso psicológico complejo. Traslada, por tanto, el enfoque del estudio desde un punto de vista analítico hacia su parte más complejo, donde se examina el sistema cerebral como responsable de procesos mentales superiores. Hablamos de funciones tales como la percepción y memorización, lenguaje y pensamiento, escritura, lectura y aritmética; es decir, procesos que no pueden ser considerados como “facultades” aisladas ni tampoco indivisibles, que se pueden suponer “función” directa de grupos de células limitados o estar “localizadas” en áreas particulares del cerebro [Luria:1973]. Las funciones cognitivas son las más complejas funciones del cerebro y aquellas que distinguen a los humanos de cualquier otra criatura viva. La cognición es la capacidad para tener consciencia de sí mismo y de su condición, para analizar y sintetizar la información a de manera consciente, imaginar y crear, recordar y recuperar esos recuerdos [Elbaum:2007].

Atención

Es la habilidad para concentrarse en la información adecuada durante el tiempo suficiente para que el cerebro pueda procesarlo. Esta información puede proceder de un hecho, tener naturaleza verbal (algo leído o dicho por alguien) o no verbal (algo que vemos). Independientemente del funcionamiento del resto del cerebro, si no se presta atención al estímulo, la información no estará disponible para ser procesada [Karol:2003].

Funciones Ejecutivas

Incluyen diversas tareas, genéricamente las funciones ejecutivas se definen como los procesos cognitivos que permiten al ser humano asociar ideas, movimientos y acciones con el propósito de resolver problemas. Se distinguen cuatro componentes esenciales de este proceso cognitivo [Lezak:1982]: (1) formulación de metas: capacidad de generar y seleccionar estados deseables en el futuro, (2) Planificación: selección de las acciones, elementos y secuencias necesarios para alcanzar un objetivo, (3) Desarrollo: habilidad para iniciar, detener, mantener y cambiar entre acciones planificadas; y (4) ejecución: capacidad para monitorizar y corregir actividades [García-Molina:2011].

Memoria

Es el proceso cognitivo a través del cual se codifica, almacena y recupera una información determinada o un suceso concreto. Es el proceso psicológico que nos permite aprender. Dentro de este proceso se pueden distinguir tres etapas: (1) codificación: transformación del estímulo sensorial en diferentes códigos de almacenamiento; (2) almacenamiento: resultado de la elaboración de la información previamente codificada con el objetivo de crear un registro temporal o permanente de información; y (3) recuperación: acceso y evocación verbal o procedimental de la información almacenada previamente [Muñoz-Marrón:2009].

Lenguaje

No existe una definición universal de lenguaje. La mayoría de las especies animales utilizan sonidos como medio de comunicación, al igual que lo hacen los humanos; no obstante, los sonidos animales no son equivalentes al lenguaje de los humanos. Los seres humanos han encontrado formas para comunicarse sin necesidad de realizar sonidos. Sin embargo, el sonido es fundamental para el lenguaje humano [Sánchez-Cubillo:2009].

Existe una teoría que define el lenguaje como una combinación de cuatro capacidades independientes: (1) la capacidad de categorizar; (2) la capacidad de etiquetar según categorías; (3) la capacidad para secuenciar comportamientos; y (4) la capacidad para imitar.

Percepción

Uno de los objetivos de la percepción es informarnos sobre las propiedades del entorno que son importantes para nosotros. Todo es inicialmente información sensorial, y es nuestro cerebro el que realiza un proceso de codificación de todo lo que nuestros órganos de los sentidos captan [Blázquez-Alisente:2009].

Es un proceso activo de la búsqueda de la correspondiente información, distinción de las características esenciales de un objeto, comparación de

las características entre sí, creación de una hipótesis apropiada y, después, comparación de esta hipótesis con los datos originales [Luria:1973].

1.1.3. Daño cerebral

El Daño Cerebral (DC) hace referencia a cualquier daño o disfunción sufrida en cualquier parte del cerebro [Jiménez:2009]. Se trata de una lesión que afecta al tejido cerebral de forma parcial o total, a consecuencia de la cual se produce una pérdida de funciones cerebrales antes presentes. Esta pérdida de funciones cerebrales afecta a todas las esferas de funcionamiento de la persona y limita su autonomía, lo que le hace, en muchos casos, dependiente de una tercera persona [Medina:2005].

Con el término Daño Cerebral Adquirido (DCA), particularizamos en las lesiones que se producen en las estructuras cerebrales de forma súbita en personas que, habiendo nacido sin ningún tipo de daño en el cerebro, sufren en un momento posterior de su vida lesiones en el mismo como consecuencia de un accidente o una enfermedad [Muñoz-Marrón:2009].

1.1.3.1. Etiología del daño cerebral

Las causas por las que un paciente puede sufrir un DC son muy diversas: accidentes cerebrovasculares, traumatismos craneoencefálicos, tumores cerebrales, enfermedades degenerativas, infecciones del sistema nervioso, y enfermedades nutricionales y metabólicas [Ardila:2012]. Comúnmente se suele hablar de una clasificación que divide las causas en traumáticas y no traumáticas, dependiendo de si la causa de la lesión es una fuerza externa o por el contrario tiene otra naturaleza [Biausa:2015].

Infecciones del Sistema Nervioso. Una infección es la invasión del cuerpo por microorganismos (patógenos) productores de enfermedades y la reacción de los tejidos a su presencia ya las toxinas generadas por ellos. El sistema nervioso central puede ser invadido por una amplia variedad de agentes infecciosos, y aunque generalmente se propagan desde una infección en otra parte del cuerpo, especialmente los oídos, la nariz y garganta, también se pueden introducir directamente en el cerebro como consecuencia de traumatismos de cabeza o cirugías. Las infecciones del sistema nervioso son particularmente graves porque las neuronas y células glía afectadas normalmente mueren, dejando lesiones permanentes [Kolb:2009].

Tumores. Un tumor, o neoplasia, es una masa de tejido nuevo que crece de forma independiente de sus estructuras circundantes y no tiene uso fisiológico. Los tumores cerebrales crecen desde las células glía, o cualquier otro de células de apoyo, en lugar de desde las neuronas. La velocidad a la que crecen los tumores varía ampliamente, dependiendo del tipo de célula que les dio origen.

Los tumores representan una proporción relativamente alta de enfermedad neurológica; después del útero, el cerebro es el sitio más común en el que se desarrollan. Principalmente se distingue entre dos tipos, benignos, aquellos que no es probable que se reproduzcan una vez extirpados; y aquellos otros que reaparecen después de su eliminación, a menudo creciendo hasta convertirse en una amenaza para la vida.

Debido al tamaño fijo del cráneo, cualquier masa que crece en su interior tiende a comprimir el cerebro, alterando su funcionamiento. En el caso de que la masa tumoral no se desarrolle de forma encapsulada, se extiende por los tejidos cerebrales destruyendo las células y ocupando su lugar, o rodearlas interfiriendo en su funcionamiento [Kolb:2009].

Enfermedades degenerativas . En ocasiones el sistema nervioso puede presentar un proceso degenerativo, asociado con pérdida del tejido nervioso. Esta degeneración puede resultar en diversos síntomas y signos, dependientes de las áreas específicas afectadas. Si la degeneración se produce a nivel de la corteza cerebral, se pueden encontrar manifestaciones afásicas, apráxicas, agnósicas, etc., potencialmente conformando un cuadro de demencia. La demencia implica una pérdida de funciones cognitivas (lenguaje, memoria, razonamiento, etc.) suficientemente grave para interferir o imposibilitar la actividad social y laboral del paciente.

La demencia cortical más frecuente es la demencia de tipo Alzheimer o enfermedad de Alzheimer que representa aproximadamente el 60 % de todas las demencias. Estos pacientes muestran una degeneración de las células de la corteza cerebral, así como una pérdida significativa de neuronas en algunas zonas del cerebro (núcleo basal de Meynert). La demencia de tipo Alzheimer presenta características similares a las normalmente observadas durante el envejecimiento, pero en una forma patológicamente acelerada: olvido de palabras, dificultades en la orientación espacial y el reconocimiento de lugares, y similares [Ardila:2012].

Enfermedades Nutricionales y Metabólicas. La desnutrición puede llegar a producir efectos neurológicos y neuropsicológicos graves. La falta de nutrientes específicos como las vitaminas, al igual que las anormalidades circulatorias secundarias a la desnutrición, puede dejar secuelas neurológicas importantes.

Muchos trastornos cerebrales son resultantes de disfunciones en otros órganos, como los riñones, el hígado, el páncreas y las glándulas endocrinas. Trastornos metabólicos, como es el caso de la hipoglucemia o la falta hepática, pueden presentarse como estados de coma o síndromes confusionales agudos. Otras enfermedades metabólicas, como el hiperparatiroidismo, son causa de demencia y psicosis [Ardila:2012].

Accidentes Cerebrovasculares (ACV). De entre todas las enfermedades neurológicas de la vida adulta, el ACV o ictus se encuentra a la cabeza en cuanto a frecuencia e importancia. Se denomina enfermedad cerebrovascular a cualquier alteración en el funcionamiento cerebral originado por alguna condición patológica de los vasos sanguíneos. La patología vascular puede observarse en las paredes de los vasos, por acumulación de material, por los cambios en la permeabilidad o por ruptura de sus paredes. El flujo sanguíneo puede obstruirse por un trombo o por un incremento de la viscosidad de la sangre [Ardila:2007].

El cerebro es uno de los órganos que más dependen de una cantidad apropiada de oxígeno para su adecuado funcionamiento. Los ACV producen una severa reducción de glucosa y de oxígeno, lo cual interfiere en el metabolismo celular normal; así, una interrupción superior a cinco minutos es suficiente para matar las células de la región afectada, dando como resultado un infarto o una necrosis isquémica y, por lo tanto, un daño irreversible [Ardila:2007].

Entre los ACV se distinguen dos grandes grupos: los isquémicos y los hemorrágicos. En los ACV isquémicos los síntomas se deben a un decremento o una interrupción del flujo sanguíneo en el tejido cerebral. Esta disminución se puede deber a: (1) una trombosis, se refiere a la creación de una formación que interrumpe el flujo sanguíneo; (2) un embolismo, esto es, un coágulo, burbuja de aire, grasa o cualquier otra formación de materia que obstruye un vaso pequeño después de haberse transportado por el torrente circulatorio de los vasos de mayor calibre, y (3) la reducción del flujo sanguíneo en el cerebro, debida frecuentemente al endurecimiento de las arterias (arterosclerosis) o a la inflamación de los vasos (vasculitis).

Un aspecto importante es la cesación y regresión del déficit neurológico en casi todos los casos de estos accidentes vasculares. En el extremo se encuentran los ataques isquémicos transitorios, el paciente después de haber mostrado una pérdida súbita de una función neurológica por un corto periodo de tiempo, se recupera de manera notable en un periodo de minutos, y de forma casi completa en las siguientes 24 horas. En los déficits causados por trombo, no es raro que este efecto de recuperación ocurra en unas cuantas horas o días, aunque la mayor parte de los accidentes vasculares por trombosis muestre una mejoría gradual durante semanas y meses, siendo la incapacidad residual considerable [Ropper:2007].

Los ACV hemorrágicos se producen por la ruptura de un vaso, lo cual permite que la sangre se filtre en el tejido cerebral. Este accidente puede ir desde una hemorragia pequeña, a veces asintomática, hasta una hemorragia masiva que produzca la muerte del paciente. Las dos causas más frecuentes de estas hemorragias son la hipertensión arterial, y la ruptura de un aneurisma. Los aneurismas son como bolsas cuyas paredes son más delgadas que la pared del vaso normal, por lo que es más fácil que se rompan.

Traumatismos Craneoencefálicos (TCE). El TCE se define como una alteración en la función del cerebro, u otra evidencia de patología cerebral, causada por una fuerza externa. Donde se entiende como alteración en la función cerebral cuando aparece uno de los siguientes signos [Menon:2010]:

- Pérdida o disminución del nivel de consciencia.
- Pérdida de memoria de eventos ocurridos antes (amnesia retrógrada) o después (amnesia postraumática) del episodio de daño cerebral.
- Déficits neurológicos (debilidad, pérdida de equilibrio, cambios en la visión, dispraxia, parálisis, pérdida sensorial, afasia, etc.).
- Alteraciones en el estado mental en el momento del daño cerebral (confusión, desorientación, ralentización de pensamiento, etc.).

La forma en la que el TCE afecta al cerebro puede ser causa directa del traumatismo, o bien producirse como consecuencia derivada del mismo. De esta clasificación se distingue entre daño cerebral primario o secundario. Las formas en las que el TCE afecta al cerebro pueden ser [Ardila:2007]:

- Lesión directa en el cerebro, como en el caso de una herida por arma de fuego.
- Interrupción del flujo sanguíneo cerebral, dando origen a una isquemia y en algunos casos a un infarto.
- Hemorragias y hematomas, como consecuencia del traumatismo, que incrementa la presión intracerebral.
- Edema, es decir, como en cualquier tejido, se produce inflamación como consecuencia del trauma, derivando igualmente en un incremento en la presión intracerebral.
- Fractura del cráneo (traumatismo abierto) que incrementa la posibilidad de infección.
- Cicatrices producidas por el TCE pueden convertirse en un foco epiléptico, cuyas manifestaciones clínicas aparecerán meses después del traumatismo.

Otros criterios para distinguir o clasificar los TCE; por ejemplo si se trata de un traumatismo abierto (con fractura de cráneo y penetración en el cerebro) o cerrado (sin fractura en el cráneo); si existe sólo el efecto conmocional (conmoción por el efecto del impacto, de la aceleración y de la

desaceleración de la masa encefálica) o si, por el contrario, hay una lesión traumática del tejido cerebral y desgarramiento axonal (contusión).

Por lo general, cuando un paciente sufre un TCE en un primer momento pierde la conciencia, y entra en estado de coma; posteriormente va saliendo de este estado y se muestra progresivamente más alerta. En un primer examen, el paciente se encuentra confuso, con amnesia retrógrada; además, se presenta una amnesia anterógrada grave, es decir, va olvidando todo lo que le ocurre. El paciente, por tanto, se encuentra desorientado, ignorando lo que le sucede, y que se encuentra en un estado de confusión [Ardila:2012].

1.1.3.2. Secuelas

La persona afectada por una lesión cerebral habitualmente ve su vida completamente alterada, incluso podría ser de forma drástica si es a consecuencia de un DCA. Ésta experimenta un amplio abanico de alteraciones físicas (motoras y sensitivas) y neuropsicológicas, y estas últimas son las que acostumbran a ocasionar las limitaciones más discapacitantes [García-Molina:2014].

El daño cerebral adquirido tiene graves consecuencias sobre el funcionamiento cognitivo, emocional y conductual, así como las habilidades comunicativas, las habilidades comunicativas y la capacidad para regular la conducta y las emociones [Noreña:2010].

Para entender de qué forma puede llegar a afectar una lesión cerebral a la persona que la sufre, se debe tener en cuenta que cualquier acción o función que realizamos implica la activación de distintas poblaciones neuronales organizadas. Por tanto, una lesión no afecta a una sola función sino a todas aquellas funciones o acciones que requieran del trabajo específico que realiza la zona cerebral dañada [Quintanar:2014].

Cambios cognitivos

Alteraciones de la memoria [Wilson:2011]: los problemas de memoria son una de las consecuencias más importantes de una lesión cerebral y que presenta una mayor variabilidad dependiendo de la localización de la lesión. A pesar de esta variabilidad, se pueden identificar entre los pacientes con déficits cognitivo una serie de características comunes: memoria inmediata casi normal, dificultades para recordar después de una demora o distractores, dificultades para aprender la mayoría de las informaciones nuevas que se les presentan, y los hechos previos al episodio de daño cerebral se recuerdan mejor que los ocurridos después.

Aquellos pacientes que presentan un síndrome amnésico puro, es decir, que mantienen intactas el resto de sus funciones cognitivas, serían capaces de

compensar los déficits en la memoria con el resto de habilidades cognitivas. Sin embargo, lo normal es que además de los problemas de memoria se presenten dificultades en la atención y en la concentración, enlentecimiento general y en el procesamiento de la información, deterioro de la planificación y déficits organizacionales, así como problemas a la hora de dar con las palabras que quieren emplear para comunicarse.

Alteraciones de la atención [Rains:2001]: implican déficits en la atención focalizada o selectiva, en las que el paciente tienen dificultades para atender a información relevante, ignorando la irrelevante y distractora. Déficit en la atención dividida, presentando dificultades para hacer dos cosas al mismo tiempo, lo cual se puede relacionar con fracaso para la reinserción laboral). Otra forma de atención que se puede ver afectada es la sostenida, por lo que los pacientes presentan dificultades para mantener la atención de manera focalizada durante un tiempo determinado.

Alteraciones de las funciones ejecutivas [Rains:2001]: dificultades en la planificación de la acción, alteraciones en la flexibilidad cognitivas, el pensamiento estratégico, la capacidad de resolución de problemas, de razonamiento abstracto o de categorización. Asimismo, las alteraciones del funcionamiento ejecutivo pueden generar falta de autorregulación, comportamiento irreflexivo o la falta de juicio. Este gran número de alteraciones afecta duramente en el día a día del paciente, llegando a ser un aspecto discapacitante debido al cual se pueden ver afectadas otras áreas cognitivas, afectivas y comportamentales.

Alteraciones del lenguaje [Rains:2001]: especialmente en la fluidez y denominación, así como dificultades de comprensión del lenguaje. No obstante, dependiendo del área dañada se pueden ver afectadas estructuras cognitivas encargadas directa e indirectamente de procesos específicos del lenguaje. Por ejemplo, una lesión frontal podría producir afasias motoras, mientras que si la lesión es en el lóbulo parietal la afasia podría ser de tipo sensorial transcortical.

Cambios emocionales y conductuales

Los cambios emocionales y de conducta [Mimentza:2011] producidos también como consecuencia secundaria del daño cerebral constituyen una larga serie de problemas para el paciente. Se trata de un conjunto de secuelas a largo plazo sobre la estabilidad de las parejas, la vivencia de sobrecarga en los familiares y la reincorporación laboral.

En la primera fase, las alteraciones conductuales están relacionadas a la agitación y confusión postraumática. Sin embargo, una vez superada esta fase, es cuando afloran los cambios permanentes que se pueden sufrir: inestabilidad emocional, descontrol de impulsos, crisis de agresión o cólera, apatía, suspicacia o ideación paranoide.

Los trastornos emocionales puros más comunes que presentan las personas con daño cerebral son las depresiones y los trastornos del control de las emociones (llanto y risa patológicos). Para las alteraciones de la conducta pueden dividirse de forma global entre aquellas que se caracterizan por una reducción o ausencia del repertorio conductual habitual, y aquellas otras en las que predominan conductas que son valoradas como inadecuadas al contexto social en que se exhiben. Estas últimas son las llamadas conductas desinhibidas, y en ellas están incluidos los episodios de irritabilidad, agresividad física o verbal, la pérdida de tacto social, los comentarios o conductas inadecuados y la indiscreción sexual. El síndrome más característico de las primeras se conoce como apatía y consiste en una reducción de conductas que suele acompañarse de indiferencia emocional y aplanamiento de la vida afectiva.

1.1.3.3. Impacto del daño cerebral en la vida diaria

Las secuelas del daño cerebral acarrearán un cambio súbito en el paciente, afectando no solamente a su calidad de vida sino también a la de su familia y todo su entorno. Las lesiones son generalmente inesperadas y lo habitual es que las familias no estén preparadas para la duración, incertidumbre y desafíos del proceso que se abre después de la lesión [Elbaum:2007b].

Las consecuencias del daño tienen un impacto muy negativo en la vida diaria de las personas. Sobre todo aquellos pacientes con un daño moderado o severo, encontrarán serias limitaciones a la hora de afrontar sus actividades cotidianas, no pudiendo desarrollarlas con normalidad, y con el impacto correspondiente que eso conlleva en su día a día [Lillie:2010].

En una primera instancia, las actividades de vida diaria (AVD) pueden ser divididas en dos tipos: las básicas, compuestas por aquellas actividades de la vida diaria como asearse, vestirse, comer, ir al baño, bañarse; y las actividades instrumentales de vida diaria que implican tareas más complejas como manipular dinero, comprar, gestionar el medicamento, o coger el transporte público [Marcotte:2009]. Es importante distinguir entre la recuperación de las AVD básicas e instrumentales, ya que por ejemplo una mejora en el cuidado personal no implicaría que el paciente pueda llevar una vida independiente [Lillie:2010].

Cualquier tarea aparentemente sencilla, como por ejemplo preparar algo de comer, requiere la organización de material, secuenciación de pasos a seguir, memoria, y focalizar la atención, entre otras capacidades cognitivas. Añadir un entorno lleno de distractores, por ejemplo ruido de fondo o un teléfono sonando, y la tarea puede convertirse en algo casi imposible para alguien que tiene una dificultad para gestionar la prioridad de objetivos (por ejemplo, déficits de atención dividida o de memoria de trabajo) [Lillie:2010].

Déficits en la atención o funciones ejecutivas pueden ser cruciales para

poder completar una AVD. Una ralentización en el procesamiento, algo muy común en los pacientes con daño cerebral, limita la capacidad del sujeto para tomar de forma rápida decisiones necesarias para las actividades cotidianas. Problemas con la memoria prospectiva, o la capacidad para recordar eventos, dificultan tareas tan sencillas como tener citas o realizar llamadas, recoger la receta de una farmacia, etc. Es importante remarcar también las consecuencias que déficits como los de memoria pueden tener hacia la propia seguridad del paciente; circunstancias tales como dejar la plancha encendida en un lugar inadecuado.

1.1.3.4. Prevalencia e incidencia

Es complicado tener datos fiables y actualizados sobre la incidencia y repercusión real en la sociedad del daño cerebral. Entre otras razones, esto puede ser debido a la no estandarización de la captura de datos, y de la variabilidad en la definición de daño cerebral y cada una de sus causas.

En el estudio publicado en 2006 la Organización Mundial de la Salud (OMS) estimaba que los trastornos neurológicos y sus secuelas afectaban en el mundo a mil millones de personas. Estos trastornos se presentan en todos los grupos de edad y en todas las regiones geográficas. No obstante, la transición demográfica originada por el aumento de la expectativa de vida y la disminución de la fertilidad han derivado en un envejecimiento de la población, lo que origina un aumento en la frecuencia de los trastornos neurológicos, tales como la enfermedad de Alzheimer y otras demencias. Las estimaciones realizadas prevén un aumento considerable en los próximos años de la cantidad de personas con trastornos neurológicos, por ejemplo el número de personas con demencia (en el momento del estudio de varias decenas de millones) se duplicará cada 20 años [WHO:2006].

El enfoque de la Carga Global de la Enfermedad (Global Burden of Disease study) es uno de los recursos más ampliamente utilizados para presentar un resumen cuantitativo del estado de la salud de la población en todas las categorías de enfermedad y riesgo. La OMS afirma que los trastornos neurológicos constituyen el 6,3 % de la carga global de enfermedad. Este dato se encuentra referido al porcentaje de años ajustados por discapacidad (Disability-Adjusted Life Year: DALY). Este término se define como el número de años de vida normal perdidos como consecuencia de una discapacidad [WHO:2006].

En un estudio realizado en Europa se estimó que el costo económico de los trastornos neurológicos (demencia, epilepsia, migraña y otras cefaleas, esclerosis múltiple, enfermedad de Parkinson y enfermedad cerebrovascular) sumaban ciento treinta y nueve mil millones de euros en el 2004. Este estudio incluyó solo parcialmente los costos directos no médicos (por ejemplo, atención

Figura 1.1: Global de la Enfermedad [WHO:2006].

comunitaria y atención informal) y los costos indirectos, y omitió los costos intangibles. En el mismo estudio, el costo anual de la carga de las lesiones traumáticas cerebrales se estimó en tres mil millones de euros; aunque esta cifra solamente solo considera la hospitalización por trauma y no incluye la rehabilitación, los días de trabajo perdidos y la pérdida en la producción, lo que incrementaría considerablemente la cifra [WHO:2006].

TCE

El TCE es problema crítico de salud pública, así como un gran problema socio-económico en todo el mundo (véase Figura 1.2). Es la mayor causa de muerte, especialmente en adultos jóvenes, así como una causa de discapacidad de por vida para aquellos que sobreviven. Se calcula que en la Unión Europea hay aproximadamente 7,7 millones de personas que han sufrido un TCE y que en Estados Unidos hay en torno a 5,3 millones de personas viviendo con una discapacidad causada por un TCE [Roozenbeek:2013].

Figura 1.2: Estimación de la incidencia global del TCE [Roozenbeek:2013].

La incidencia del TCE está creciendo a nivel mundial, principalmente

Accidente de tráfico	50 %
Caída casual	20-30 %
Accidente laboral	8 %
Actividades recreativas	4-11 %
Violencia	1 %

Table 1.1: Etiología del Traumatismo Craneoencefálico.

por trastornos causados por accidentes de tráfico. Se estima que en la Unión Europea se producen 235 nuevos casos al año por cada 100.000 habitantes; considerablemente superior a la incidencia en Estados Unidos que es de 103 por cada 100.000 habitantes. Teniendo en cuenta que según los últimos datos demográficos la población de la UE es de aproximadamente 500 millones, cada año hay 1,18 millones de nuevos casos [Tagliaferri:2006]. En nuestro país se producen entre 80.000 y 100.000 nuevos casos de TCE al año. Esto es una incidencia de 150-250 nuevos casos por cada 100.000 habitantes [Casas:2008].

La edad de máximo riesgo se sitúa entre los 15 y los 30 años, razón por la cual se generan enormes pérdidas en años potenciales de vida. Se estima que por cada 250-300 TCE leves hay 15-20 moderados y 10-15 graves [López:2009]. De entre las causas generadoras de una lesión cerebral traumática, el accidente de tráfico continúa ocupando el primer lugar y representa el 50 % del total. La caída casual se sitúa en segundo lugar, seguidos por los accidentes laborales, deportivos y, en último lugar, la violencia (ver Tabla 1.1). En España el accidente laboral se sitúa en segunda posición, seguido por las caídas casuales [Roig:2011].

ACV

Cada año, 15 millones de personas sufren un accidente cerebrovascular (ACV) en el mundo; constituye la segunda causa de mortalidad y es una de las principales causas de años de vida perdidos por discapacidad. De todos ellos, 5 millones mueren y otros 5 millones quedan con una discapacidad de por vida, afectando tanto a la familia y como a la sociedad. No es una enfermedad con alta incidencia en personas menores de 40 años. En el caso de los niños, la tasa de afectación es de en torno al 8 %. Se estima un crecimiento en la pérdida de DALYs desde los 38 millones que había en 1990 hasta los 61 millones que se proyecta habrá en 2020 [WHO:2004].

Los tipos de AVD son isquémicos en un 80 % de los casos, de los cuales producidos por una aterotrombosis son el 75 % y el 25 % restante generados por una embolia; los ictus hemorrágicos se corresponden con el 20 % de los casos [Bejot:2007].

Existe una gran variación geográfica en las incidencias en Europa, con un gradiente decreciente desde el Este al Oeste, con una incidencia de 600

casos al año por cada 100.000 en Rusia, frente a los 210 nuevos casos por cada 100.000 en Francia. Esto podría estar relacionado con factores mediambientales, contaminación del aire, factores meteorológicos, dieta, consumo de sal, abuso de alcohol, tabaco o acceso a la prevención. [Bejot:2007].

En el año 2002 en España, el ictus fue la segunda causa de muerte (35.947 casos) y la primera en la mujer (21.018 casos). Esto indica que extrapolando los datos de dicho años, en nuestro país se produce una muerte por ictus cada 15 min. La incidencia global de ictus en España no se conoce con precisión, y se estima que puede oscilar entre 120-350 casos por 100.000 habitantes y año. Dichas tasas se multiplican por 10 en la población mayor de 75 años de edad [Díaz-Guzmán:2008], [Díaz-Guzmán:2013].

1.2. Neurorrehabilitación

1.2.1. Concepto

A pesar de los avances en investigación dentro del campo de las neurociencias, tras haber sufrido daño cerebral no existe la posibilidad de recuperación total. No obstante, la neurorrehabilitación dispone de métodos para ayudar a estos pacientes a optimizar la recuperación de sus funciones, potencia sus capacidades preservadas y ayudarlos a adaptarse a sus limitaciones, a fin de conseguir la máxima autonomía posible [Bernabeu:2002].

La rehabilitación se define como un proceso activo mediante el cual las personas que ven limitada su actividad por causa de los déficits causados por una enfermedad o lesión desarrollan su máximo potencial físico, mental y social, y son reintegradas en la sociedad de la forma más adecuada. La rehabilitación es uno de los componentes claves de la estrategia de atención primaria de la salud, junto con la promoción, la prevención y el tratamiento. Mientras que la promoción y prevención están dirigidas principalmente a los factores de riesgo y el tratamiento de enfermedades, la rehabilitación está orientada hacia el funcionamiento humano, involucrando por tanto, no solo el ámbito de la salud, sino también sectores de la educación, relaciones laborales y sociales [WHO:2006]

Cuando la lesión sufrida por el paciente afecta al cerebro las estrategias de intervención clínica se centran en reducir las alteraciones cognitivas y conductuales, así como manejar estas dificultades y reducir su impacto en la vida cotidiana del paciente y de su entorno familiar. Dicho de otro modo, esta rehabilitación neuropsicológica comprende un sistema de actividades terapéuticas, basado en la relación cerebro-conducta, dirigido a alcanzar cambios funcionales mediante [Lubrin:2009]:

- El restablecimiento o refuerzo de patrones de conducta y de actividades cognitivas previamente aprendidos.
- El establecimiento de nuevos patrones de actividad cognitiva, por medio de estrategias sustitutorias.
- La introducción de nuevos patrones de actividad gracias a mecanismos compensatorios internos o externos.
- La ayuda al paciente y a su familia para adaptarse a la nueva condición de discapacidad y mejorar el funcionamiento global.

Por tanto, la rehabilitación neuropsicológica incluye intervenciones que se encuadran dentro de cuatro grandes grupos: rehabilitación cognitiva, modificación de conducta, intervención con familias y readaptación profesional.

Donde la rehabilitación cognitiva se define como el proceso a través del cual estos pacientes que han sufrido un daño cerebral trabajan junto con un equipo de profesionales clínicos para corregir o paliar los déficits cognitivos surgidos como consecuencia del daño neurológico [Wilson:2004]. Estos procesos abarcan el asentamiento de comportamientos apropiados y corrección de aquellos que no lo son [Wilson:2004]; y la estimulación cognitiva dirigida a mejorar el rendimiento cognitivo general o de alguna de sus procesos y componentes específicos, tales como la atención, memoria, lenguaje, funciones ejecutivas, cálculo, etc. [Lubrin:2009].

Es importante destacar la misión del equipo de neurorrehabilitación se extiende hasta la familia, tratando de aliviar la angustia a través de la información y apoyo de una forma sensible y clara. Si el equipo no actúa de forma eficiente para con las necesidades de la familia del paciente, la angustia y frustración del cuidado se verá incrementada [Elbaum:2007b].

Los objetivos, por tanto, del tratamiento rehabilitador se moverán en torno a tres niveles [Bernabeu:1999]:

- Minimizar el déficit (restaurar), es decir, intervención orientada a la máxima recuperación de las funciones físicas y cognitivo-conductuales alteradas.
- Alcanzar el máximo nivel de funcionalidad posible, adaptar al paciente a este nuevo estado para tratar de reducir el impacto en su vida diaria.
- prevención terciaria, entendiendo como tal a la prevención de las potenciales complicaciones derivadas de las consecuencias del daño cerebral.

Son diversos los factores que influyen en la posible recuperación de funciones perdidas como consecuencia del daño cerebral. Unos, sin embargo, podrían ser más importantes que otros [Ardila:2007]:

- **Extensión y localización** de la lesión, las lesiones extensas dejan pocas habilidades residuales que permitan el posterior restablecimiento, este nexo es especialmente evidente con respecto a la recuperación del lenguaje.
- **Edad**, y por tanto el nivel de madurez biológica es un factor crítico en el aprendizaje, así como en el reaprendizaje posterior a un daño cerebral. Además, existe una idea generalizada por la que se cree que los efectos cognoscitivos y comportamentales consecuentes al daño cerebral son menos desastrosos si ocurren a una edad temprana.
- **Etiología**, no hay duda de su importancia en el restablecimiento de las funciones tras el daño cerebral. Aunque sus efectos son difusos y variables con respecto a numerosos factores, en general, los traumatismos y hemorragias presentan una mejor recuperación que los accidentes vasculares o tumores.
- **Factores temporales**. Aquellos episodios de daño cerebral de instalación súbita se relacionan con defectos mayores que los de instalación lenta.
- **Tiempo desde el accidente**. Se cree que es una de las variables fundamentales en el nivel de restablecimiento se refiere al tiempo que transcurre desde el accidente hasta que se inicia el proceso de rehabilitación. Si el paciente permanece inactivo por demasiado tiempo, el pronóstico de restablecimiento disminuye.

Además de otros factores de peso menor, como son el género y la preferencia lateral del paciente, existe una serie de variables individuales que pueden afectar notablemente a la recuperación de las habilidades cognoscitivas: (1) la personalidad y los factores intelectuales; (2) la motivación; y (3) la existencia de trastornos asociados [Ardila:2007].

Todos estos factores revierten en una heterogeneidad en cada caso, lo que unido a la propia naturaleza del cerebro, lo ambicioso de los objetivos del tratamiento y todos los problemas derivados del daño cerebral, convierten la rehabilitación en un proceso extremadamente complejo. Por ello, se hace imprescindible el trabajo de todo un equipo de profesionales clínicos de diferentes disciplinas: fisioterapeutas, psicólogos, logopedas, terapeutas ocupacionales, trabajadores sociales y médicos consultores de diferentes especialidades (neurología, psiquiatría, oftalmología, ORL, neurocirugía, cirugía ortopédica, etc.). La coordinación de todo este equipo requiere un modelo de trabajo establecido, el cual puede ser multidisciplinar, en el que cada miembro trata el aspecto relacionado con su especialidad, o interdisciplinar en el que los profesionales comparten un espacio formal exponiendo información y tomando decisiones en torno a uno o varios objetivos comunes

[Bernabeu:1999], [Ramiro-González:2012]. En esencia, se trata de iniciar el tratamiento lo más precozmente posible y en unidades específicas que gocen de la experiencia necesaria para asegurar la mejor calidad asistencial en todo momento [Roig:2011].

Figura 1.3: Equipo Multidisciplinario [Guttmann:2008].

1.2.2. Fundamentos neurobiológicos

1.2.2.1. Plasticidad

Hasta hace aproximadamente 50 años, el sistema nervioso central (SNC) había sido considerado como una estructura estática, cuya función es inmodificable e irreparable. Según esa hipótesis, la lesión del SNC sólo podría ser tratada mediante estrategias de compensación. Sin embargo, clínicos e investigadores que día a día trabajan en este campo, difícilmente se explicaban resultados tan diversos como la recuperación funcional espontánea de pacientes hemipléjicos. Esta evidencia científica, junto con los avances tecnológicos en el campo de la neuroimagen funcional, constituyeron la fuerza impulsora, para la investigación científica en torno a la idea del potencial dinámico del SNC [Gómez-Soriano:2012].

La función cerebral puede ser representada en base al concepto de redes neuronales distribuidas que pueden estar dispersas desde un punto de vista anatómico, pero conectadas desde un punto de vista estructural. De esta forma trabajan de manera integrada al servicio de un comportamiento determinado [Pascual-Leone:2010].

La OMS definió la neuroplasticidad como la capacidad de las células del sistema nervioso para adaptar, tanto en sentido morfológico como funcional, su organización estructural a nuevas situaciones sujetas a influencias patológicas, ambientales o del desarrollo, incluyendo traumatismos y enfermedades [WHO:1983]. Es decir, dependiendo de la demanda comportamental, estos conjuntos de neuronas pueden integrarse en redes funcionales distintas, modificando para ello la importancia relativa de las conexiones de su estructura. Así, a raíz de una lesión cerebral, la conducta resultante (ya sea normal o presente manifestaciones patológicas relacionadas con la lesión) sigue siendo la consecuencia del funcionamiento de todo el cerebro, y por lo tanto consecuencia de un sistema nervioso plástico. En última instancia, los síntomas no son la manifestación de la región lesionada, sino más bien la expresión de los cambios plásticos en el resto del cerebro [Pascual-Leone:2010].

Obsérvese, por tanto, que la plasticidad no es un estado ocasional, sino el estado de funcionamiento normal del sistema nervioso durante toda la vida. Considerar la plasticidad como una capacidad del cerebro que puede ser activada en respuesta a un estímulo para promover la recuperación funcional compensando la pérdida de una función es un concepto erróneo. La plasticidad es una constante en el funcionamiento del sistema nervioso y es poco probable, por tanto, que su misión principal sea únicamente hacer frente a la lesión [Pascual-Leone:2010].

Los avances en la tecnología, y principalmente aquellos aplicados a la medicina, permiten estudiar los mecanismos de plasticidad cerebral, las interacciones entre las distintas áreas corticales y su evolución conforme a los cambios conductuales. De este análisis se observa la existencia de tres procesos diferenciados [Grady:2001]:

- Reorganización de las interacciones funcionales entre diferentes áreas o grupos neuronales dentro de una red neuronal preexistente. Existen circuitos redundantes que permiten esta reorganización interna de la red. Éste fenómeno estaría relacionado principalmente con los enfoques restauradores de la rehabilitación.
- Incorporación de nuevas áreas de la red previa establecida o el uso de redes neuronales alternativas que no se utilizaban para la ejecución de la tarea en estudio. Este mecanismo implica el aprendizaje y el uso de estrategias, lo que conlleva la incorporación de áreas ajenas a la red, así como la colaboración entre diferentes procesos cognitivos.
- Plasticidad neuronal en áreas adyacentes a la región dañada.

Estos tres mecanismos han sido observados como procesos potenciales de recuperación tras un daño cerebral [Grady:2001]. La recuperación de una

función después de una lesión cerebral focal, por ejemplo un ictus, esencialmente se basa en aprender con una red neuronal parcialmente alterada; lo que acarrea tanto peligros como las oportunidades inherentes a un cerebro plástico. No obstante, estos cambios plásticos del sistema nervioso humano podrían no representar necesariamente una ganancia comportamental en el sujeto. La plasticidad es una propiedad intrínseca del sistema nervioso y es el mecanismo para la adquisición de habilidades, el aprendizaje, la adaptación al medio y la recuperación de la lesión; pero también es causa de patologías y de trastornos clínicos, como por ejemplo la distonía focal de la mano o los síndrome de dolor neuropático [Pascual-Leone:2010]. Por tanto, el objetivo es el de modular la plasticidad neuronal para lograr una ganancia comportamental óptima, lo cual es posible, por ejemplo, a través de intervenciones sobre la conducta y mediante técnicas, invasivas y no-invasivas, de estimulación cortical [Pascual-Leone:2005].

En la actualidad la neuroplasticidad es considerada el fundamento biológico en el que se sustenta la rehabilitación de funciones cognitivas perdidas como causa de una lesión cerebral. El entrenamiento o la estimulación de la actividad sirven para la creación de nuevas vías de funcionamiento en el cerebro dañado, ya que la experiencia y el aprendizaje modifican y posibilitan la aparición de nuevas sinapsis en el cerebro. Resultados científicamente verificables han demostrado que con la aplicación de determinados programas de rehabilitación neuropsicológica se logran cambios favorables en los procesos cognitivos afectados. Esta plasticidad cerebral permite una reestructuración funcional del sistema dañado y de otras áreas no afectadas por la lesión, de modo que éstas pueda asumir parcialmente tales funciones. Esta concepción neuroplástica del SNC nos conduce a la búsqueda constante de formas de estimular cambios plásticos que permitan la restauración de funciones alteradas [Lubrin:2009].

1.2.2.2. Neuronas espejo

Experimentos neuropsicológicos han demostrado que ciertas áreas de la corteza cerebral se activaban no solo cuando el individuo realizaba una acción, sino también cuando observa a otro individuo ejecutarla [Rizzolatti:2004]. A estas neuronas que se activan cuando un animal o persona desarrolla la misma actividad que está observando ejecutar por otro individuo, especialmente congénere, se denominan Neuronas Espejo. Las neuronas del individuo imitan como “reflejando” la acción de otro: así, el observador está el mismo realizando la acción del observado, de allí el nombre de “espejo” [Iacoboni:2007].

Las neuronas espejo representarían un sistema flexible que codifica las acciones observadas en términos de características de comportamiento relevantes. No solo codifican información relativa al objetivo para el cual el sujeto observado realiza la acción, sino que se trata de un sistema flexible

que realiza una lectura sobre las características de la conducta propia de la acción [Casile:2011]. La acción observada genera una proyección sobre la gama de acciones del observador, creando una representación interna unívoca [Rizzolatti:2001]. Por otro lado, existe un factor de la interpretación dependiente de la experiencia del observador. Esto aporta un carácter plenamente individualista e inherente a su persona [Calvo-Merino:2005]. Por tanto, dos sujetos que observan la misma acción tendrán representaciones internas de la misma acción diferentes [Casile:2011].

Existen dos principales hipótesis en torno a las neuronas espejo: (1) son las encargadas de procesar los mecanismos de imitación, y (2) estas neuronas son la base para la comprensión de las acciones realizadas por otros sujetos [Rizzolatti:2001]. Hoy en día se pueden dar prácticamente por validadas ambas, ya que se conoce el sistema de neuronas espejo es la base de la imitación humana, y del aprendizaje derivado de ello. La representación que se produce en la corteza motora cuando visualizamos una acción finalmente se transforma en conocimiento [Rizzolatti:2001].

La investigación sobre neuronas espejo está en su máxima expresión. Se van encontrando resultados fabulosos y muy alentadores en muchas áreas como la reeducación y la rehabilitación [Figuerola:2013]. Por ejemplo, existe una relación entre el autismo y un déficit en el sistema de las neuronas espejo. De igual forma, debido a esta relación se están desarrollando estrategias de intervención clínica basadas en la imitación como estímulo del sistema [Iacoboni:2007].

Dentro de la neurorrehabilitación se investiga sobre estrategias de intervención basadas en el sistema de neuronas espejo con el objetivo de inducir cambios plásticos en el sistema nervioso. Estudios recientes confirman el potencial de protocolos basados en la visualización de acciones realizadas por otros sujetos, en terapias de rehabilitación física, combinados con otras formas de estimulación, bien sea por repeticiones [Preziosa:2014][Franceschini:2010] o por estimulación eléctrica [Bisio:2015].

1.2.3. Proceso de rehabilitación

El periodo de rehabilitación comprende desde el momento de la instauración del daño cerebral hasta el momento en que las secuelas quedan estabilizadas y no se producen mejoras funcionales. A partir, de ese momento el paciente entra en fase de estabilización o de secuelas definitivas.

El primer paso de la intervención terapéutica es la evaluación neuropsicológica que permite identificar, describir y cuantificar las alteraciones cognitivas y conductuales que ha ocasionado la lesión cerebral en el paciente, así como las capacidades preservadas. Durante este proceso de evaluación se persigue [Roig:2011]:

- Describir con detalle las consecuencias de la lesión cerebral en términos de funcionamiento cognitivo, trastornos de conducta y alteraciones emocionales.
- Establecer un diagnóstico.
- Diseñar un plan de rehabilitación de las funciones alteradas y modificar las conductas desadaptativas.
- Determinar los progresos del paciente y valorar la eficacia de las distintas intervenciones (tratamientos cognitivos, farmacológicos, quirúrgicos, etc.).
- Identificar los factores pronósticos.
- Informar a los familiares y a los profesionales de la rehabilitación a fin de plantear objetivos realistas.
- Realizar una valoración médico-legal del nivel de deterioro cognitivo.
- Guiar una reorientación profesional.
- Llevar a cabo una investigación clínica neuropsicológica.

Este proceso de evaluación implica la observación, la entrevista y la administración de diferentes pruebas estandarizadas de evaluación neuropsicológica. Comprender interpretar e integrar los datos es fundamental para orientar un diagnóstico y establecer el tratamiento rehabilitador. De entre los instrumentos empleados para realizar la evaluación destacan algunas escalas que ayudan a hacer un diagnóstico inicial y a seguir la evolución del paciente relativo al progreso en el proceso rehabilitador. A modo de ejemplo, destacamos algunas de las escalas más utilizadas:

- Disability Rating Scale (DRS): esta escala tiene un valor predictivo desde el inicio del seguimiento del paciente hasta un seguimiento de diez años después de la lesión. Evalúa aspectos como apertura colar, respuesta verbal y respuesta motora, patrones cognitivos necesarios para comer, higiene y aseo, nivel global de dependencia y capacidad de reinserción laboral.
- Rancho Los Amigos Level of Cognitive Function (LOCF): esta escala define los diferentes estadios por los que pasa el paciente proveniente de un posible coma. Consta de siete niveles perfectamente definidos, por lo que lo único que se hace es incluir a la persona afectada en el grupo correspondiente.

- Glasgow Coma Scale (GCS) [Teasdale:1974] es una clasificación de la severidad del traumatismo graduada a partir de tres parámetros: la mejor respuesta ocular, verbal y motora; de tal manera que la peor puntuación es de tres y la correspondiente a la normalidad es de quince.
- Galveston Orientation and Amnesia Test (GOAT) [Levin:1979], esta escala es un instrumento para la medida de la amnesia postraumática (APT). Es un grupo de diez preguntas de modo que cada respuesta tiene una puntuación establecida. Si el valor está por encima de 75, permite afirmar que el paciente ha recuperado la memoria del día a día y que por tanto ha salido del periodo de APT.

El periodo de rehabilitación no es igual en todos los individuos, anteriormente se mencionaron los diversos factores que influyen en la recuperación y que por tanto marcan el periodo de duración de la misma. Por norma general el periodo que necesitará un paciente que ha sufrido un TCE severo (12-18 meses) será mayor que aquellos individuos que han sufrido un ictus (6-8 meses) [Quemada:2007]. No obstante, y a pesar de que estos tiempos presentan una gran variabilidad y dependencia de cada individuo, se distinguen varias fases a lo largo del periodo de rehabilitación identificadas con su paso por las distintas unidades hospitalarias (véase Figura 1.4) [Bernabeu:1999][Quemada:2007]:

Figura 1.4: Fases de la Rehabilitación Cognitiva.

Fase Aguda

Es el momento más próximo al establecimiento del daño cerebral cuando la persona se encuentra ya estable desde el punto de vista hemodinámico y respiratorio. El paciente está hospitalizado en unidades de vigilancia intensiva o en servicios de neurocirugía, dependiendo de si su estado es crítico cuyas lesiones cerebrales son activas y evolucionan, o por el contrario de si ha alcanzado una estabilidad neurológica. Es una fase en la que existe un importante riesgo vital y en la que pueden aparecer complicaciones graves, por lo que el objetivo fundamental es la estabilización clínica y el tratamiento y prevención de complicaciones.

En esta fase el paciente podría encontrarse en un estado de coma o de mínima respuesta, por lo que la intervención neuropsicológica se centra en la aplicar programas de estimulación sensorial para activar sus respuestas. Se utilizan para incrementar el estado de alerta y mejorar el nivel de conciencia en pacientes con un gran daño cerebral.

Fase Subaguda

Se puede observar una regresión de las lesiones y una recuperación funcional. En esta fase la persona con daño cerebral se encuentra ya estabilizada y ha sido trasladada a una unidad de neurorrehabilitación en régimen de hospitalización o a su domicilio en caso de que éste y sus familiares estén preparados para ello. Durante este periodo, además de procurar los cuidados médicos y de enfermería encaminados a la prevención y tratamiento de complicaciones, es cuando se realizará un programa de tratamiento rehabilitador específico, completo e interdisciplinario. Es entonces cuando intervendrán los diferentes profesionales que integran el equipo.

El objetivo fundamental en esta fase es el de procurar el máximo nivel de autonomía y alcanzar el grado de estabilización clínica suficiente para poder seguir acometiendo el programa de rehabilitación de forma ambulatoria, finalizando de esta forma el periodo de hospitalización. Esta fase puede durar desde días hasta meses dependiendo, como es de esperar, de la gravedad de los déficits y de la discapacidad secundaria.

Fase Postaguda

En este periodo la persona ya no requiere cuidados continuados médicos de enfermería y su estado clínico puede ser abordado con más facilidad desde el ámbito domiciliario. El paciente vive en su domicilio y son principalmente sus familiares los que asumen los cuidados necesarios. La persona acude diariamente al centro de rehabilitación ambulatoria donde recibirá el programa de rehabilitación personalizado.

En este momento evolutivo, aunque no puede hablarse de estabilización definitiva, sí que los avances tanto en la esfera física como en la neuropsicológica son extremadamente lentos de modo que apenas se objetivan variaciones en el nivel de funcionalidad. En esta fase, la intervención deja de orientarse hacia la minimización de los déficits y mejoría funcional para centrarse en la detección de posibles complicaciones y su tratamiento.

El objetivo primordial de estos pacientes es la reinserción socio-familiar y ocupacional o laboral. Si es posible se encaminará la rehabilitación a la capacitación para su antiguo puesto de trabajo uno protegido. En caso de que esto no se pudiera dar debido a los déficits del paciente, se le ayudará a buscar el recurso más adecuado a sus necesidades, tales como centros ocupacionales.

La elección del enfoque de rehabilitación dependerá del tipo de paciente, de la fase en la que se encuentre dentro del proceso de recuperación, de la respuesta a las intervenciones, de la accesibilidad a determinados recursos y del estado cognitivo general [Muñoz-Marrón:2009]. Definir la estrategia terapéutica no solamente dependerá de la estructura del cerebro dañada sino de la forma en que el sistema nervioso se modifica en función de la intervención realizada [Wilson:2009]. Para ello, es importante basar el enfoque en un espectro teórico tan amplio como sea posible, combinando modelos teóricos de las distintas disciplinas involucradas en el proceso, fortaleciendo la interacción entre la teoría y la práctica clínica [Wilson:1997].

Para que el proceso sea efectivo y de calidad, la neurorrehabilitación debe ser [Guttmann:2008]:

- **Holística**, teniendo en cuenta tanto los aspectos funcionales y cognitivos como los psicológicos, sociales y culturales que inciden en la personalidad del paciente, su etapa evolutiva y su estilo de vida, así como en su familia y entorno cercano.
- **Orientada al paciente**, desarrollando estrategias asistenciales personalizadas centradas en el paciente y su entorno.
- **Integradora**, donde los planes asistenciales son diseñados y realizados por equipos multidisciplinarios constituidos por profesionales motivados, altamente capacitados y entrenados en el trabajo interdisciplinario.
- **Participativa**, debiendo contar con la cooperación activa del paciente y su familia; para ello, es imprescindible una correcta información y una óptima relación de confianza con el equipo terapéutico.
- **Ecológica**, dotando al paciente de la máxima autonomía posible durante la intervención terapéutica, procurando en cada caso limitar las dependencias asistenciales o tecnológicas a las imprescindibles.
- **Continuada**, teniendo en cuenta las diferentes necesidades del paciente a lo largo de toda su vida, así como asegurando la continuidad asistencial desde la fase inicial de instauración de la lesión hasta las posibles complicaciones que puedan surgir en fases posteriores.
- **Resolutiva**, disponiendo de los medios humanos y materiales más adecuados para resolver eficazmente, y en cada situación, los problemas de cada paciente.
- **Adaptable al entorno social**, buscándose para cada caso las respuestas que se adapten a las características específicas de la comunidad y, al mismo tiempo, influyendo en la creación de recursos sociales que favorezcan la mejor inserción social posible de la persona con discapacidad.

De igual manera, es importante asegurar una evaluación adecuada del programa de rehabilitación cognitiva a niveles tanto generales como focalizados, que permita demostrar la efectividad de los tratamientos aplicados [Wilson:1997].

Todas estas características hacen de la rehabilitación neuropsicológica un proceso costoso y los recursos que se pueden dedicar son limitados. Por ello es inexcusable la necesidad de su optimización, a fin de aumentar su eficacia con la máxima eficiencia. A causa de las limitaciones del recurso, es necesario, pues, examinar por qué, qué y cómo debe utilizarse, no sólo para mejorar las técnicas empleadas en el tratamiento, sino también para valorar costes [Sánchez-Carrión:2011].

1.2.4. Tecnologías y rehabilitación

Hoy en día es evidente la expansión de las TIC la sociedad, la tasa de penetración a nivel mundial y en todos los ámbitos de la vida (hogares, empresas y Administraciones) crece año tras año. Este crecimiento se puede observar en algunos indicadores significativos como las variaciones positivas del uso de telefonía móvil (6,9 %)*, el incremento del volumen de usuarios de Internet (8 %)* o en el crecimiento de la banda ancha (6 % de la banda fija) . Y es que en 2013 el 5,2 % de la población mundial, o el equivalente al 30 % de los jóvenes, se consideran nativos digitales. En resumen, y de forma significativa, a pesar de las dificultades del marco económico mundial que se atraviesa, el sector TIC continua la tendencia ascendente con una tasa de variación positiva del 3,2 % [RED:2014].

Tanto a nivel nacional como internacional, existe evidencia clínica extensa que avala el impacto positivo de la eHealth [WHO:2006], o lo que es lo mismo, la aplicación de las TIC a la sanidad, quedando demostrando que ayuda de forma notable a mejorar los resultados en salud de la población, a la par que mejora la eficiencia del sistema y reduce de forma significativa el consumo de recursos sanitarios y los costes ([AMETIC:2015]). La aplicación de las TIC es, por tanto, la principal palanca a poner en marcha de cara a garantizar la sostenibilidad del sistema sanitario sin que ello implique la pérdida de calidad que actualmente poseemos.

En España, la incorporación de las TIC al servicio de salud se produjo a finales de los años setenta y principio de los ochenta, a través de principalmente dos puertas: (1) tecnologías médicas, tales como TAC o sistemas de información de laboratorios; y (2) sistemas aplicados a la gestión económico-financiera y logística de los hospitales [Carnicero:2014]. No obstante, al sistema sanitario le cuesta seguir el ritmo de avance tecnológico que le marca la sociedad y ha tenido que trabajar duramente, y continúa haciéndolo, para poder avanzar en este respecto [AMETIC:2015].

Los tres grandes proyectos que en la actualidad destacan por su grado de implantación en España son: (1) la Historia Clínica Electrónica, (2) la Receta electrónica, y (3) la Telemedicina. [SEIS:2015]; entendida esta última como el uso de las TIC para prestar y apoyar la atención sanitaria cuando los participantes están separados por una cierta distancia [Field:1996]. En la figura se detallan sus diferentes áreas de especialización y de qué manera se encuentra extendido en España, contabilizado por el número de Comunidades en las que se ha implantado. Entre una de ellas se encuentra la Telerrehabilitación.

Figura 1.5: Especialidades de telemedicina y número de Comunidades Autónomas españolas que tienen integrado cada especialidad [SEIS:2015].

La telerrehabilitación se define como la rehabilitación a distancia, mediante la utilización de los medios de información y de comunicación que ofrece la tecnología. El desarrollo de la telerrehabilitación permite asegurar los servicios de salud necesarios a personas que viven lejos del centro de asistencia, como pueden ser servicios terapéuticos a distancia, monitorización del estado del paciente, servicios de educación al paciente o de consulta, por citar algunos ejemplos [Pérez:2013], [MinSanCon:2006]. No cabe duda de que la telerrehabilitación puede resultar muy eficiente y representa un apoyo de indiscutible valor, ya que elimina total o parcialmente las barreras con las que se encuentra una persona con discapacidad para recibir o continuar un tratamiento, permitiendo [Roig:2011].

1. Continuar la rehabilitación más allá del ámbito hospitalario, facilitando una aproximación más ecológica a las limitaciones funcionales.

2. Monitorizar el progreso del paciente mediante un seguimiento continuado
3. Facilitar el acceso a la asistencia especializada a pacientes que viven en zonas alejadas de centros hospitalarios que dispongan de servicios de neurorrehabilitación.

De cara al futuro, y volviendo a un punto de vista más genérico, examinar las tendencias tecnológicas que están tomando fuerza en el mercado actual [RED:2014], nos permite cuál puede ser la evolución de la eHealth. Dados los requisitos, necesidades y situación actual de las TIC en la salud, podríamos destacar como principales influencias: (1) El Big Data, siendo la tecnología emergente con más implantación en la esfera empresarial; (2) Internet de las cosas (“Internet of Things”), en base a la creciente presencia de dispositivos conectados a la red y siendo una de las tendencias más citadas por los expertos tecnológicos; y la tecnología llevable (“Wearables”), siendo una de las innovaciones con mayor potencial y de mayor crecimiento en el mercado (pulseras interactivas, relojes inteligentes hasta dispositivos integrados en prendas de vestir, etc.). Estas tres tendencias encajan con el elevado ritmo de expansión de las aplicaciones móviles de salud (denominadas mHealth [kay:2011]). Este crecimiento deriva del creciente interés del público por su salud personal, utilizándolas para buscar información, capturar y monitorizar parámetros físicos del usuario o facilitar el seguimiento de un tratamiento [RED:2014].

Figura 1.6: Estimación de evolución del mercado mundial de mHealth (ingresos en millones de dólares) [AMETIC:2015].

1.2.4.1. TIC en neurorrehabilitación

Los programas tradicionales de estimulación cognitiva se realizan de forma individual o grupal con un terapeuta cualificado, y se caracterizan principalmente por las funciones cognitivas trabajadas (memoria, atención, etc.), la duración y frecuencia de las sesiones y las estrategias específicas realizadas. Por tanto, estos programas se basan en sesiones presenciales y síncronas, lo

que requiere de un lugar de reunión, de los respectivos desplazamientos y de coordinar horarios. Esto implica que este tipo de terapias tengan un alto coste, por lo que dada la importancia de la rehabilitación cognitiva es necesario encontrar alternativas que manteniendo la eficacia del tratamiento resulten menos costosas [Kueider:2012].

A diferencia de los métodos tradicionales en la rehabilitación cognitiva, la utilización de programas de rehabilitación informatizados permiten proporcionar una rehabilitación sistemática y estructurada, monitorizando la evolución del paciente a lo largo del tratamiento. Además, desde un punto de vista clínico, el uso de ordenadores ofrece al terapeuta la oportunidad de observar e intervenir en el aspecto psicológico (actitud del paciente, expectativas, frustraciones, etc.) [Sánchez-Carrión:2011].

A continuación destacamos algunos de las aportaciones más sobresalientes de las TIC en el proceso de rehabilitación:

- La monitorización y registro de las sesiones de los pacientes, no solamente facilita al profesional clínico el estudio de la evolución del mismo, sino que sienta la base para la generación de nuevo conocimiento clínico. El análisis de estos datos mediante técnicas de data mining [Marcano-Cerdeno:2013] estudia la eficacia en la práctica clínica de los modelos teóricos aplicados en el diseño del tratamiento.
- Permite realizar la rehabilitación cognitiva a un coste razonable. Convierte el proceso de rehabilitación en un tratamiento sostenible permitiendo llegar a más pacientes, así como extenderlo en tiempo con una intensidad adecuada a las necesidades del proceso. Plataformas de telerrehabilitación como GNPT [GNPT:2015] permiten realizar, o continuar, el tratamiento bajo la supervisión del profesional clínico desde la casa del paciente.
- En general, el uso de nueva tecnología suscita un interés en el paciente incrementando su motivación, cuya relación con la capacidad de aprendizaje ha sido demostrada [Robert:1908]. Los tratamientos basados en ejercicios aislados y repeticiones pueden no solo generar fatiga y afectar al paciente y terapeuta [Giustini:2014].
- Arroja la necesidad de innovar en las terapias, tanto en lo que hace referencia a las herramientas empleadas en el tratamiento neuropsicológico como en lo relativo a los instrumentos de valoración del proceso rehabilitador, para establecer mejores indicadores e identificar factores responsables de una evolución desfavorable, susceptibles de modificación, que faciliten la provisión de la mejor atención a las personas con discapacidad y favorecer así su autonomía [Sánchez-Carrión:2011]

- Apoya al neuropsicólogo a la hora de establecer un tratamiento a cada paciente. El uso de modelos computacionales [Wilson:2011] le ayudan a comprender y prever la readaptación y evolución del cerebro del paciente ante los estímulos propios de la terapia. O por otro lado, algoritmos de ayuda a la decisión para la planificación y configuración de las sesiones de rehabilitación, que proporcionen en base a conocimiento empírico qué tareas son más adecuadas para cada perfil de paciente [Solana:2014].
- La base informática de las tareas de rehabilitación, permiten controlar con detalle y precisión la presentación de los estímulos, que son la clave en la sesiones de rehabilitación: tiempos de presentación y latencia, posiciones, tamaños, velocidades y repeticiones son un ejemplo de las variables que configuradas por el terapeuta le ayudan a controlar la dificultad de la tarea y el foco de actuación de la intervención terapéutica.

El uso de programas informatizados puede resultar de gran utilidad en el proceso de rehabilitación cognitiva; sin embargo, no sustituye el necesario contacto, soporte, esfuerzo y supervisión del terapeuta, sino que lo complementa. [Sánchez-Carrión:2011]

1.3. Entornos virtuales

Tanto los programas de rehabilitación cognitiva tradicionales como aquellos basados en el uso de sistemas informáticos [Cicerone:2011] han sido criticados por sus limitaciones en cuanto a la validez ecológica. Por normal general se realiza un aprendizaje específico y centrado en la habilidad cognitiva que se quiere trabajar, mostrando poca generalización hacia tareas relacionadas o nuevos entornos, limitando por tanto el impacto práctico del aprendizaje adquirido [Green:2008].

Frecuentemente se incorpora al proceso de rehabilitación cognitiva programas de intervención sobre el comportamiento del paciente. Mediante este tipo de procedimientos se puede analizar el impacto de los déficits cognitivos en el día a día, evaluar la eficacia funcional del tratamiento, o incluso establecer nuevas conductas, o mejorar las existentes, que mitiguen los efectos de los problemas cognitivos en sus actividades cotidianas [Wilson:2004]. Aproximaciones sucesivas, encadenamiento de acciones, planificación de objetivos, división de tareas o los refuerzos positivos, son algunas de las técnicas utilizadas para realizar dichas intervenciones sobre las actividades de vida diaria del paciente. Las desventajas de estos métodos se encuentran en los costes del tratamiento y la dificultad para monitorizar la ejecución y evolución de la terapia.

El gran progreso tecnológico experimentado durante estos últimos años en capacidad y velocidad de procesamiento computacional, renderizado de imágenes y vídeos, sistemas de visualización o en dispositivos de monitorización, hace tecnológicamente factible la idea de introducir entornos virtuales en el proceso de rehabilitación cognitiva.

Técnicamente, el entorno virtual se define como un entorno tridimensional sintetizado gráficamente y en tiempo real por un ordenador, en el que la visualización, su orientación y los objetos mostrados son controlados por un usuario a través de dispositivos de entrada o sensores [Lewis:1997]. Algunos autores resaltan la experiencia sensorial de los entornos virtuales, refiriéndose a los mismos por su potencial para crear en el usuario la sensación de “estar allí” (“being there”), es decir, tener la sensación de estar presente en un entorno distinto al que se encuentra en ese momento, y poder interactuar con él [Ellis:1994], [Schroeder:2008].

En un sentido más práctico y aplicado, Schultheis y Rizzo se refieren a los entornos virtuales como los escenarios interactivos que permiten simular situaciones del mundo real y que diseñadas en base a las necesidades de los pacientes pueden ser utilizados para evaluar y rehabilitar sus funciones cognitivas [Schultheis:2001].

Los entornos virtuales pueden reproducir situaciones cotidianas, simulando de forma controlada los requisitos conductuales que encontramos en la vida real. El objetivo deseado es que el terapeuta realice las intervenciones terapéuticas propias de la sesión de rehabilitación sobre la actividad de vida diaria que esté ejecutando el paciente en el entorno. Así, el terapeuta puede corregir comportamientos patológicos no deseados que realice el paciente, estimulando correctamente para que realice las respuestas correctas.

La intervención que se pueden realizar en estos entornos es basada en la planificación, es decir, atendiendo al diseño y configuración de la tarea. De esta forma terapeuta y paciente pueden no encontrarse en el mismo eje espacio-temporal. Además, se trata no solo de reproducir de la forma más real posible una escena cotidiana, sino adaptarlo a través de por ejemplo nuevos estímulos o permitir repeticiones, a los requisitos de cada paciente, ajustando la carga cognitiva exigida a sus habilidades y necesidades.

Existe una propiedad intrínseca en el cerebro humano que procesa la realidad virtual, vídeos o incluso dibujos como una representación de situaciones reales [Aghajan:2015].. Estudios recientes demuestran que la estructura cerebral usada en el procesamiento de este tipo de información es similar a aquella utilizada para procesar experiencias de la vida real. [Aghajan:2015]..

Cuando un ser humano se enfrenta a este tipo de entornos tiene la capacidad de responder a las tareas exigidas como si fueran reales, dejando en un segundo plano el nivel de realismo del entorno (limitaciones gráficas y de

capacidad de inmersión). En esencia, puede decirse que siempre y cuando el escenario virtual se asemeje al mundo real y posea elementos que repliquen los retos que podríamos encontrar en una escena cotidiana, la validez ecológica se verá incrementada [Rizzo:2004].

1.3.0.2. Estrategias tecnológicas en los entornos virtuales

Milgram, en 1994 [Milgram:1994] establece una relación entre los mundos real y virtual a través del “virtual continuum” (continuo de virtualidad). Este concepto, trata de describir todas las oscilaciones comprendidas entre lo completamente virtual (realidad virtual) y lo que es real (la realidad).

Figura 1.7: Continuo de virtualidad de Milgram [Milgram:1994].

En el extremo izquierdo se encuentra todo aquello que es real, la realidad que vivimos, y a la derecha se sitúa la realidad virtual inmersiva, donde todos los estímulos que aparecen son fruto de un procesamiento informático. De esta forma, recorriendo el esquema hacia la derecha irá aumentando el grado de estímulos generados por ordenador. Esta área comprendida entre los extremos se conoce como realidad aumentada, donde los elementos virtuales enriquecen la información propia de la realidad. No obstante, si son los elementos virtuales los que predominan frente a los reales y, por tanto, estamos situados cerca del extremo derecho, serán los elementos reales los que aporten información al entorno virtual, se denomina virtualidad aumentada.

Son los entornos desarrollados estrictamente mediante realidad virtual los más extendidos. Los tres aspectos fundamentales de trabajo que envuelven a esta tecnología son: inmersión, interacción y presencia [daCosta:2000].

- La inmersión se caracteriza por la experiencia que el entorno generada en el usuario de estar dentro de él. Viene influenciada por: (a) las distintas fuentes de información sensorial que el participante recibe del entorno; y (b) el grado en el que los tiempos y calidad de la reacción del entorno se alinean con las del mundo real y las esperadas por el usuario. La interacción se refiere a la forma a través de la que el usuario se comunica con el mundo virtual [Glegg:2014].
- La interacción se refiere a la forma a través de la que el usuario se comunica con el mundo virtual.

- El concepto de Presencia es muy subjetivo, tratado normalmente como un fenómeno neuropsicológico. Definido como la sensación de “estar allí” o bien como “sentir estar en un mundo que existe fuera de uno mismo” [Riva:2005].

1.3.0.3. Interfaces de interacción

Las características mencionadas estarán directamente relacionadas con los dispositivos tecnológicos que darán soporte al entorno. Las tecnologías utilizadas para reproducir y ejecutar el entorno desarrollado establecerán cualidades como la interfaz de visualización, el modo de interacción, modo de navegación y exploración del entorno, posibilidades de monitorización. A continuación se detallan algunos de los dispositivos utilizados en el ámbito de la rehabilitación.

Los dispositivos que dan soporte a la proyección visual del entorno serán los principales responsables del grado de inmersión. En este sentido, podríamos clasificar los dispositivos utilizados en torno a tres niveles:

- Monitor de ordenador o televisión. Por norma general, con este tipo de pantallas hablaremos de un entorno no inmersivo. No obstante, encontramos en la literatura estudios en el que tratan de incrementar este aspecto del entorno mediante la combinación de varios monitores situados en forma circular [Grewe:2013].
- Head Mounted Displays (HMD). Son dispositivos de visualización montados en una especie de casco, que tienen una pequeña pantalla situada justo delante de un ojo (monocular) o de cada ojo (binocular). Proporciona al usuario una visión estereoscópica del entorno, y por tanto una inmersión en el entorno en 3D y con un campo de visión de 360 grados [Rizzo:2006], [Parsons:2013].
- Cave Automatic Virtual Environment (CAVE), son entornos de realidad virtual de inmersión completa. Se basan en el uso de proyectores sobre distintas paredes (de tres hasta seis) que rodean al usuario. Existen algunas referencias de uso en rehabilitación de estos sistemas [Browning:1994], no obstante su alto coste, tamaño o la aparición de nuevas tecnologías hacen que no sean muy utilizados.

Otra de las partes fundamentales en este tipo de entornos son los sistemas de interacción y monitorización, es decir, la información que el sistema recibe del usuario, ya sea de forma intencionada o no, que por norma general es utilizada para condicionar el flujo de acción de la actividad. Las formas más comunes y sencillas de interacción son las realizadas a través de teclado y

ratón, aunque desde hace años los dispositivos táctiles están a la orden del día y permiten una interacción más intuitiva y con semejantes funcionalidades.

Debemos hacer mención especial a algunos dispositivos, que siendo más complejos, no solamente permiten interacciones más naturales para el ser humano, sino que la información que registran resulta gran valor en el proceso de rehabilitación.

- Basados en movimiento. Dispositivos de entrada del sistema que permiten registrar los movimientos del sujeto. Los más extendidos en su aplicación en rehabilitación son aquellos que pueden detectar el movimiento de todo el cuerpo, como por ejemplo el Kinect [Kinect:2015]. Otros dispositivos como Leap Motion [LeapMotion:2015] se centran únicamente en la detección de los movimientos gestuales de las manos.
- Basados en la mirada. Eye-tracking es una tecnología que permite detectar los movimientos oculares, lo que permite al sistema conocer el foco de la atención visual del sujeto.
- Dispositivos hápticos. Por ejemplo, guantes que a través de sensores, no solo registrar los movimientos realizados con las manos, sino que permiten al usuario recibir estímulos por presión [Parsons:2013]. El uso de estas tecnologías, así como de muchas otras, no es exclusivo, sino que lo normal es combinarlas para encontrar la experiencia de usuario que más se adapte a los requisitos últimos buscados. Como ejemplo, y siguiente la línea de su aplicación en terapias de rehabilitación podemos destacar:
- CAREN [Isaacson:2013]. De las siglas Computer-Assisted Rehabilitation Environment (entorno de rehabilitación asistido por ordenador). Se trata de un sistema para el registro, evaluación y entrenamiento del comportamiento humano. Está compuesto por una plataforma controlada de forma hidráulica y mecánica, un entorno envolvente de realidad virtual y un software de control.
- VirtuSphere. Consiste en una esfera hueca de más de 3,5 metros de diámetro que se encuentra situada sobre una plataforma con rodamientos que permite que tenga una rotación completa sin ser desplazada. El sujeto, quien visualiza un entorno virtual a través de un HMD, se introduce dentro de la esfera, y tendrá libertad de movimientos para desplazarse por el entorno virtual [Skopp:2014]

Estos recursos tecnológicos no son para uso exclusivo en entornos de realidad virtual, sino que también son introducidos en entornos mixtos o de realidad aumentada. En estos casos se combina la manipulación de objetos reales con la incorporación de elementos virtuales, dejando un amplio espectro

de posibles configuraciones. Encontramos entornos no inmersivos en los que se captura mediante video la mesa de trabajo y se devuelve proyectada en una pantalla junto con estímulos virtuales [Richard:2007], [Correa:2007]. También entornos en los que se buscaba una experiencia plenamente inmersiva. En ellos se trabaja en un entorno de realidad mixta, donde el escenario, y los objetos principales son reales pero el sujeto lleva un HMD a través del cual se le muestra una imagen enriquecida virtualmente [Fidopiastis:2006].

1.3.0.4. Uso en rehabilitación cognitiva

Hoy en día existe una idea generalizada sobre el alto potencial que tecnologías como la realidad virtual o la realidad aumentada tienen para el desarrollo de soluciones aplicadas a terapias de rehabilitación motora y cognitiva. Y es que, además de heredar las ventajas del uso de las TIC anteriormente comentadas, estos entornos aportan una serie de características que correctamente modeladas podrían mejorar el proceso de rehabilitación [Klinger:2010]:

- Permiten el desarrollo y control de estímulos con alta validez ecológica, sobre contextos o escenarios familiares y con significado. Las actividades con las que se puede trabajar son cercanas a las que realizamos cotidianamente estableciendo retos similares a los que nos encontramos en nuestro día a día.
- Monitorizan el comportamiento del paciente. Permiten el registro de datos durante la ejecución que aportan información importante sobre las capacidades del paciente más allá de marcadores sencillos de resultado (puntuación, tiempos, etc.).
- Permite plantear nuevos paradigmas de intervención terapéutica. Los diferentes modos de visualización, interacción y monitorización, ofrecen nuevas oportunidades para desarrollar nuevas técnicas o aplicar las que de otra forma resultaban más complicadas de llevar a cabo: intervenciones sobre el comportamiento, aprendizaje libre de errores, etc.
- Incremento de la motivación del paciente. Generado no solamente por el uso de dispositivos electrónicos e informáticos, sino porque estos entornos tienen desarrollados bajo un carácter de videojuego, desbancando la sensación de aburrimiento y repetitividad.
- Decremento del coste y riesgo de las terapias con respecto a intervenciones similares realizadas sin este tipo de tecnologías. La posibilidad de realizar intervenciones remotas, monitorizar las sesiones, hacer repeticiones con precisión y seguridad, hace la rehabilitación más accesible.

1.4. Necesidades del proceso de rehabilitación basado en entornos virtuales

Como hemos visto a lo largo del capítulo, el daño cerebral supone un cambio drástico en la vida de los pacientes que lo sufren así como de las personas de su entorno. Los déficits causados pueden limitarle en el desarrollo de hasta la más sencilla de sus actividades cotidianas. La neurorrehabilitación trata de reducir al mínimo esas limitaciones tratando de restaurar al nivel máximo posible la calidad de vida del paciente. No obstante, la naturaleza del cerebro humano hace que el proceso de rehabilitación esté lleno de matices que lo convierten en un proceso extremadamente complejo.

La incorporación de la tecnología a las terapias de rehabilitación ha permitido desarrollar nuevas metodologías de trabajo para hacer frente a las dificultades de la rehabilitación que los procesos tradicionales no logran abarcar. A pesar del gran avance realizado, todavía existen debilidades dentro del proceso de rehabilitación, como por ejemplo, la transferencia y generalización de la mejora en las habilidades cognitivas adquiridas durante la rehabilitación al día a día del paciente.

A pesar de que las cualidades de las tecnologías actuales tienen potencial suficiente para aportar nuevos beneficios al proceso de rehabilitación, existe una reticencia a su incorporación a la clínica diaria. Según datos de 2009 [Riva:2009] la tasa de penetración de la realidad virtual en centros de investigación o cuidado del comportamiento es del 0,5/1 %, y la tasa de penetración de esta misma tecnología entre los profesionales de salud dedicados a esta misma especialidad es todavía inferior, del 0,001 %.

La evidencia científica sobre la eficacia de estos tratamientos, a día de hoy es limitada, y es que no se ha podido demostrar una mejora significativa frente a otro tipo de intervención [Pietrzak:2014]. La falta de robustez científica en los experimentos realizados podría ser una de las causas que impiden la extracción de conclusiones significativas [Parsons:2013]. En esta línea, algunos autores [Giustini:2014], [Whyte:2014], [Dijkers:2014] destacan la necesidad de definir y formalizar las intervenciones realizadas y de esta forma sentar las bases necesarias para poder evaluar sus efectos y demostrar la eficacia de los tratamientos.

Un aspecto crítico para implantar de forma satisfactoria nuevas soluciones tecnológicas es la identificación de la relación objetiva entre las necesidades (en nuestro caso clínicas) reales y las cualidades y ventajas que aporta la tecnología para solucionarlas [Giustini:2014]. En esta misma línea, Riva [Riva:2009] reconoce la falta de estandarización en el uso de tecnologías como la realidad virtual, y la limitación en la personalización de los entornos según los requisitos clínicos específicos.

Parte del potencial de los entornos virtuales se encuentra en su fidelidad con las situaciones reales reproducidas. Crear un entorno de calidad que en esta línea, puede suponer un coste demasiado elevando [Riva:2009], [Klinger:2010]. La evolución hace que la tecnología sea cada vez más asequible, este hecho está promoviendo una tendencia a reutilizar y adaptar dispositivos comerciales provenientes principalmente de videojuegos para utilizarlos en rehabilitación. Hay que evitar el uso inadecuado y fuera de un control terapéutico ya que, por ejemplo, algunos entornos virtuales basados en la inmersión del usuario puedan producir incoherencias cognitivas en él, debido a que se mezclan fuentes de estímulos percibidos (los reales y los virtuales). Por ello es necesario que el uso de este tipo de dispositivos por pacientes cuyas capacidades cognitivas están mermadas de por sí, sea siempre controlado y guiado por un terapeuta [Klinger:2010].

En general, hay siempre que tener presente las características especiales de este tipo de pacientes, para evitar situaciones incontroladas o que puedan causar estrés o frustración. Por ejemplo, al tratarse de entornos con interacciones más complejas, pacientes con problemas de memoria pueden tener dificultad para recordar qué hacer o cómo hacerlo. Por ello, cobra gran importancia el uso de feedback programado que guíe al paciente durante la sesión clínica.

Del estudio de las ventajas y capacidades que aportan la tecnología, y las necesidades extraídas del análisis de la situación actual, exponemos a continuación los requisitos que debe tener un entorno virtual interactivo para soportar de forma efectiva intervenciones terapéuticas en paciente con daño cerebral:

- Sencillo. Interacciones sencillas, que reduzcan al mínimo las interacciones necesarias del paciente para lograr el objetivo establecido. Evitar combinaciones complejas que desvíen la exigencia cognitiva más allá del objetivo terapéutico planificado por el terapeuta.
- Asíncrona/Formalizada. Actividades definidas de forma clara y concisa, donde se identifiquen las oportunidades de actuación clínica y se establece de qué forma se interviene sobre el paciente en función de las posibles interacciones que realice.
- Segura. Basada en un aprendizaje libre de errores, donde se evita situaciones fuera de control y se refuerzan conocimientos en torno a experiencias de usuario positivas.
- Incentivadora. Feedback como base de este tipo de entornos. Permiten al terapeuta comunicarse con el paciente, guiarlo y motivarlo durante la ejecución de la actividad. En esencia, realizar intervenciones sobre su comportamiento en la AVD.

- Monitorizada. Capaz de registrar información objetiva sobre la ejecución y el comportamiento del paciente durante cada frente a los diferentes estímulos de la actividad.
- Sostenible. El desarrollo de los entornos debe tener un coste asumible, así como el de los dispositivos necesarios para ejecutarlo. Entornos flexibles capaces de reproducir diferentes actividades y adaptarse a las necesidades clínicas de la rehabilitación.

1.5. Justificación de la investigación

La presente tesis doctoral se enmarca dentro de la línea de investigación denominada "Ingeniería de la neurorrehabilitación" del **Grupo de Bioingeniería y Telemedicina (GBT) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM)**, en estrecha colaboración con el departamento de investigación del **Institut Guttmann**. Dentro de esta línea, la tesis se centra en la rehabilitación cognitiva, trata de mejorar la validez ecológica de los tratamientos actuales y potenciar así la transferencia a la vida real del paciente de las habilidades cognitivas recuperadas durante el proceso de rehabilitación. Fundado en 1983, el GBT tiene por objetivos la formación, la investigación y el desarrollo tecnológico en el campo de la Bioingeniería o Ingeniería Biomédica, principalmente en la aplicación de TIC a la salud. Sus líneas de investigación principales son: entornos de asistencia en la vida diaria; bioelectromagnetismo; bioinstrumentación y nanomedicina; imagen biomédica; gestión de conocimiento y data mining; tecnologías en diabetes; ingeniería de neurorrehabilitación; telemedicina y dispositivos inteligentes; y simulación, planificación y cirugía guiada por imagen.

Por otro lado, el Institut Guttmann es un hospital de referencia para el tratamiento médico-quirúrgico y la rehabilitación integral de las personas con lesión medular, DCA u otra gran discapacidad de origen neurológico, fundado en el año 1967. Su objetivo es proporcionar la mejor asistencia médico-rehabilitadora especializada de manera integral, continuada, personalizada y con el más alto nivel humano, científico y técnico. Cuenta con modernas instalaciones, un equipo formado por cerca de 400 profesionales y la experiencia de haber atendido a 17.000 pacientes, siendo considerado uno de los hospitales más avanzados del mundo en su especialidad. Una de las características fundamentales de esta línea de investigación es el abordaje interdisciplinar del problema planteado. El equipo de investigación está formado no sólo por bioingenieros del GBT, sino que también lo forma un grupo de expertos clínicos del Institut Guttmann (neuropsicólogos, rehabilitadores, fisioterapeutas y terapeutas ocupacionales, entre otros). De esta forma se pretende generar conocimiento compartido partiendo de las necesidades, ex-

pectativas, requerimientos, oportunidades tecnológicas, nuevas tecnologías en desarrollo y necesidades no cubiertas, para estimular el desarrollo de nuevas soluciones en el campo de la neurorrehabilitación.

Una vez consolidados los sistemas de rehabilitación cognitiva asistidos por ordenador, los esfuerzos de investigación se centran en incrementar la validez ecológica de las terapias actuales. La evolución tecnológica nos permite pensar en incorporar entornos virtuales interactivos al proceso de rehabilitación; no obstante, tras numerosos prototipos y desarrollos que evidencian su potencial, siguen sin alcanzar la madurez clínica suficiente para irrumpir en la rutina clínica diaria. Esta tesis doctoral trata de examinar las debilidades de este proceso de rehabilitación basado en entornos virtuales y proponer soluciones que aborden de forma íntegra dicho proceso: diseño de las estrategias de intervención, entorno virtual interactivo que implementa dicha estrategia y sistema de monitorización avanzado que permita la evaluación clínica de la sesión.

Capítulo 2

Hipótesis y Objetivos

2.1. Hipótesis de investigación

H1. El uso de metodologías para la definición y formalización de intervenciones terapéuticas basadas en actividades de vida diaria podrían ayudar a utilizar de forma óptima los entornos virtuales como herramienta dentro de procesos de rehabilitación cognitiva.

Durante los últimos años los entornos virtuales interactivos han irrumpido con fuerza en las corrientes de investigación que tratan de buscar nuevas terapias de rehabilitación. Sus características permiten reproducir actividades de vida diaria sobre las que los neuropsicólogos puedan realizar intervenciones virtuales sobre situaciones cotidianas y de forma no intrusiva y sostenible. Pese al avanzado nivel de desarrollo de las tecnologías aplicadas, y al acuerdo general de comunidad científica sobre el potencial aplicable a terapias de rehabilitación que presentan estos nuevos métodos, existe una resistencia a introducir estas terapias en la práctica clínica diaria.

Parte del potencial de estos entornos radica en el gran número de estímulos y posibilidades que componen cada actividad, no obstante, este mismo argumento hace extremadamente complejo su diseño y configuración al nivel requerido por la intervención clínica. Asimismo, comparar las intervenciones, diseminarlas o aplicar las que han diseñado otros clínicos es también una tarea complicada. El presente trabajo de investigación plantea formalizar el proceso de diseño de la AVD en torno a una metodología que guíe al neuropsicólogo durante la definición de la actividad.

H2. El vídeo interactivo es una tecnología adecuada para reproducir actividades de vida diaria en entornos virtuales interactivos sobre los que desarrollar intervenciones de rehabilitación cognitiva.

Las características del vídeo interactivo lo sitúan como una solución tecnológica competitiva para el desarrollo de estos entornos. La posibilidad de enriquecer el vídeo con elementos multimedia, el uso de interacciones sencillas o el estar basado en imagen real, permiten que el esfuerzo cognitivo a realizar por el paciente al enfrentarse a estos entornos esté en cada momento modulado por el terapeuta en base a las habilidades cognitivas del paciente y al objetivo de la sesión clínica.

H3. El registro de la atención visual aporta datos objetivos que complementan la monitorización de la ejecución de la actividad abriendo nuevas vías para la exploración y análisis de nuevas estrategias conductuales.

El uso de los entornos virtuales plantea situaciones complejas en cuanto a la gran cantidad de estímulos, interacciones y flujos de acción que puede seguir el paciente durante la ejecución de la sesión de rehabilitación. De esta forma, se hacen indispensables el uso de potentes sistemas de monitorización que ofrezcan al neuropsicólogo no solo los resultados de la sesión, si no la información sobre el contexto y condiciones en las que el paciente realizó cada una de las interacciones. En el presente trabajo proponemos la monitorización de la atención visual como herramienta de gran utilidad, no solo para la conocer las características de la sesión del paciente si no como herramienta que nos ayude a evaluar la propia actividad o incluso el entorno de rehabilitación.

2.2. Objetivos

Objetivo General Modelar y diseñar entornos virtuales interactivos para rehabilitación cognitiva de pacientes con daño cerebral.

Objetivos específicos

- O1.** Análisis crítico de los entornos virtuales interactivos en la rehabilitación cognitiva en daño cerebral
 - OE1** Analizar las ventajas de los entornos virtuales interactivos en los procesos de rehabilitación cognitiva (fortalezas).
 - OE2** Identificar las causas que mantienen a los entornos virtuales interactivos fuera de la práctica clínica actual (debilidades).
 - OE3** Identificar las oportunidades de mejora de las terapias de rehabilitación basadas en entornos virtuales interactivos.
- O2.** Modelar terapias de rehabilitación cognitiva para pacientes con daño cerebral y que serán desarrolladas sobre entornos virtuales interactivos

- OE1.** Definir un modelo de actividad de vida diaria que permita diseñar estrategias de intervención terapéutica.
 - OE2.** Desarrollar una metodología para el diseño de AVD a partir de la definición de hipótesis terapéuticas sobre el comportamiento del paciente en las distintas secuencias/situaciones que compondrán la propia actividad.
 - OE3.** Formalizar la metodología propuesta en el lenguaje de ontologías para potenciar su diseminación y uso dentro de la comunidad científica. Diseñar y desarrollar una herramienta que dé soporte a la metodología propuesta.
- O3.** Diseñar, desarrollar y validar un entorno de rehabilitación cognitiva basado en tecnologías de vídeo interactivo.
- OE1.** Definir los requisitos establecidos para los entornos virtuales interactivos y su uso en terapias de rehabilitación.
 - OE2.** Diseñar y desarrollar una prueba de concepto que utilice vídeo interactivo para implementar una AVD terapéutica dentro de un entorno virtual interactivo.
 - OE3.** Evaluar el vídeo interactivo como principal tecnología para implementar intervenciones terapéuticas basadas en AVD y ser utilizadas por pacientes con déficit cognitivo como parte de su tratamiento de rehabilitación.
- O4.** Dotar al entorno virtual interactivo con un sistema de monitorización que aporte datos objetivos sobre el comportamiento del paciente durante la tarea.
- OE1.** Determinar las métricas de monitorización que aporten la información buscada en el entorno virtual y AVD desarrollados.
 - OE2.** Diseñar y desarrollar el sistema de monitorización e integrarlo con el entorno virtual basado en vídeo interactivo.
 - OE3.** Proponer formas de representación de los datos obtenidos que ofrezcan información sobre el comportamiento del paciente durante la ejecución de la actividad.

Capítulo 3

Metodología de diseño de AVD

3.1. Introducción

En los últimos años estamos ante un intenso proceso de integración y evolución de nuevas tecnologías dentro del ámbito sanitario. Sin embargo, que una tecnología haya alcanzado grandes resultados en otros campos no ofrece garantía directa de éxito en la clínica. Existen datos que inducen a pensar en la utilidad y mejora funcional que podrían aportar los tratamientos de rehabilitación cognitiva basados en el uso de entornos virtuales interactivos. No obstante, los estudios experimentales que han abordado este tema, no han alcanzado el nivel de traslación suficiente como para haber incorporado los nuevos tratamientos a la práctica clínica.

El uso eficiente de tecnología innovadora dentro de un proceso clínico, pasa por detectar las necesidades reales del mismo, así como la forma en que pueden ser cubiertas por las cualidades que aporta la investigación tecnológica [Giustini:2014]. Nadie duda de la importancia que tiene la definición exhaustiva y objetiva de tratamientos farmacológicos o quirúrgicos a la hora de evaluar su eficacia y eficiencia. En estos casos resulta relativamente sencillo identificar los elementos responsables o que evidencia la efectividad del tratamiento: estructuras químicas del medicamento, o resultados anatómicos. La formalización de procesos de rehabilitación resulta más compleja, ya que en muchas ocasiones los tratamientos están basados en la experiencia del profesional clínico. En general en muchas de las intervenciones terapéuticas realizadas, no se identifican los ingredientes activos que producen los efectos buscados por el tratamiento. Esto limita la capacidad para estudiar y diseminar los tratamientos, dar a conocerlos de forma clara, o incluso entrenar a nuevos terapeutas para que los utilicen [Whyte:2003], [Whyte:2014].

Los ingredientes del tratamiento son sus elementos observables (y por tanto

mensurables) tales como acciones, componentes de información o dispositivos que son administradas por el profesional clínico. Los tratamientos pueden contener un número infinito de ingredientes, pero solo aquellos que posean potencial terapéutico serán los considerados activos [Whyte:2014].

Los entornos virtuales interactivos están compuestos por diferentes fuentes de estímulos que introducen un alto grado de exigencia conductual para el paciente. El número de variables que pueden estar involucradas en la más simple de las actividades diarias es muy grande, y puede verse multiplicada cuando vinculamos interacciones a estos estímulos. Esto, que puede no ser relevante en un contexto de aplicación lúdica o de entretenimiento, resulta clave para el uso terapéutico de la tecnología. Es importante no visualizar los tratamientos como cajas negras sino como un conjunto de cajas anidadas (“muñecas rusas”) donde cada una de ellas puede ser desgranada y analizada en mayor detalle. Identificar cuáles son los ingredientes activos dentro del entorno puede resultar determinante para demostrar la eficacia y eficiencia de estos tratamientos [Whyte:2003].

El uso de una metodología que permita conceptualizar y formalizar programas de rehabilitación basados en AVD, puede ser clave para la explotación del potencial terapéutico de los entornos virtuales interactivos. No obstante, para poder poner en práctica este planteamiento, los profesionales clínicos requieren de potentes herramientas que les ayuden a diseñar, definir y desarrollar procedimientos de intervención terapéutica que exploten las tecnologías de las que pueden disponer en la actualidad. Sin olvidar que para poner a disposición un uso eficiente de estas tecnologías, es necesario abstraer a los expertos clínicos de la dificultad subyacente al uso de las misma [Giustini:2014], [Lange:2012].

3.2. Estado del arte

El estado del arte se orienta desde tres puntos de vista relacionados con la necesidad de representar y diseñar estrategias de intervención:

1. Personalización y configuración de las actividades de rehabilitación.
2. Representación del conocimiento implícito en las propias intervenciones.
3. Evaluación y definición de las actividades de vida diaria.

3.2.1. Personalización y creación de actividades

No existen soluciones genéricas que puedan ser utilizadas dentro del contexto de la neurorrehabilitación cognitiva. En actualidad se entiende la necesidad e importancia de la personalización de los tratamientos, de ajustar

los requisitos cognitivos de cada sesión a las necesidades de cada paciente y a su evolución, buscando de este modo la intervención más eficaz posible. Las soluciones tecnológicas más avanzadas que se encuentran implantadas en rutina clínica, son plataformas de tele-neurorrehabilitación cognitiva como GNPT [GNPT:2015], que se basan en catálogos de tareas computerizadas para trabajar funciones y subfunciones cognitivas. Esta plataforma en particular, posee una interfaz que permite al terapeuta planificar y configurar una serie de parámetros (tiempos de latencia o de exposición, números de estímulos, etc.) de cada uno de los ejercicios, adaptando así el nivel de dificultad a cada paciente [Solana:2015].

Figura 3.1: Interfaz de GNPT para planificar y visualizar las sesiones de un paciente.

Cada una de estas tareas de rehabilitación están diseñadas para trabajar específicamente sobre una función o subfunción cognitiva (atención de selectiva, atención sostenida, memoria verbal, memoria de trabajo, etc.).

En contexto de investigación, encontramos actividades más complejas como pueden ser las desarrolladas sobre entornos virtuales interactivos, que aplican este mismo concepto de personalización. Es el caso del entorno virtual desarrollado en el proyecto AGATHE [Klinger:2013], que posee interfaces que

permiten al terapeuta modificar los parámetros de configuración, gestionar las instrucciones y ayudas que recibirá el paciente durante la sesión. Se tratan de intervenciones más genéricas orientadas a trabajar Actividades de Vida Diaria.

En otro nivel de personalización, y más allá de configurar actividades predefinidas, se encuentran las plataformas de autoría que permiten la creación o adaptación de las actividades. Estas herramientas permiten el diseño y desarrollo de juegos para usuarios sin experiencia en programación. eAdventure y Alice son dos ejemplos que mencionamos ya que, a pesar de estar orientadas a otros casos de uso, han realizado algún tipo de estudio o aplicación relacionada con los déficits cognitivos.

Figura 3.2: Interfaces de usuario para la edición de juegos. eAdventure (izquierda) y Alice (derecha).

eAdventure[eAdventure:2015] es una herramienta para el desarrollo de juegos educativos 2D, con especial énfasis en juegos tipo aventuras gráficas. El editor que posee permite crear los juegos de una manera sencilla, asemejándose a la creación de una obra de teatro: primero define las escenas, inserta los personajes y elementos, y finalmente define cómo transcurrirá la acción. Ante la falta de conocimiento publicado sobre cómo diseñar juegos para personas con déficits cognitivos, realizan un estudio para aplicar eAdventure con ese fin [Torrente:2012]. Durante dicho estudio elaboran dos actividades orientadas al aprendizaje de personas con déficits cognitivos, donde destacaron las dificultades de la planificación de las posibles interacciones de este tipo de usuarios, así como de identificar y adaptar las barreras potenciales que encuentran dependiendo las características de cada individuo.

Alice [Alice:2015], un entorno de desarrollo integrado para el aprendizaje gráfico de programación basada en objetos. Está diseñado para que programadores novatos puedan crear guiones gráficos (storyboards) y juegos a través de métodos sencillos del tipo “drag-and-drop” y modelos 3D. Realizan un estudio experimental [Proffitt:2012], donde ponen la herramienta en manos de un terapeuta ocupacional sin experiencia en programación para que desarrolle juegos para personas con ictus. La experiencia del estudio desvela a Alice

como una herramienta que podría llegar a ser útil con ese objetivo pero necesitaría adaptarse al uso por profesionales clínicos: ser más eficiente, con módulos predefinidos, más sencilla y con asistencia técnica humana.

Por otro lado, NeuroVR2 [NeuroVR:2015] es un software dirigido a terapeutas para potenciar el uso de la realidad virtual en psicoterapia y neurociencia asociado al estudio de la conducta, con el objetivo de estandarizar el uso de esta tecnología. La herramienta permite a un usuario tecnológicamente no experto, adaptar el contenido de 18 entornos virtuales prediseñados utilizando para ello elementos de librerías multimedia. Lo plantean como un paso intermedio entre la rehabilitación hospitalaria y el mundo real, en el que el paciente puede explorar y moverse por un entorno sin peligro ni miedo a que le ocurra algo. Ha sido utilizado para tratamientos de obesidad, alcoholismo, desordenes de ansiedad y rehabilitación cognitiva [Riva:2011].

Figura 3.3: Ejemplos de entornos virtuales prediseñados sobre los que se pueden componer las actividades.

3.2.2. Representación de conocimiento

Representar el proceso terapéutico a través de modelos abstractos podría ser una palanca de impulso para el desarrollo del campo de la investigación ya que el uso de estos potencia la capacidad para generalizar y concretar fenómenos empíricamente distantes. La abstracción permite la elaboración de un lenguaje compartido entre el dominio clínico, y entre el dominio clínicos y otras áreas. Las oportunidades en torno a esto son evidentes en un nivel teórico, de investigación y de práctica clínica [Gennaro:2011].

Los lenguajes y herramientas para la gestión del conocimiento, tesauros, taxonomías u ontologías, podrían ayudar a aplicar y representar conocimiento implícito en las actividades terapéuticas.

Existen proyectos, como por ejemplo “Common Data Elements” [NINDS:2009] que comenzó en 2006 con el objetivo de estandarizar la colección de datos clínicos de la comunidad neurológica para su uso en investigación, promoviendo la compartición de datos para ser comparados o utilizados en estudios cruzados y, de esta forma, transformarlos en resultados significativos. No obstante, Grove detecta la falta de intensidad/rigurosidad en la representación del

contexto de la adquisición de la información, con el objetivo de estandarizar la recuperación de los datos para potenciar su uso en investigación clínica, asistencia de decisiones, y desarrollo de la base de conocimiento [Grove:2012]. Con este objetivo, de potenciar la interoperabilidad en el dominio de la rehabilitación neuropsicológica, Grove desarrolla un modelo para la representación de conocimiento a través de la creación de una ontología de base en el dominio de la rehabilitación del TBI [Grove:2013b].

Whyte et al. [Whyte:2014], [Dijkers:2014] llevan años trabajando en el desarrollo de un sistema de clasificación de tratamientos y servicios de rehabilitación basados en sus ingredientes activos. A través del estudio de tratamientos de rehabilitación publicados en la literatura, tratan de extraer las primeras reglas y conceptos que den pie a una definición formal de estos tratamientos. Con ello pretender elaborar una taxonomía para tratamientos de rehabilitación (Rehabilitation Treatment Taxonomy (RTT)) basada en la evidencia teórica, y que repercuta en una mejor comprensión de los efectos e intervenciones de la rehabilitación actual.

3.2.3. Evaluación de Actividades de Vida Diaria

Profinteg [Anselme:2013] es una herramienta que permite la evaluación del impacto de los déficits cognitivos sobre las actividades de vida diaria en los escenarios reales del propio paciente. Está orientada para que sea utilizada por terapeutas y por los propios cuidadores de los pacientes. Se compone de dos partes: (1) cuestionario genérico sobre la capacidad de realizar de una batería de AVD; y (2) evaluación detallada de una AVD basada en el método observacional AMPS de Fisher y Jones [Fisher:2010].

Esta metodología trata de evaluar la calidad de la ejecución de las actividades de vida diaria de una persona en entornos naturales. La AVD es considerada como una cadena de acciones observables. Permitiendo identificar aquellas pequeñas acciones que componen la tarea y que suponen un obstáculo para el paciente, dificultando o incluso impidiendo que complete la AVD. Conocer estas debilidades dentro de la actividad permite al neuropsicólogo diseñar estrategias de intervención que ayuden al paciente a superar las dificultades y consiga el objetivo marcado por la actividad.

En este estado del arte se ha abordado los diferentes puntos de vista involucrados a la hora de enfrentarse al diseño de intervenciones terapéuticas: Las técnicas de configuración que se han demostrado eficaces para intervenciones basadas en el uso de tareas de rehabilitación cognitiva focalizadas en funciones y subfunciones cognitivas, pueden resultar insuficientes en entornos más complejos. Un diseño pormenorizado que permita controlar al terapeuta los detalles terapéuticos de la actividad, puede suponer un trabajo con matices demasiados tecnológicos que le suponga una barrera para su uso diario.

Modelos de abstracción pueden suponer una solución tanto a la definición como a la representación del conocimiento implícito en este tipo de intervenciones terapéuticas. No obstante, y a pesar de los trabajos realizados en años recientes, se sigue trabajando en el desarrollo de taxonomías y ontologías que resuelvan de forma más genérica las intervenciones en rehabilitación.

Métodos utilizados para la evaluación de funcionales de actividades de vida diaria, dan una idea de cómo abordar la definición de estrategias de intervención basadas en actividades de vida diaria.

3.3. Modelo de definición de AVD

El desarrollo de una metodología de trabajo que establezca las bases para explotar el potencial de los entornos virtuales interactivos, puede ser la clave para optimizar el proceso de intervención terapéutica basado en AVD. Instrumentalizar la definición y diseño de las actividades servirá para formalizar este tipo de intervenciones y por tanto estandarizar el uso de los entornos virtuales.

Como hemos visto, el éxito de este tipo de tratamientos depende de la planificación que el terapeuta haga de la sesión. Los riesgos y beneficios del uso de estas soluciones tecnológicas radican en la asistencia “virtual” que reciba el paciente ante cada una de las posibles situaciones a las que puede llegar. Por tanto, la definición de la AVD va más allá de componer un escenario virtual a partir de elementos multimedia, sino que es necesario que esté construida sobre una estrategia de intervención terapéutica. El diseño de intervenciones no presenciales y asíncronas requiere de:

- Modelar el comportamiento del paciente a través de hipótesis sobre sus reacciones ante cada una de las situaciones a las que se expone durante la actividad.
- Establecer un plan de intervención para asistir al paciente ante dichas reacciones, tratando de inducirle hacia conductas adaptativas.
- Definir el flujo de acción de la actividad que se adapte a la ejecución del paciente, y en caso de error lo guíe hasta conseguir el objetivo final.

Siguiendo un modelo de aproximaciones sucesivas [Wilson:2004], se puede definir la AVD mediante la subdivisión del objetivo principal en tantos objetivos a corto plazo como fuera necesario. La actividad queda dividida en subactividades más sencillas, compuestas por objetivos inmediatos (por ejemplo, alcanzables mediante una única interacción). Consiguiendo completar cada uno de los objetivos a corto plazo, el paciente alcanzará el objetivo general de la AVD.

Esta configuración ofrece al terapeuta la oportunidad para identificar en cada AVD las situaciones con potencial terapéutico. Esto es, aquellos puntos de la actividad que, en función del déficit cognitivo del paciente, puedan suponerle un obstáculo para completar el objetivo, siendo por tanto una oportunidad de mejora como parte de la terapia de rehabilitación. En esencia, se trata de centrar la composición de la AVD en los ingredientes activos de la misma. Es decir, identificar todos los elementos de la actividad que pueden ofrecer una oportunidad de intervención clínica, y trabajar en torno a ellos.

3.3.1. Premisas

Los neuropsicólogos ejecutan el acto clínico en base a un modelo mental basado en la combinación de conocimiento teórico y del conocimiento que se adquiere a través de la experiencia e intuición. Son las hipótesis empleadas en los modelos mentales de las que se extrae las relaciones formales que permiten representar la realidad en cuestión.

El sistema real a representar es una AVD ejecutada por el paciente y supervisada por el terapeuta, en la que este último realiza intervenciones clínicas en función del comportamiento del primero. Sin perder de vista que el objetivo final es la formalización del sistema para ser implementado en un entorno virtual y ejecutada de forma asíncrona y no presencial.

Bajo estas premisas y a partir de los requisitos que se identificaron en el primer capítulo, se puede caracterizar el sistema a representar:

- Sistema dinámico. El entorno en el que se desarrolla la AVD está formado por un gran número de elementos que se modifican durante el transcurso de la actividad. No hay que olvidar que, aunque en un contexto seguro y controlado, se trata de reproducir situaciones de la vida real.
- Sistema determinista. La no existencia de variables aleatorias puede que sea el principal requisito que debe que cumplir un sistema de rehabilitación. El entorno tiene estar bien definido, y su respuesta establecida por la entrada al mismo y por las relaciones que lo definen. El comportamiento del paciente queda modelado a través de las hipótesis basadas en el conocimiento y experiencia del terapeuta.
- Sistema discreto. Los cambios en el entorno se producirán en instantes concretos. Son las respuestas del paciente las que desencadenan los cambios en el entorno: tanto la aparición del feedback correspondiente como el desarrollo del flujo de acción de la actividad.

Es importante recalcar que el objetivo no es el de simular la ejecución de una actividad de vida diaria por un paciente (para ese caso deberíamos

trabajar como modelos estocásticos, donde la interacción del paciente se tratase como una variable aleatoria), sino el de modelar el comportamiento de éste dentro de una AVD en base al conocimiento y experiencia del experto clínico.

La noción más básica de los modelos de eventos discretos es la de estado. Un estado es una situación en la que se permanece un cierto lapso de tiempo. En cada uno de estos estados puede ocurrir un evento o acción que puede desencadenar un cambio de estado. Se corresponde con la representación de las situaciones reales, en donde se requiere de la intervención (entrada) del paciente. Cada uno de estos estados está formado por conjuntos de variables que deben ser correctamente definidas.

Llamamos eventos discretos a aquellos en los que se considera su estado solo en ciertos momentos, separados por intervalos de tiempo, sin importar lo que ocurre en el sistema entre estos momentos. Estos sistemas se consideran como una abstracción de la realidad (la realidad es un flujo continuo de sucesos/acontecimientos) ya que nos interesa enfatizar en su aspecto discreto. Los identificamos como las interacciones que esperamos del paciente en respuesta al estado ante el que se le ha expuesto.

Se plantea la definición de la AVD siguiendo un modelo basado en eventos y estados. Desde el punto de vista de la neuropsicología conductual se traduce en el modelado del comportamiento del paciente en torno al concepto de estímulo y acción. Donde la AVD se entenderá como conjuntos de estímulos que representan una situación de la vida real, ante la que se espera una acción del paciente. Tales acciones inducen cambios de un estado a otro, definiendo de esta forma las reglas del modelo de la AVD.

Con el objetivo de formalizar la definición de la AVD, y por tanto, de la estrategia de intervención terapéutica implícita en ella, se desarrolla un modelo conceptual a partir del planteamiento anteriormente dispuesto. Previo a la explicación del modelo, se presentan los elementos esenciales en el proceso de definición de la AVD: Estímulos y Acciones.

3.3.2. Modelo conceptual

3.3.2.1. Elementos de base

Las variables que componen los estados se corresponden con los Estímulos que en su conjunto definen la AVD. Entendiéndose el Estímulo como la unidad mínima de información utilizada para inducir una reacción en el paciente. No solo son Estímulos los elementos que componen los escenarios de la actividad, también lo son los textos, audios, imágenes, clips de vídeo, etc., que se utilizan para enriquecer la experiencia de usuario.

Un Estímulo queda definido por dos partes, una descriptiva, que identifica el tipo de objeto (por ejemplo, el estímulo es una puerta), y una segunda parte que añade información sobre el estado en el que se encuentra el objeto (por ejemplo, la puerta está abierta). Cada estado de estímulo puede estar asociado con un conjunto de acciones.

La Acción se vincula con el evento de entrada al estado, es decir, la interacción. Por tanto, puede ser definido como la respuesta del paciente a los estímulos mostrados. Es la acción la que da significado dentro de la AVD a la interacción que el paciente realiza con el sistema. Por ejemplo, la interacción realizada a través de un clic de ratón asociada a la acción “cerrar” cambiará el estado del estímulo “puerta” de “abierto” a “cerrado”.

Las consecuencias de una Acción en la actividad son mostradas por otro conjunto de estímulos que llamaremos Estímulos Respuesta. Estos estímulos se desencadenan por la interacción de un paciente y permiten al terapeuta dar al paciente feedback para guiar, corregir, ayudar o intervenir en su comportamiento (instrucciones más directas, destacar los estímulos importantes, mensajes de apoyo, etc.).

Además, matizando sobre la lógica de estados y eventos anteriormente expuesta, las AVD están formadas por conjuntos de Estímulos; los cambios en estos conjuntos se realizan de acuerdo con la lógica Acción y Respuesta; el cambio de un conjunto de Estímulos a otro se produce como consecuencia de la interacción del paciente.

3.3.2.2. Estructura del modelo

Para abordar la definición completa de la AVD se establece una estructura de su modelo siguiendo una jerarquía de niveles. Esta estructura permite atomizar la composición de la AVD atendiendo a los principios establecidos hasta el momento: descomposición del objetivo final siguiendo patrones de aproximaciones sucesivas, y diseño basado estímulo y acciones. Los niveles definidos son:

- AVD: Actividad de Vida Diaria
- Tarea: sub-actividades en las que se divida cada AVD.
- Estados de Tarea: situaciones que tienen que ser resueltas por el paciente para completar la Tarea.
- Trayectorias: conjuntos de estímulos, acción y estímulos respuesta que compone un Estado de Tarea.

Figura 3.4: Estructura jerárquica del modelo de AVD.

La AVD tiene un objetivo principal, por ejemplo “comprar el pan”, “vestirse”, “hacer algo de comer”, etc. Para completar las actividades es necesario realizar una serie de sub-actividades llamadas Tareas.

Una Tarea es considerada una actividad más simple que una AVD pero con identidad propia. Cada tarea está asociada a la realización de un objetivo (“salir de casa”, “llegar a la panadería”, etc.) esencial a la hora de completar con éxito la AVD. De acuerdo con el modelo de aproximaciones sucesivas cada Tarea es dividida en Estados de Tarea, segmentos de la Tarea asociados a objetivos más sencillos u objetivos a corto plazo (“apagar la TV”, “salir del salón”, “abrir el cajón”, etc.). Es el paciente a través de sus interacciones quien puede conseguir estos objetivos.

Los Estados de Tarea se definen a través de Trayectorias, lo que permite al terapeuta:

- (a) Controlar los estímulos mostrados al paciente en cada instante.
- (b) Determinar cómo el paciente interactúa con ellos.
- (c) Definir el feedback asociado a cada interacción.

Las trayectorias son utilizadas para definir la AVD de acuerdo con el comportamiento del paciente. Los neuropsicólogos establecen hipótesis sobre las reacciones del paciente a cada conjunto de estímulos, y en consecuencia, cuál será la intervención para guiarle hacia el objetivo final y complete la AVD. De esta forma, el neuropsicólogo planifica la asistencia que necesitará el paciente durante la sesión de rehabilitación en función de sus déficits cognitivos. Para hacer que la representación de la AVD sea algo manejable por el terapeuta, las trayectorias son clasificadas en función de la información que contienen. Por tanto, en función del conocimiento implícito en ellas, se consideran cuatro niveles de representación de trayectorias:

El **Primer Nivel de Representación** incluye todas las posibles interacciones que podrían ser realizadas en función de los estímulos que componen el Estado de Tarea.

El **Segundo Nivel de Representación** distingue entre las trayectorias admisibles y no admisibles. Se considera como Admisible, aquellas trayectorias definidas como correctas para alcanzar el objetivo marcado. Por otro lado, las trayectorias no admisibles se relacionan con las interacciones que impiden al paciente alcanzar el objetivo.

El **Tercer Nivel de Representación** se corresponde con las propuestas terapéuticas para la intervención clínica en el comportamiento del paciente. Esta es la selección de interacciones que podrían ayudar al paciente a alcanzar el objetivo en función de las interacciones incorrectas que se espera que haga. Por tanto, estas intervenciones permiten al neuropsicólogo establecer hipótesis sobre el comportamiento del paciente en cada una de las situaciones de la AVD. Cada ejecución del paciente servirá para evaluar la estrategia que diseñó el terapeuta, confirmando o desmintiendo las hipótesis realizadas en función de si consigue completar los objetivos que componen la AVD.

El **Cuarto Nivel de Representación** se corresponde con la ejecución del paciente. Es nivel recoge la huella/rastro del paciente a lo largo de la AVD. Es decir, sus interacciones y las intervenciones que necesitó durante la ejecución de la AVD. Por tanto, estas trayectorias representan la ejecución del paciente contrastada con las hipótesis del neuropsicólogo.

3.4. Prueba de concepto: editor de guiones terapéuticos

Como hemos visto, dotar a la AVD de una utilidad clínica y terapéutica, requiere de un minucioso trabajo por parte del neuropsicólogo. Tratándose de actividades de gran complejidad, donde el número de variables es muy elevado y por tanto las configuraciones posibles pueden transformar el proceso en una tarea inabordable. El modelo definido guía al profesional clínico por el proceso para obtener una actividad bien definida y que cumpla los requisitos necesarios para cumplir su objetivo terapéutico. No obstante, se hace necesario dotar al profesional clínico de una herramienta que le dé soporte en este proceso. En este apartado se presenta el Editor de Guiones Terapéuticos (EGT). Se trata de una herramienta software que da soporte al modelo de definición de AVD propuesto.

El guión terapéutico es el resultado obtenido de la definir la AVD de rehabilitación a través del modelo propuesto. No solamente contiene información de la parte descriptiva de la AVD, lo que concierne principalmente a detalles

de su composición, sino que recoge también la estrategia de intervención terapéutica.

El desarrollo del prototipo se ha basado en un proceso marcado por planos de diseño correspondientes al estado de evolución del propio proceso [Garrett:2010]. El salto de una a otra fase se produce con la incorporación de nueva información al plano de diseño, evolucionando desde el concepto hasta un prototipo final. Los planos que se han identificado son:

1. Definición de los objetivos del sistema y de los requisitos de usuario
2. Definición de los requisitos funcionales del sistema
3. Diseño de la arquitectura conceptual
4. Distribución de contenidos y diseño de la interacción de usuario
5. Diseño gráfico del sistema

Figura 3.5: Metodología seguida en el proceso de diseño del EGT.

Una vez identificadas las necesidades de usuario y la oportunidad de mejora dentro del proceso de rehabilitación basado en AVD, se analizan los principales requisitos y servicios que debe soportar la herramienta para implementar el modelo anteriormente descrito. Cuando son validados se comienza a realizar una primera esquematización a los módulos o partes con los que debe contar la herramienta para cubrir las necesidades definidas.

En la siguiente etapa comienza la fase de creación de la prueba de concepto. En una primera aproximación se realiza la representación básica de la interfaz

del sistema. No se enfatiza en la parte de diseño gráfico, sino que el objetivo es establecer asociaciones entre las funcionalidades y los elementos de la interfaz (layout). A partir de esta fase de diseño se trabaja sobre la generación de wireframes [Brown:2010] que permiten la producción de nuevos prototipos capaces de ser rápidamente refinados y validados atendiendo a la evaluación de los usuarios.

Los wireframes sintetizan en maquetas de la herramienta, los módulos que fueron identificados en el layout con la información y funcionalidades que deben recoger. Se desarrollan diferentes versiones de wireframes variando los niveles de abstracción y fidelidad [Brown:2010]. La abstracción medirá la especificidad del contenido que se muestra en el wireframe, mientras que la fidelidad marcará el grado de detalle de diseño gráfico e interacción que reproduce el wireframe con lo que será el prototipo final. Este proceso permite centrar la atención del usuario final, y de quien se espera que evalúe los avances del desarrollo final, en los aspectos necesarios para la evaluación y validación de la correspondiente etapa de diseño: estructura, tipo de información, funcionalidades, reglas de navegación, visualizaciones, etc.

Durante todo el proceso de diseño de la presente tesis doctoral se contó con la participación de un Comité de Expertos clínicos. Un panel de expertos, formado por 6 neuropsicólogos del Institut Guttmann, tomó parte en el estudio de necesidades y requisitos presentado, así como en la validación de las diferentes etapas del proceso.

3.4.1. Análisis de requisitos

3.4.1.1. Actor

El principal actor es un usuario con perfil clínico que, independientemente de sus conocimientos tecnológicos, necesita desarrollar un guión de una actividad de vida diaria aplicando sus conocimientos clínicos para definir la intervención terapéutica para una terapia y un paciente en particular.

3.4.1.2. Requisitos funcionales

En este apartado se presentan los requisitos funcionales definidos para la herramienta. Se destacan las principales funcionalidades que fueron identificadas de cara al diseño del EGT

Funcionalidades relacionadas con la edición del guión.

Se refiere a todas las funcionalidades necesarias para la creación y edición de la actividad: creación y configuración de tareas, estados y trayectorias.

- RF1.** Cargar un guión: el usuario será capaz de abrir un guión para examinarlo y editarlo.
- RF2.** Crear un nuevo guión: el usuario podrá crear una nueva entrada en la lista de guiones definiendo las características básicas (nombre, descripción, etc) para su posterior edición.
- RF3.** Crear una tarea: el usuario podrá crear una nueva entrada tarea dentro de un guión cargado anteriormente, para posteriormente editarlo.
- RF4.** Crear un estado: el usuario podrá añadir un nuevo estado en la tarea a un escenario para posteriormente editarlo.
- RF5.** Crear un estímulo: crear un nuevo estímulo, añadir posibles estados al estímulo, y las acciones asociadas a cada uno de ellos.
- RF6.** Configurar el estado: añadir los estímulos que formarán el estado.
- RF7.** Definir trayectoria: consiste en activar una acción a un estímulo de un determinado estado, los estímulos respuesta asociados, el flujo de acción que establece

Funcionalidades relacionadas con comunicación con el archivo.

Se trata de sintetizar en un fichero la descripción de la AVD, de forma que pueda ser procesado computacionalmente. De esta forma poder almacenarlo en una base de datos para poder recuperarlo dentro del EGT, o bien desde otra herramienta para por ejemplo implementar la actividad. Funcionalidades relacionadas con el conocimiento clínico implícito en el guión.

- RF8.** Listar los guiones almacenados: el usuario será capaz de cargar en pantalla un listado con guiones elaborados anteriormente y almacenados en la base de datos
- RF9.** Almacenar un guión: el usuario podrá guardar un guión que acaba de crear o bien que ha modificado.
- RF10.** Buscar un guión: el usuario podrá buscar mediante la utilización de palabras clave entre los guiones almacenados anteriormente. Funcionalidades relacionadas con la visualización y navegación por el Edición del guión: definir/navegar. El alto número de elementos y configuraciones hace necesario presentar la información de una forma visual y legible que se ajuste a las necesidades en cada momento.
- RF11.** Controlar el listado de los guiones: el usuario será capaz de configurar la visualización del listado de los guiones: cantidad, orden, etc.

RF12. Controlar la visualización del guión: en usuario podrá visualizar los distintos grupos de información de los que se compone cada escenario del guión:

- Metadatos y datos administrativos
- Conjunto de escenas que componen el escenario
- Conjunto de trayectorias
- Mapa resumen del escenario

Gestión de conocimiento clínico

Mantener el proceso de definición dentro de un contexto de conocimiento clínico.

RF13. Consultar evidencia clínica relacionada con una determinada situación de la AVD y asociarla a la intervención definida en el guión.

RF14. Facilitar la compartición y divulgación de los resultados en términos de evidencia clínica implícita en la AVD.

3.4.1.3. Requisitos no funcionales

Los requisitos no funcionales del sistema abordan las restricciones, limitaciones, necesidades y recomendaciones de diseño, implementación y uso. Un buen análisis y definición de estos requisitos resulta crítico para el éxito final del sistema ya que puede que aunque el sistema desarrollado cumpla las funciones exigidas no se adapte a las necesidades del contexto de uso. Facilidad de uso, accesibilidad, coste, rendimiento, son algunas de los conceptos a estudiar.

- Integración en el entorno de trabajo. Se trata de un contexto interdisciplinar donde varios profesionales clínicos pueden tomar parte en el desarrollo del guión. Se plantea por tanto un acceso web, que potencie la accesibilidad y no vincule el uso de la herramienta a un dispositivo.
- Abstraer de la complejidad de la tecnología final sobre la que se desarrollará la AVD. Acercar el proceso de definición al esquema cognitivo de personal clínico.
- Facilidad de uso. Debe tratarse de una interfaz intuitiva y de fácil manejo, evitando la necesidad de utilizar manuales e incluso requerir de ayuda técnica.

- Asistencia en la definición. Facilitar el proceso de diseño de los guiones. La granularidad que exige la metodología de diseño puede derivar en que los guiones desarrollados tomar dimensiones lo suficiente mente grandes como para poner en riesgo su manejo. Además es necesario tratar de evitar trabajos repetitivos y tediosos durante la creación de los elementos que componen la AVD.
- Escalabilidad. Con capacidad de acoplar nuevos módulos, componentes o extensiones como por ejemplo librerías o plugins, que mantengan el sistema actualizado, adaptando y resolviendo las necesidades de uso de los usuarios potenciales.
- Interoperabilidad. El guión que se obtenga como resultado del diseño clínico, tiene que ser procesado para configurar el entorno virtual que ejecutará el paciente.

3.4.2. Modelado de funcionalidades complejas

La configuración de estímulos e interacciones (definición de trayectorias) en una AVD se traducen a nivel descriptivo (de forma transparente al usuario) en la definición de una serie de reglas que establecen el comportamiento específico de la actividad (interacciones permitidas, estímulos respuesta a dichas interacciones y flujo de acción de la actividad). Los Estímulos cuyo estado tiene asociado una Acción, pueden ser activados a través de una interacción, es decir, pueden ser definidos como Trayectoria. Es por tanto, el conjunto de estímulos con potencial para definir las reglas de evolución entre los diferentes Estados los que dibujarán el mapa de acción de la actividad.

Figura 3.6: Diagrama de ejemplo de relación entre Estados, Estímulos y Trayectorias.

Con el objetivo de facilitar el proceso de definición del guión, se establecen diferentes tipos de trayectorias. De esta forma se potencia el carácter asistencial de la herramienta.

Trayectorias Simples

Son aquellas que involucran una única interacción para completar la acción. Por ejemplo, si el objetivo del Estado en que nos encontramos es abrir la puerta, la trayectoria involucrará al estímulo puerta abierta del primer estado y a la acción abrir.

Figura 3.7: Diagrama de representación de una trayectoria simple.

Trayectorias Complejas

Estas trayectorias requieren de la combinación de acciones simples para completar el objetivo del Estado.

Dentro de las trayectorias compuestas se identifican de tres tipos atendiendo a la secuencialidad de las acciones simples que la componen:

- Trayectorias Secuenciales, en las que todas las acciones simples deben seguir un orden determinado.
- Trayectorias Paralelas, en las que el orden de las acciones no influye para alcanzar el objetivo del Estado. Ver ejemplo en la Figura.
- Trayectorias Mixtas, en las que existen restricciones de secuencialidad para algunas de las acciones, y no para otras. Por ejemplo, imaginemos un Estado cuyo objetivo es “vestirse”, y los estímulos son: pantalones, camisa y jersey; habrá que ejecutar la acción de “poner” sobre cada uno de los Estímulos; indistintamente con la camisa y el pantalón pero con la condición que para poner el jersey tenemos que tener puesta la camisa.

Trayectoria de inicio / Trayectoria de fin

Figura 3.8: Diagrama de representación de una trayectoria compuesta.

Figura 3.9: Diagrama de representación de trayectoria mixta.

Figura 3.10: Diagrama de representación de las Trayectorias Inicio y Fin.

Trayectoria de Rescate

Son aquellas trayectorias asociadas a una acción errónea. Al no cumplirse el objetivo del Estado, el flujo de actividad no puede seguir hacia el siguiente Estado. Es en estos casos cuando se necesita que el terapeuta defina la asistencia que recibirá el paciente para ayudarlo a ejecutar la acción correcta. Las trayectorias rescate pasarán por tanto a un Estado réplica del Estado origen, en el que el terapeuta solamente configurará los nuevos estímulos.

En el ejemplo de la figura, los estados S1r y S1rr son los Estados asociados a las trayectorias de rescate de S1. En cada uno de ellos se ha modificado los mensajes que aparecen. En este ejemplo, al solo existir dos rescates, si se produce un error en S1rr la Tarea finalizará sin haber alcanzad el objetivo establecido.

3.4.3. Arquitectura y definición formal

En la Figura se muestra la arquitectura global del proceso de diseño de guiones terapéuticos. La estructura propuesta trata de abarcar los requisitos recogidos durante la fase anterior del proceso de diseño. Así, por ejemplo, se establece como usuario potencial de la herramienta a un profesional con perfil clínico y que no necesariamente posee conocimientos tecnológicos, quien accederá vía web al EGT con intención de crear un guión o bien consultar y/o modificar uno anteriormente creado por él mismo o cualquier otro compañero.

En el diagrama se muestra la arquitectura general de una aplicación web. La aplicación cliente del EGT estructurada a partir de los módulos funcionales

Figura 3.11: Diagrama de representación de Trayectorias de Rescate.

necesarios para cumplir las necesidades definidas. Destacan principalmente tres módulos: (1) Editor de AVD, encargado de las funcionalidades de carácter descriptivo de las actividades; (2) Editor de Trayectorias, donde se adaptaría la AVD a la estrategia de intervención terapéutica; (3) Funcionalidades relacionadas con la gestión del conocimiento clínico, tanto del aplicado en la definición de la AVD como del posible y extracción derivado de las intervenciones realizadas.

3.4.4. Diseño

En este apartado se aborda el diseño de la interfaz de usuario del EGT. Para el prototipado de la herramienta a través del desarrollo de wireframes se ha utilizado el software AxureRP en su versión 5.6 (Axure Software Solutions). Se trata de una herramienta especializada para la generación de wireframes que permite, mediante el empleo de enlaces, ventanas, botones, formularios, etc., componer prototipos navegables de la interfaz bajo diseño, de forma que ofrezca una idea de no solo el resultado visual sino también de parte de la funcionalidad.

En la primera pantalla del editor, el terapeuta se encuentra ante un listado de los guiones que se encuentran disponibles en ese momento y a los que puede acceder para examinar y editar.

Además de los diferentes controles de visualización sobre dicha lista, en la parte superior se ofrecen dos opciones:

Figura 3.12: Diagrama de la arquitectura del proceso de edición de guiones.

- Crear un nuevo guión. Al pinchar sobre esta opción aparecerá un pequeño formulario para completar los datos básicos para añadir el guión a la lista.
- Buscar un guión mediante el empleo de palabras clave. Los resultados del filtro empleados sustituyendo a la lista anterior.

Una vez que se selecciona un guión se pasa a la pantalla-formulario en la que se detallan los datos del guión seleccionado (nombre, palabras clave, descripción) pudiendo en cualquier momento ser modificados. En la parte inferior se muestran todas las tareas que componen el guión. Al igual que ocurría con el listado de guiones, en este caso también podemos seleccionar cualquiera de ellos o bien crear un nuevo y añadirlo a la lista, para posteriormente seleccionarlo y editarlo.

Seleccionada una Tarea, se mostrará la información sobre la misma. Es en este punto donde comienzan a tener valor las funcionalidades de visualización y navegación. La figura muestra diversas configuraciones para la visualización y navegación por la AVD. El usuario debe poder seleccionar la configuración

Figura 3.13: Diseño de la interfaz gráfica del EGT: Pantalla de inicio.

Figura 3.14: Diseño de la interfaz gráfica del EGT: Tareas.

de datos que desea examinar, variando entre el grado de detalle de la información mostrada, así como el modo de representación, desde texto plano a

representación gráfica.

- Propiedades y datos de la Tarea
- Listado de los Estados que componen la Tarea, así como información más relevante de los mismos: descripción, palabras clave, etc.
- Esquema de los Estados y configuración de sus componentes: Estímulos, Acciones, relación del Estado con Trayectorias ya definidas.
- Mapa de Actividad. Se trata de un esquema gráfico de los componentes de la Tarea y las Trayectorias definidas. Interactuando con los elementos se obtendrá más información a través de distintos cuadros de diálogo.

Figura 3.15: Diseño de la interfaz gráfica del EGT: navegación y visualización de los guiones.

Aunque en alguna de las visualizaciones anteriores se pueda añadir alguna nueva entrada de forma textual, a través de formularios. La configuración y creación de los Estados se realizará en el Editor Gráfico. El usuario, además de tener una visualización más amplia del guión, puede añadir nuevos elementos básicos al mismo: estímulos y trayectorias. Para ello tendrá que arrastrar los elementos que aparecen en la paleta de la derecha sobre el lienzo e interactuar con ellos. Una vez añadidos, la configuración se realizará a través de cuadros de diálogo como los de la figura.

3.4.5. El modelo como ontología

Con el objetivo de abordar con éxito los requisitos de gestión y explotación de conocimiento clínico establecidos durante el proceso de diseño, se plantea la incorporación al modelo de lenguajes de representación conocimiento. Esto permitirá el análisis de los procesos de intervención diseñados desde el dominio

Figura 3.16: Diseño de la interfaz gráfica del EGT: Editor Gráfico (izq) y formularios de configuración (derecha).

del conocimiento así como promover la compartición y reutilización de dicho conocimiento entre profesionales [Paganelli:2011].

Como parte del trabajo de la presente tesis, se representa el Modelo conceptual propuesto utilizando a través de dichos lenguajes, obteniendo como resultado una versión preliminar de una ontología en el dominio de las intervenciones terapéuticas basadas en AVD. Para su desarrollo se ha utilizado el software Protégé y OWL 2 como lenguaje de ontología. Este lenguaje es el más ampliamente utilizado como estándar de representación y compartición del conocimiento, además es parte de las recomendaciones W3C (World Wide Web Consortium) [Mcguiness:2004] en relación a la web semántica.

La adaptación a las directrices establecidas por estos lenguajes implica la incorporación a la estructura conceptual algunos nuevos elementos como por ejemplo ‘Leap’, que representa el evento que implica un cambio en el flujo de la actividad, o ‘Interacción’, que representa el medio utilizado por el paciente para interactuar con la actividad. Así como de la definición de las propiedades necesarias para establecer las relaciones según el modelo propuesto. Como se muestra en la Figura 3.17, las clases de la ontología y sus relaciones se organizan en torno a dos niveles de representación:

- Nivel estructural, donde se representa el mapa de la AVD. Es una descripción formalizada de los elementos de la actividad y las relaciones que existen entre ellos.
- Nivel conceptual, donde se representa la descripción de la AVD desde la perspectiva de las relaciones terapéuticas.

En las Tablas que se presentan a continuación se detallan las clases y las

Figura 3.17: Diagrama de clases de la ontología: (a) Nivel estructural; (b) Nivel conceptual basado en Trayectorias.

propiedades o relaciones entre ellas.

Clases	Propiedades	Propiedades inversas
ADL	<i>hasTask</i>	<i>isTaskOf</i>

Table 3.1: Ontología. Clase “ADL”

En la Tabla 3.1 se muestra que ADL es la clase Actividad de Vida Diaria, por tanto dará soporte a toda la actividad. Siguiendo la estructura conceptual estará formada (*hasTask*) por Tareas.

Clases	Propiedades	Propiedades inversas
Task	<i>isDestinationTaskLeapOf</i>	<i>hasDestinationTask</i>
	<i>isOriginTaskOf</i>	<i>hasOriginTask</i>
	<i>isTaskOf</i>	<i>hasTask</i>
	<i>hasTaskState</i>	<i>isTaskStateOf</i>

Table 3.2: Ontología. Clase “Task”

La Tarea pertenece a una ADL (*isTaskOf*), estará formada por Estados (*hasTaskState*). Dentro del flujo de la actividad, las Tareas tienen un orden secuencial y están interrelacionadas por los eventos que producen el paso de una a otra. Por tanto, a lo largo de la actividad se llegará a la Tarea a través de un evento (*isDestinationTaskLeapOf*) y se saldrá de ella como consecuencia de otro (*isOriginOf*).

El Estado forma parte de una Tarea (*isTaskStateOf*), y estará compuesto por una serie de Estímulos (*hasStimulus*). Al igual que ocurre con las Tareas, los Estados forman parte de un flujo de actividad y por cada Estado será destino (*isDestinationTaskStateLeapOf*) y origen (*isOriginTaskStateOf*) de

Clases	Propiedades	Propiedades inversas
TaskState	<i>isDestinationTaskStateLeapOf</i>	<i>hasDestinationTaskState</i>
	<i>hasStimulus</i>	<i>isStimulusOf</i>
	<i>isOriginTaskStateOf</i>	<i>hasOriginTaskState</i>
	<i>hasPathway</i>	<i>isPathwayOf</i>
	<i>isTaskStateOf</i>	<i>hasTaskState</i>

Table 3.3: Ontología. Clase “TaskState”

distintos eventos de cambio. Precisamente este flujo de actividad viene marcado por cada Trayectoria (*hasPathway*) asociada al Estado, lo que le aporta además el significado clínico.

Clases	Propiedades	Propiedades inversas
Stimulus	<i>hasAction</i>	<i>isActionOf</i>
	<i>isStimulusOf</i>	<i>hasStimulus</i>
	<i>isStimulusPartOf</i>	<i>hasStimulusPart</i>
	<i>isInState</i>	<i>stimulusStateOf</i>
	<i>isAObject</i>	<i>isAStimulus</i>

Table 3.4: Ontología. Clase “Stimulus”

El elemento Estímulo pertenece a uno o varios Estados (*isStimulusOf*). El Estímulo se caracteriza el tipo de elemento (*isAObject*) y el estado en el que se encuentra dentro del Estado (*isInState*). Dependiendo de estos parámetros el Estímulo tendrá asociada una Acción (*hasAction*), y por tanto ser definido como una Trayectoria (*isStimulusPartOf*).

Es el estado en el que se encuentra el Estímulo (*stimulusStateOf*). Nótese que no se aplica estado al Estímulo Respuesta, ya que la función de este tipo de estímulo será únicamente ser mostrada y no se definirá una interacción asociada.

Clases	Propiedades	Propiedades inversas
StimulusState	<i>istimulusStateOf</i>	<i>isInState</i>

Table 3.5: Ontología. Clase “StimulusState”

Clases		Propiedades	Propiedades inversas
	Subclases		
StimulusObject		<i>isAStimulusResponse</i>	<i>isAObject</i>
		<i>isAStimulus</i>	<i>isAObject</i>
	ActionStimulus		
	ImageStimulus		
	TextStimulus		
	AudioStimulus		

Table 3.6: Ontología. Clase “StimulusObject”

Un objeto o elemento puede constituir un Estímulo (*isAStimulus*), o bien un Estímulo Respuesta (*isAStimulusRespuesta*). Las subclases definidas en la tabla se corresponden con los distintos tipos de elemento que se contemplan: acciones, imágenes, textos y audios. Estas subclases heredan las relaciones de la clase StimulusObject.

Clases	Propiedades	Propiedades inversas
StimulusResponse	<i>isResponseStimulusOf</i>	<i>hasResponseStimulus</i>
	<i>isAObject</i>	<i>isAStimulusResponse</i>
	<i>isResponseStimulusPartOf</i>	<i>hasResponseStimulusPart</i>

Table 3.7: Ontología. Clase “StimulusResponse”

Al igual que el Estímulo, el Estímulo Respuesta se define a través de un Object. Este Estímulo se mostrará como consecuencia de una acción (*isResponseStimulusOf*), y por tanto podrá ser definido dentro de una Trayectoria (*isResponseStimulusPartOf*).

Clases	Propiedades	Propiedades inversas
Action	<i>activatedBy</i>	<i>activatesAction</i>
	<i>isActionOf</i>	<i>hasAction</i>
	<i>isActionPartOf</i>	<i>hasActionPart</i>
	<i>hasResponseStimulus</i>	<i>isResponseStimulusOf</i>
	<i>triggers</i>	<i>isTriggeredBy</i>

Table 3.8: Ontología. Clase “Action”

La acción es activada por una interacción del paciente (*activatedBy*). Se asocia a un determinado Estímulo (*isActionOf*), y tiene a su vez asociado un Estímulo Respuesta (*hasResponseStimulus*) que indica la consecuencia de la propia Acción. Y como parte de la tripla de Estímulo, Acción y Estímulo Respuesta forma parte de una Trayectoria (*isActionPartOf*). La Acción será la desencadenante de un cambio en el flujo de la actividad (*triggers*).

Clases	Propiedades	Propiedades inversas
Interaction	<i>activatesAction</i>	<i>activatedBy</i>

Table 3.9: Ontología. Clase “Interaction”

La Interacción dota de significado a la comunicación del paciente con la actividad. Esta entrada de datos en el sistema se vincula a una Acción de la actividad (*activatesAction*).

La clase Leap representa el evento de cambio que se puede dar entre Estados (*TaskStateLeap*) o entre Tareas (*TaskLeap*). Este evento será producido por la ejecución de una Acción durante la actividad (*isTriggeredBy*). El cambio en el flujo de actividad representa un salto entre un Estado (*hasOriginTaskState*)

Clases		Propiedades	Propiedades inversas
	Subclases		
Leap		<i>hasDestination</i>	<i>isDestinationOf</i>
		<i>hasOrigin</i>	<i>isOriginOf</i>
		<i>isTriggeredBy</i>	<i>triggers</i>
	TaskLeap	<i>hasDestinationTask</i>	<i>isDestinationOfTaskLeap</i>
		<i>hasOriginTask</i>	<i>isOriginTaskOf</i>
	TaskStateLeap	<i>hasDestinationTaskState</i>	<i>isDestinationOfTaskStateLeap</i>
		<i>hasOriginTaskState</i>	<i>isOriginTaskStateOf</i>

Table 3.10: Ontología. Clase “Leap”

Clases		Propiedades	Propiedades inversas
	Subclases		
Pathway		<i>hasActionPart</i>	<i>isActionPartOf</i>
		<i>isPathwayOf</i>	<i>hasPathway</i>
		<i>hasResponseStimulusPart</i>	<i>isResponseStimulusPartOf</i>
		<i>hasStimulusPart</i>	<i>isStimulusPartOf</i>
	Pathway1RL		
	Pathway2RL		
	Pathway3RL		
	Pathway4RL		

Table 3.11: Ontología. Clase “Pathway”

o Tarea (*hasOriginTask*) origen, y un Estado (*hasDestinationTaskState*) o Tarea (*hasDestinationTask*) destino.

La clase Trayectoria (*Pathway*) representa a la tripla formada por Estímulo (*hasStimulusPart*), Acción (*hasActionPart*) y Estímulo Respuesta (*hasResponseStimulusPart*). Además se relaciona con el Estado en el que se encuentra definido (*isPathwayOf*). Las subclases definidas se corresponden no los niveles de representación que se detallaron en apartados anteriores.

3.4.6. Prueba de concepto

El prototipo EGT resultado del proceso es una aplicación web, donde la capa del servidor de aplicaciones está implementada en PHP, concretamente basada en el framework de código libre Symfony 2.0, siguiendo la metodología de los servicios REST. La capa de servidor tiene por finalidad ser el nexo de unión entre la persistencia y la capa cliente, que implementa la mayor parte de la funcionalidad (modelo “fat client”). Por lo tanto, el lado servidor incorpora únicamente la lógica de negocio justa y necesaria para validar y almacenar los datos en la capa de persistencia.

En la capa de cliente, la interfaz está definida en HTML5 y estilizada mediante CSS3. Mientras que la funcionalidad es soportada utilizando lenguaje Javascript. La capa cliente se comunica con el servidor principalmente

mediante peticiones HTTP asíncronas (AJAX).

Por tanto, la aplicación se ejecuta online a través de un explorador web. El acceso a la aplicación se realiza mediante control de usuario y contraseña. Una vez dentro de la aplicación todo lo que se realice quedará asociado a su usuario, tratando de esta forma de potenciar el trabajo colaborativo entre los distintos profesionales. Además del listado creado y de las acciones relacionadas con su manipulación (ordenar, buscar, cambiar vista, etc.) acciones básicas relacionadas con él, en esta primera pantalla será donde se cree una nueva AVD o se seleccione una ya creada.

Figura 3.18: IU Prueba de concepto. Pantalla de inicio.

La creación y definición de nuevos guiones o de tareas dentro del guión, siguen la metodología de formularios que fue detallada según los patrones de diseño.

Figura 3.19: EGT - Prueba de concepto. Formularios de creación de actividad (izq.) y tarea (derecha).

La pantalla principal del EGT es el editor de Tarea, ya que es aquí donde se concentran el mayor número de funcionalidades necesarias para definir el guión. En su parte central se sitúa un panel de trabajo en el que se muestra

una representación gráfica de los elementos que componen la Tarea. Esta representación puede ser complementada a través de paneles que recogen toda esta información de forma esquematizada, dotando de esta forma de otras opciones de búsqueda y acceso a los elementos, como se observa en la parte derecha de la figura.

Figura 3.20: EGT - Prueba de concepto. Editor de Tarea.

Cada una de las formas cuadradas de la figura, se corresponden con los Estados de la Tarea. Siendo las Trayectorias los lazos que las unen. El usuario puede arrastrar, mover, clicar e incluso eliminar estos elementos; así como incorporar nuevos a la Tarea. Tanto la creación de un nuevo elemento como la configuración de uno ya existente se realiza mediante un procedimiento guiado a través de ventanas o paneles emergentes. Por ejemplo, al clicar sobre un Estado se presentará un panel con la información relativa al mismo, y otras opciones como la de gestionar los Estímulos: crear o modificar Estímulos, sus estados y las Acciones asociadas a estos.

Para las Trayectorias se hará de forma similar, un gesto interactivo con el ratón activará un panel que asistirá para la configuración de la Trayectoria. Entre otras, se definirá a qué Acción de qué Estímulo del Estado origen se asocia, así como los Estímulos Respuesta que se mostrarán como consecuencia de la Trayectoria. Es en este punto donde se definirá también el tipo de Trayectoria. Si se trata de una de tipo complejo el usuario accederá a un editor donde configurar todos los detalles.

Hay que destacar en este punto, la importancia del carácter asistencial de la herramienta. Para creación de Trayectorias Complejas y de Rescate, a partir de la definición de los parámetros básicos, la herramienta generará de forma automática la arquitectura de la Trayectoria. En el ejemplo de la figura anterior, el usuario únicamente indicó que la Trayectoria de tipo rescate tendría dos niveles, obteniendo la estructura mostrada en la que solamente habrá que configurar otros detalles.

Figura 3.21: EGT - Prueba de concepto. Panel de gestión de Estímulos en un Estado.

Figura 3.22: EGT - Prueba de concepto: Trayectoria de tipo rescate.

Algo similar ocurre en la creación de Trayectorias Complejas donde el usuario indicará el sobre qué Acciones y Estímulos se actuará en el Estado origen. Por ejemplo, si del Estado Nevera tenemos que “coger” tres Estímulos distintos (“agua”, “jamón” y “tomate”), el asistente generará todas las posibles combinaciones dependiendo del orden en el que se realicen las tres Acciones, como se muestra en la figura. De esta forma el usuario podrá configurar como desee los parámetros distintivos en cada caso, adaptando por ejemplo las

instrucciones o el feedback que recibirá el paciente.

Figura 3.23: EGT - Prueba de concepto. Asistente de generación de Trayectorias Complejas Paralelas.

3.5. Caso de estudio

Con el objetivo de evaluar la metodología diseñada, los neuropsicólogos del Institut Guttmann siguieron las directrices establecidas por el Modelo propuesto para diseñar la AVD “Ir a comprar el pan”. NOTA: El diseño inicial se realiza durante tres sesiones de trabajo con el panel de expertos clínicos. En primera instancia, el diseño se plasma en documentos de texto y layouts realizados a mano, y posteriormente se representa gráficamente a través mindmaps mediante la herramienta software Mindjet MindManager. Una vez formalizada una primera versión de la AVD completa, se realizan otras reuniones de trabajo con los profesionales clínicos para ajustar detalles de la actividad.

La AVD reproduce los pasos que un sujeto, que inicialmente se encuentra sentado en el sofá de casa, tiene que seguir hasta comprar el pan. Siguiendo el Modelo, se identifican las Tareas que componen la AVD, definiéndose tres Tareas correspondientes con los tres diferentes escenarios por los que transcurre la actividad: “Casa”, “Calle” y “Panadería”. En las Tablas 3.12, 3.13 y 3.14 se recogen las características generales de la AVD dividida por Tareas.

Como se observa en las Tablas 3.12, 3.13 y 3.14, el objetivo de cada Tarea, se subdivide en objetivos más sencillos y alcanzables de forma más inmediata, lo que da pie a los Estados de la Tarea. Estos Estados reproducen cada uno

Tarea	Casa
Descripción general	Se diseña como un escenario de alta validez ecológica, ya que reproducirá un entorno familiar, por tanto fácilmente reconocible para el paciente, y donde habitualmente transcurren las AVD básicas de su día a día
Situación de origen	El paciente se encuentra sentado en el sofá mirando la televisión
Objetivo de la Tarea	Coger los objetos personales necesarios y salir de la casa
Objetivos por Estado	<ul style="list-style-type: none"> • Apagar la TV • Salir del salón • Ir hacia el recibidor • Abrir la cajonera • Coger llaves y cartera • Cerrar la cajonera • Salir de la casa
Tarea	Casa

Table 3.12: Resumen AVD. Tarea 1

de los pasos que podría dar una persona en su vida real para completar el objetivo de la Tarea. Cada uno de los Estados asociados a un objetivo a corto plazo presenta una serie de variantes, que se corresponden con el plan de intervención terapéutica diseñado por los neuropsicólogos. En total se definen más de 100 Estados en la AVD “ir a comprar el pan”.

La descripción del Estado de Tarea implica la definición de todos los Estímulos que se muestran al paciente durante la AVD: visuales (por ejemplo, los elementos que componen las escenas), textos o audios (instrucciones), y acciones (consecuencias de las acciones y que enlacen unos Estados con otros) En total se definen más de 150 Estímulos activos, es decir, aquellos que admiten interacción, por ejemplo, “las llaves” se pueden coger a través de una interacción con el ratón; o los botones virtuales presentados al usuario para que pueda interaccionar con un personaje o responder a una pregunta.

Asociado a las Acciones de cada uno de los Estímulos activos, se define la respuesta de la AVD si son activadas por la interacción del paciente, es

Tarea	Calle
Descripción general	La Tarea transcurre en una calle. El paciente se encuentra en un escenario dinámico con gran cantidad de estímulos, muchos de ellos en movimiento (peatones, vehículos). Se incluyen personajes con lo que se puede interactuar.
Situación de origen	El paciente sale del portal de casa y se queda parado en la calle
Objetivo de la Tarea	Llegar hasta la panadería
Objetivos por Estado	<ul style="list-style-type: none"> • Caminar hacia el paso de peatones • Cruzar la calle • Localizar la panadería • Caminar hacia la panadería • Salvar una situación distractora • Entrar en la panadería
Tarea	Casa

Table 3.13: Resumen AVD. Tarea 2

decir, se definen los Estímulo de Respuesta y la transición al próximo Estado. De esta forma quedan definidas las Trayectorias. Todos estos elementos que definen la AVD se pueden representar utilizando la terminología y propiedades definidas en el lenguaje de ontología. La Tabla 3.15 muestra un ejemplo de la AVD definida, para cada uno de las clases nivel estructural.

La definición de las Trayectorias Rescate, es decir, aquellas asociadas a las acciones que no conducen al paciente a alcanzar el objetivo de la Tarea, se realiza en base a unos criterios de diseño unificados para las tres Tareas. Las Trayectorias Rescate tendrán tres niveles, donde a se define un incremento progresivo de la intensidad de la ayuda proporcionada al paciente. De esta forma, tras cometer un error, en el primer nivel el paciente recibirá una nueva instrucción que le sugerirá cómo retomar el camino correcto de la actividad. Sucesivamente en los siguientes niveles, la instrucción será más directa, e incluso se puede limitar las interacciones que pueden apartar al paciente de ejecutar la correcta. Si a pesar de ello, y estando en el último nivel se realiza un error, se le muestra cuál era la respuesta correcta y se le lleva al siguiente Estado para que continúe a partir de ahí.

Como nota de diseño, hay que aclarar que se considera como interacción

Tarea	Panadería
Descripción general	La Tarea se desarrolla en el interior de una panadería. Plantea una situación que involucra una conducta social, en la que el paciente no solamente tiene que resolver una situación personal, sino que tiene que adaptarse a la conducta de otras personas.
Situación de origen	El paciente acaba de entrar en la panadería y se encuentra a la panadera atendiendo y más clientes esperando
Objetivo de la Tarea	Comprar el pan
Objetivos por Estado	<ul style="list-style-type: none"> • Esperar el turno mientras atienden al Cliente 1 • Esperar el turno mientras atienden al Cliente 2 • Interaccionar con la Panadera • Seleccionar el producto adecuando • Revisar el cambio de moneda
Tarea	Casa

Table 3.14: Resumen AVD. Tarea 3

una ausencia de comunicación con la actividad superior a 30 segundos. Por tanto, transcurrido este periodo de tiempo la actividad lo considera como una interacción y responde en consecuencia. No siempre se considera un error; por ejemplo, se considera acierto en el primer Estado de la Tarea 3 (“Panadería”), donde el paciente tiene que esperar su turno mientras los clientes que se encuentran delante son atendidos.

3.6. Discusión

A lo largo de este capítulo de la tesis doctoral, se presenta una metodología para modelar tratamientos de rehabilitación cognitiva de alta validez ecológica al estar basados en AVD. El procedimiento presentado formaliza el diseño de estrategias de intervención terapéutica sobre AVD. Permite a los neuropsicólogos identificar los ingredientes activos dentro de escenas que reproducen situaciones reales de nuestro día a día, y enunciar hipótesis sobre el comportamiento del paciente dentro de ellas. Este planteamiento convierte la AVD en un laboratorio virtual, donde el neuropsicólogo puede identificar comportamientos anómalos potenciales, diseñar posibles estrategias de inter-

Clase		Ejemplo
	Subclase	
ADL		Ir a comprar el pan
Task		Casa
TaskState		Salir del salón
Stimulus		Puerta del salón
StimulusState		Abierta
StimulusResponse		Feedback de apoyo 1
StimulusObject	ActionStimulus	Clip de video: saliendo del salón
	ImageStimulus	Puerta marrón
	TextStimulus	Instrucción: “Haz clic sobre la puerta para salir del salón”
	AudioStimulus	Instrucción audio
Action		Cruzar (la puerta)
Interaction		Clic de ratón sobre el Estímulo
Leap		TaskLeap Evento: Salto de Tarea Casa a Tarea Calle
TakStateLeap		Evento: Salto de Estado “Salón” a Estado “Pasillo”

Table 3.15: Ejemplo de la AVD para cada una de las clases del nivel estructural de la Ontología

vención, y definir diferentes alternativas ante la ausencia del resultado deseado cualquier conducta inadecuada, y diseñar una estrategia de intervención. Cada interacción del paciente es una representación formal de un catálogo de intervenciones terapéuticas basadas en hipótesis que serán evaluadas con cada ejecución del paciente y validadas en el caso de que el paciente consiga completar el ejercicio.

En el núcleo de la metodología se encuentra un Modelo para representar las AVD. Este modelo plantea el diseño de las AVD en base a una estructura jerarquizada por niveles. Esta estructura lleva implícita una metodología para definir las actividades que permite crear una nueva AVD o modificar una ya existente, planificando la intervención clínica necesaria para cada posible

interacción del paciente. Como resultado se obtendrá la descripción formal de la AVD independiente de la tecnología en la que será implementada.

La representación formalizada de la AVD potencia la integración de este tipo de terapias y tecnologías en la práctica clínica habitual. El modelo propuesto acerca la estructura de la actividad al esquema cognitivo del profesional clínico, lo que hace más sencilla la comprensión, aprendizaje y correcta manipulación de nuevos tratamientos. Se trata de hacer de estos nuevos tratamientos una herramienta fácil de entender y de usar, a la vez que se potencia la validez ecológica de las terapias de rehabilitación y su integración en rutina clínica.

El uso de lenguajes de representación del conocimiento dentro del ámbito de la rehabilitación cognitiva fomenta la búsqueda de nuevas estrategias de intervención terapéutica, la diseminación de nuevas terapias y la comparación entre diferentes alternativas. Por ello, se representa el Modelo propuesto como una versión preliminar de una ontología en el dominio de intervenciones terapéuticas basadas en AVD para rehabilitación cognitiva. Esto plantea el punto de partida para el desarrollo en profundidad de la ontología que además de beneficiarse de las herramientas de gestión de conocimiento de estos lenguajes formales, ayude a integrar el Modelo dentro de la comunidad científica.

Los entornos virtuales interactivos tienen un gran potencial para ser explotados en rehabilitación cognitiva. Gran parte de ese potencial radica en el alto número de parámetros y variables que se pueden configurar y ser adaptados a los perfiles cognitivos de los pacientes. No obstante, a medida que incrementan los grados de libertad, aumenta la complejidad y el esfuerzo requerido para el diseño de las actividades terapéuticas. La metodología propuesta, permite al profesional clínico acceder a estas nuevas tecnologías de gran complejidad. De esta forma, profesionales con un perfil no necesariamente tecnológico pueden aprovechar las ventajas de estas tecnologías, y que permiten explotar la propiedad intrínseca del procesamiento cognitivo para percibir información simbólica como experiencias de la vida real.

La AVD “Ir a comprar el pan” fue diseñada para evaluar la viabilidad de la Metodología propuesta para definir procedimientos de intervención terapéutica. El entorno desarrollado reproduce un conjunto de situaciones de la vida real que un sujeto que se encuentra en su casa y va a comprar el pan experimentaría en su día a día. Las escenas y las acciones realizadas reproducen las que se harían en la vida real, de forma que sean fácilmente reconocibles por el paciente. Sin embargo, la experiencia que se pretende transmitir no es la de encontrarse dentro de un simulador de realidad, ya que no se le permite interactuar libremente con el entorno. No obstante, este número limitado de interacciones no disminuye la capacidad del paciente para percibir la información como si fuera real. El reto no es simular un

entorno real (podemos explotar la propiedad intrínseca de procesamiento anteriormente mencionada) sino realizar intervenciones terapéuticas sobre las AVD de los pacientes. Controlar lo que está ocurriendo en la actividad durante en cada instante es la clave para realizar estas intervenciones terapéuticas. Con este objetivo, el neuropsicólogo define las interacciones que se permitirá al paciente realizar, y los elementos que lo estimularan. De esta forma, se podrán ajustar los requisitos cognitivos que serán exigidos al paciente a sus capacidades cognitivas.

Transformar la representación de una AVD a este nivel de detalle en una intervención terapéutica puede resultar un proceso realmente complejo. Incluso la más sencilla de las AVD que podemos realizar está compuesta por una gran cantidad de estímulos sobre los que podemos interactuar. Por tanto, y volviendo a recalcar la importancia de tener el control de la actividad en todo momento, el neuropsicólogo debe encontrar el compromiso entre la dificultad de la definición de la AVD, y el grado de realismo que debe experimentar el paciente. Dado la complejidad potencial, la definición no asistida de este tipo de AVD es inviable, lo que destaca la necesidad de herramientas software que le den soporte.

Capítulo 4

Entorno virtual de vídeo interactivo

4.1. Introducción

Como se describió en el capítulo de Introducción de esta tesis, se entiende por entorno virtual los escenarios sintetizados gráficamente que permiten simular situaciones del mundo real dentro de un marco interactivo. Son el medio tecnológico para dar soporte de forma segura y controlada a las estrategias de intervención terapéutica diseñadas por los neuropsicólogos y basadas en las actividades que el paciente realiza en su día a día.

Además de por el diseño de la AVD, las características y posibilidades finales del entorno de rehabilitación vienen determinadas por las tecnologías involucradas en el desarrollo del entorno virtual interactivo. Como ya se vio, esta influencia puede venir de la tecnología en la cual se desarrollada, los dispositivos utilizados para la visualización del entorno o los medios empleados para interactuar con el propio entorno.

Muchas de estas soluciones tecnológicas han sido desarrolladas en otras áreas, por ejemplo en el ámbito de los videojuegos, y a pesar de que algunas de ellas han demostrado tener éxito y madurez no se traduce en eficacia clínica cuando es trasladada a un entorno terapéutico. Las características cognitivas de los pacientes con daño cerebral y, por tanto, las necesidades de las terapias de rehabilitación, exigen a los entornos virtuales unos requisitos diferentes que la hacen particular frente a soluciones desarrolladas con otros fines.

El entorno virtual debe ser el medio de comunicación entre terapeuta y paciente que haga posible una intervención terapéutica asíncrona y no presencial. Se trata, por tanto, del soporte tecnológico al diseño realizado por el neuropsicólogo, que se ajusta a su estrategia terapéutica y a los requisitos cognitivos definidos.

Para ello se debe tratar de una herramienta accesible para el paciente,

que no le exija un esfuerzo cognitivo más allá del definido por los objetivos clínicos de la sesión, ni la presencia o intervención de ayuda externa distinta al feedback definido como parte de la actividad. Que reproduzca de forma natural las situaciones reales, que haga al paciente identificarlas como situaciones de su propio día a día, estimulando así la propiedad intrínseca del ser humano para procesarlas como experiencias reales.

4.2. Estado del arte

El gran avance de la tecnología ha permitido durante los últimos años trabajar con aplicaciones que requieren de un procesamiento gráfico avanzado y cuya carga computacional es muy alta, haciendo accesibles nuevas soluciones tecnológicas como por ejemplo el uso de entornos virtuales. Esto no es aplicable únicamente a los procesos de diseño y desarrollo, sino que el avance tecnológico se ve también reflejado en el lado de usuario, ya que no necesita grandes estructuras o dispositivos especialmente caros para reproducir estos entornos virtuales. Estas ventajas tecnológicas se ven reflejadas en el número de trabajos que en las dos últimas décadas se han incorporado a la literatura científica sobre entornos virtuales con propósitos clínicos.

Concretamente, este apartado se centra en aquellos entornos virtuales interactivos desarrollados con el objetivo de reproducir situaciones de la vida real para ser utilizados como herramienta en terapias de rehabilitación cognitiva. Por tanto, y a pesar de su importancia, no se han incluido, aquellas soluciones basadas en realidad virtual y/o serious games que en la actualidad son ya soluciones comerciales tales como Rehabcom, GNPT, Gesturtek, etc.

La revisión de los trabajos se expone atendiendo a los diferentes aspectos que se consideran determinantes para definir y entender cada entorno virtual. En primer lugar se caracterizan por el tipo de actividad que implementan, ordenados a su vez por el escenario o entorno que reproducen. A continuación se analizan desde un punto de vista tecnológico, atendiendo a los aspectos que caracteriza al entorno y que le aportan identidad y lo definen entre todas las posibles combinaciones tecnológicas disponibles de cara a su implementación.

4.2.1. Clasificación por AVD

En este apartado se recogen los entornos virtuales que han sido diseñados para la realización de tareas funcionales específicas. Aunque son actividades concretas, dependiendo de los entornos su objetivo varía entre el entrenamiento para desarrollar habilidades específicas para desarrollar la tarea en la vida real, o bien lo que se persigue es evaluar o trabajar las funciones cognitivas dentro de la actividad implementada.

4.2.1.1. Tareas funcionales específicas

“Making a Hot Drink”

La tarea consiste en la preparación de una bebida caliente. Desarrollan dos versiones del entorno, una completamente virtual y otra dentro de un entorno de realidad mixta, donde se combina la visualización virtual con la manipulación de objetos tangibles. Tratan de identificar y analizar los errores que realizan los pacientes en función de su patología. Demuestran que estos errores son distintos cuando la actividad se realiza en la realidad y cuando se realiza en el entorno virtual. Tras el estudio realizado sugieren la necesidad de trabajar con actividades más genéricas y no tan específicas [Edmans:2007], [Edmans:2009].

“Route Task Learning”

Reproducen mediante un modelo virtual el barrio de una ciudad real con el objetivo de comparar conductas espaciales y de orientación entre ambos entornos. Desarrollan cinco ejercicios distintos para evaluar la memoria y la representación espacial inducida por los entornos. Aunque en general los resultados indican la no influencia del entorno (real o virtual), en alguno de los ejercicios se observan ciertos detalles en favor del entorno real [Sorita:2013].

Figura 4.1: Escenario real (izquierda) y su representación en el modelo virtual (derecha).

“StreetCrossing”

La tarea se centra en la acción de cruzar una calle de forma segura. En la literatura encontramos diferentes autores que trabajan sobre ella:

Implementan un entorno sencillo que representa una calle y un paso de peatones. El objetivo del paciente es decidir en qué momento es seguro cruzar en función de los estímulos que observa. En el estudio realizado no encuentra cambios significativos frente a métodos de intervención convencionales, si bien es cierto que se advierte una tendencia en favor del entorno virtual [Katz:2005].

El entorno virtual desarrollado reproduce un cruce de calles complejo correspondiente a una rotonda real de la ciudad de Valencia. Al igual que en el caso anterior, el paciente debe tomar las precauciones necesarias para cruzar de forma segura. El entorno permite regular la dificultad de la actividad controlando el número de coches o imprevistos que pueden suceder. Los resultados del estudio que realizan confirman al sistema como usable y coherente [Navarro:2013].

Este entorno presenta un escenario más amplio que en los casos anteriores. El paciente tendrá que cruzar varias calles y seguir las señales que encuentra por las calles hasta llegar a dos posibles destinos. Aunque después de unas sesiones de entrenamiento los pacientes no redujeron significativamente el número de errores que cometían, más tarde se observaron que mostraban una mejoría al cruzar las calles en su vida real [Saiano:2015].

Figura 4.2: Tarea StreetCrossing correspondientes a los entornos virtuales de Katz (izquierda), Navarro (centro), Saiano (derecha).

4.2.1.2. Escenarios virtuales complejos

Dentro de este grupo se incluyen los trabajos revisados en los que se describen entornos virtuales en los que se realiza, o podría realizarse, más de una actividad concreta.

“Virtual Library”

El entorno reproduce una biblioteca. El paciente realizará en una serie de tareas propias del entorno; por ejemplo, encender el aire acondicionado, y si estuviera roto buscar un ventilador y colocarlo. La tarea sigue un sistema de puntuación mapeado con siete componentes de las funciones ejecutivas (análisis de la tarea, generación de una estrategia, etc.). Grupos con perfiles parecidos obtienen resultados similares en las tareas realizadas virtualmente y su equivalente real, de lo que deducen que la tarea virtual es muy similar a la real. Concluyen que la validez ecológica del test como evaluador de las funciones ejecutivas es similar al de otro test tradicional, pero como la ventaja de que aporta una medida objetiva de las componentes cognitivas [Renison:2012].

“Virtual Office”

El paciente tiene que realizar durante quince minutos las tareas típicas que se pueden desarrollar en una oficina (responder correos electrónicos, imprimir documentos, etc.). Cada tarea refleja habilidades específicas de las funciones ejecutivas. Por el resultado obtenido en las tareas, se pueden distinguir distintos perfiles de pacientes, aunque no en todos los casos se obtienen diferencias significativas. Afirman que con una muestra mayor podría definir y distinguir patrones de la ejecución de la actividad de cada perfil cognitivo [Krch:2013].

Figura 4.3: Entorno de la Oficina Virtual.

“Virtual Classroom”

El entorno reproduce de forma virtual una clase de colegio y simulan los distractores a los que se enfrenta un niño. Dentro de ese contexto el niño tiene que realizar tareas sencillas relacionadas por ejemplo con colores, letras, etc. Esto se realiza en la primera versión del entorno (2001) donde el objetivo evaluar el déficit de atención e hiperactividad en niños. La segunda versión de 2006 incorpora nuevas funcionalidades para trabajar con otras funciones cognitivas, desorden de ansiedad social y un simulador para el entrenamiento de terremotos [Rizzo:2001], [Rizzo:2006].

“Virtual Kitchen”

Desarrollan un entorno de realidad mixta, combinando acciones dentro de un entorno real con la visualización virtual. El objetivo de esto es aportar a proceso de rehabilitación tradicionales la precisión y el control sobre los estímulos y ayudas que se permiten los entornos virtuales. Del estudio realizado con un único paciente, ven indicios de transferencia de habilidades a la actividad real [Fidopiastis:2006].

La Cocina Virtual TVK (Therapeutic Virtual Kitchen) fue diseñada como herramienta de evaluación para ser utilizadas en terapias con pacientes de daño

Figura 4.4: Virtual Classroom (2006).

cerebral. Se pueden configurar actividades de forma gradual, subdivididas en pequeñas tareas primarias según niveles de dificultad. Tratan de demostrar que es posible modelar computacionalmente una actividad de vida diaria, distinguiendo entre distintos tipos de errores (omisión, perseveración, de control y de acción incorrecta), aunque matizan de la dificultad de registrar y evaluar informáticamente los errores conductuales [Cao:2010].

“Virtual Supermarket”

El entorno virtual reproduce un supermercado en el que evaluar y entrenar las habilidades cognitivas de pacientes con daño cerebral a través de AVD. Los resultados que obtienen en el estudio no son significativos, aunque sí permiten confirmar la utilidad que puede tener la realidad virtual en el entrenamiento de AVD [Lee:2003].

Presentan V-STORE, un entorno que reproduce una frutería. El paciente tiene que resolver una serie de tareas ordenadas en seis niveles de dificultad. Las tareas han sido diseñadas para trabajar sobre las funciones ejecutivas, el control de la conducta, la planificación, memoria a corto plazo y la atención [Castelnuovo:2003].

El Virtual Action Planning Supermarket (VAP-S) simula un supermercado de tamaño medio donde se reproducen los productos que se pueden adquirir en la vida real. Tareas relacionadas con la AVD “hacer la compra” permiten el análisis de las capacidades de planificación y selección de estrategias del paciente. Tras el estudio realizado los autores concluyen que el entorno es una herramienta que permite identificar déficits de las funciones ejecutivas en

pacientes con daño cerebral leve o debidos al envejecimiento [Werner:2009].

El VMall es un supermercado virtual para trabajar la planificación, multitarea y la resolución de problemas dentro de la AVD de comprar. Mediante movimientos del brazo el paciente va cogiendo productos y metiéndolos al carrito. Los resultados del estudio realizado muestran una tendencia a la mejora después del tratamiento aplicado, reducción de los errores y sensación de mayor comodidad en el supermercado real. No obstante, también se observaron casos en que los resultados no fueron positivos [Rand:2009].

Virtual Environment Grocery Store (VEGS) es una plataforma para la evaluación y entrenamiento de las funciones cognitivas (atención, habilidades cognitivas especiales, memoria y funciones ejecutivas). En el entorno se reproducen pequeñas actividades relacionadas con tareas de compras que requieren principalmente la capacidad para resolver problemas. Los autores destacan el valor ecológico que aporta el entorno inmersivo, ya que consiguen estimular al paciente de forma similar a como resultaría en el mundo real [Parsons:2013].

El entorno 360° VR Supermarket reproduce un supermercado real dentro de un sistema inmersivo. La actividad consiste en comprar una serie de productos de una lista durante diferentes sesiones en las que se modifica los estímulos o ayudas recibidas. Su objetivo es el de evaluar la validez ecológica del sistema así como la capacidad para entrenar funciones cognitivas. Del estudio realizado deducen que el aprendizaje adquirido durante las sesiones de entrenamiento con el entorno va más allá de la consecuencia de repetir la lista de la compra, sino que viene dado por la integración de los estímulos verbales y visuales [Grewe:2013].

“Virtual City”

AVIRC (Ambiente Virtual Integrado para Reabilitação Cognitiva) es un entorno para el entrenamiento de proceso cognitivos como la atención y la concentración, y el enteramiento de habilidades funcionales del día a día. Simula las calles de una ciudad, casas, tiendas, bibliotecas, iglesias y un supermercado; por las que el paciente puede navegar libremente. Aunque visualizan el potencial de la realidad virtual, reconocen que en el momento de la publicación (2000) la tecnología era cara y poco madura [daCosta:2000].

CARP-VR (Computer Assisted Rehabilitation Program - Virtual Reality) reproduce una ciudad y algunos de los escenarios que se pueden encontrar en ella, como por ejemplo una casa y un supermercado. Se le pedirá al paciente que realice una serie de tareas para lo cual tendrá que planificar una estrategia de acción y ejecutarlas desplazándose por toda la ciudad virtual. El artículo recoge un prototipo de desarrollo, faltando por incorporar algunos algoritmos de gestión de dificultad e integración de los distintos entornos [Dores:2012].

El proyecto AGATHE reproduce un vecindario donde existen diferentes

escenarios virtuales (estudio, oficina de correos, supermercado, etc.). En cada uno de estos escenarios se pueden realizar distintas actividades de vida diaria (tareas de orientación, enviar una carta, hacer la compra, etc.). El terapeuta puede personalizar las tareas, modificando el nivel de dificultad o configurando los mensajes que recibirá el paciente [Klinger:2013].

RehabCity es un juego online que simula una ciudad formada por calles, aceras, comercios, aparcamientos y coches. El paciente tiene que realizar diversas tareas que requieren de la navegación por la ciudad. Trabajan en base a objetivos a corto plazo y feedback frecuente. Las tareas que desarrolla se centran en la orientación espacio-visual, atención y funciones ejecutivas [Vourvopoulos:2014].

4.2.2. Tecnologías

4.2.2.1. Tecnología de desarrollo

La realidad virtual es hasta el momento la principal tecnología de desarrollo de los entornos virtuales. Se trata de escenarios tridimensionales sintetizados gráficamente y en tiempo real por un ordenador, donde la visualización, orientación y los objetos mostrados son controlados por el usuario a través de dispositivos de entrada o sensores [Lewis:1997]. Por tanto, la amplia mayoría de trabajos publicados se realiza utilizando esta tecnología de forma íntegra.

Aunque de forma menos extendida se encuentran también entornos de realidad mixta, es decir, los que combinan elementos de realidad virtual con aspectos del mundo real. Si recordamos el continuo de virtualidad de Milgram, se correspondería con el espectro que abarca entre los entornos virtuales y reales. El objetivo de trabajar con este tipo de entornos es el de dotar de un mayor realismo a la experiencia de usuario, a partir combinar percepciones sensoriales reales y virtuales, lo que permite experimentar actividades reales con las ventajas de introducir elementos externos como por ejemplo, ayudas e instrucciones. Además de proponer un entorno seguro, que no supone un riesgo para el paciente, y monitorizado, donde sus acciones y movimientos pueden quedar registrados.

De entre las posibles combinaciones que se pueden desarrollar, en la literatura encontramos Video-capture [Weiss:2004]. Una cámara graba al paciente durante la tarea y proyecta su imagen dentro del entorno virtual. Los movimientos del usuario se son procesados sobre el mismo plano que la animación virtual. Por tanto, textos, gráficos, y sonidos, pueden responder a este movimiento en tiempo real.

Entornos virtuales donde la interacción se realiza a través del manejo de elementos reales que están sensorizados, y el entorno virtual muestra una

respuesta [Edmans:2007]. O entornos más complejos como el desarrollado por Fidopiastis [Fidopiastis:2006]. Combinan el escenario de una cocina real con su reproducción virtual, de forma que la estructura de la escena y los elementos con los que se trabaja son reales, pero el resto de elementos que completan el contexto y decorado es imagen sintética.

4.2.2.2. Dispositivos de visualización

Entre los sistemas revisados, son comunes los que utilizan una pantalla sencilla como soporte para la visualización del entorno, como son monitores LCD, televisiones o incluso la propia pantalla de un ordenador portátil [Edmans:2007], [Edmans:2009], [Katz:2005], [Navarro:2013], [Renison:2012], [Krch:2013], [Cao:2010], [Werner:2009], [Vourvopoulos:2014], [Dores:2012]. El uso de proyectores, permite visualizar el entorno en un mayor tamaño. Ajustando la distancia a la que sitúan al paciente de la imagen proyectada, algunos autores tratan de crear una sensación de mayor inmersión en el entorno [Sorita:2013],[Saiano:2015], [Rand:2009], [Klinger:2013], [daCosta:2000].

OctoVis propone una solución inmersiva a través de la combinación de 8 monitores LCD. Colocados rodeando al paciente, tratan de simular una visualización 360° del entorno [Grewe:2013]. No obstante, los entornos que apuestan por una inmersión completa, al menos en lo relativo a la visualización del entorno, utilizan dispositivos HMD. Trata de transmitir la sensación de estar dentro del entorno. La imagen se adapta a los movimientos naturales de la cabeza del paciente, por lo que le percibe la sensación de navegar dentro de él [Lee:2003], [Rizzo:2006], [Fidopiastis:2006], [daCosta:2000], [Parsons:2013].

4.2.2.3. Dispositivos de interacción

En los entornos virtuales, la interacción es el medio a través del cual el paciente transmite su voluntad al sistema, es decir, le dice cómo se comportaría en la situación que se está representando para que el entorno responda en consecuencia. En términos tecnológicos, el canal de interacción más sencillo que implementan los entornos revisados es el teclado y ratón tradicionales [Katz:2005], [Krch:2013], [Cao:2010], [Werner:2009], [Dores:2012], [Klinger:2013],[Parsons:2013].

Muchas de las actividades desarrolladas permiten, o requieren, que el paciente navegue por el entorno, se desplace e incluso investigue en los escenarios virtuales propuestos. Por ello, encontramos trabajos que utilizan como medio de interacción dispositivos provenientes de videojuegos, como joysticks [Lee:2003],[Sorita:2013],[Dores:2012] o mandos de videoconsolas adaptados [Renison:2012],[Vourvopoulos:2014].

La naturalidad es una cualidad frecuentemente buscada en la interacción

de estos sistemas. Se pretende buscar formas de comunicación con el entorno que se asemejen a los gestos o acciones que el paciente haría a la realidad, tratando de reducir el salto conceptual entre la acción física realizada y el efecto producido en el entorno. Este puede considerarse uno de los principales objetivos que trata de cubrir algunos de los sistemas de realidad mixta que veíamos anteriormente y donde la interacción se realiza directamente con objetos reales que se encuentran sensorizados [Edmans:2007][Fidopiastis:2006],[Dores:2012].

En los sistemas puramente virtuales, el carácter natural de la interacción se consigue a través de la utilización de distintos dispositivos, como por ejemplo pantallas táctiles, que se tratan de imitar la interacción a acciones como las de tocar o coger [Edmans:2009]. No obstante, cuando hablamos de interacción natural, la más extendida es aquella que se basa en la monitorización de los movimientos del paciente. Por ejemplo, los integrados en los propios HMD que traducen los movimientos del paciente en variaciones del campo de visión reproducido en el sistema [Rizzo:2006]; o aquellos que monitorizan movimientos del cuerpo a través de dispositivos como Kinect y que permiten configurar gestos del paciente con comandos de interacción [Saiano:2015][Rand:2009].

No es difícil encontrar, trabajos que combinan algunos de los sistemas de interacción expuestos. El sistema OctoVis combina las pantallas táctiles “coger” los productos, con el uso de joystick para controlar los desplazamientos y la navegación dentro del entorno [Grewe:2013]. El entorno propuesto por Navarro trabaja también con un mando tipo joystick, y el sistema de posicionamiento por infrarrojos TrackingIR4 [Navarro:2013] que traduce los giros de cabeza a izquierda y derecha en movimientos de cámara en las respectivas direcciones. O bien, la integración de este mismo tipo de mando de control con un dispositivo HMD como hace Lee en el supermercado virtual [Lee:2003], y Parsons en la segunda versión del VAPS [Parsons:2013], donde combina el HMD con el joystick y un guante sensorizado para simular los movimientos de coger los productos de las estantería.

Figura 4.5: Sistema OctoVis (izquierda). Entorno virtual de Navarro que integra el uso del joystick y el sistema TrackingIR4 (derecha).

4.3. Análisis crítico del estado del arte

Del análisis de los trabajos expuestos se extraen conclusiones comunes que pueden caracterizar los entornos virtuales revisados. La motivación y la experiencia positiva de uso de los sistemas son matices comúnmente destacados. Así como, y sin importar los resultados obtenidos en los respectivos estudios, los autores alaban el potencial de estos entornos como herramienta para evaluar y entrenar las funciones cognitivas dentro de las terapias de rehabilitación. No obstante, existe la necesidad de realizar estudios con mayor rigurosidad e intensidad (RCTs, mayores muestras, mayor cantidad de sesiones, etc.) para confirmar este potencial: evaluar la eficacia de los respectivos entornos y su valor ecológico con respecto a la transferencia y generalización de las mejoras adquiridas por los pacientes durante la terapia de rehabilitación.

Algunos autores sugieren que cuando las actividades de la rehabilitación se asemejan a situaciones reales, los resultados obtenidos son más eficaces [Jacoby:2013], [Cicerone:2006]. No obstante, a día de hoy no ha sido demostrada de forma significativa. En los trabajos revisados se encuentran algunas alusiones a la relación entre los entornos virtuales y su relación o efecto sobre la vida real de los pacientes. [Edmans:2009] detecta que los errores realizados al realizar la misma AVD (virtual y real) son distintos, por lo que se cuestiona el valor ecológico del entorno. Otros autores no encuentran mejoras en la ejecución del AVD después del tratamiento [Renison:2012]. En contraposición se encuentran los trabajos que destacan que algunos pacientes han reportado ciertas mejoras en su funcionalidad al realizar actividades similares a las que fueron entrenadas. Por ejemplo en las tareas de “cruzar la calle” [Sorita:2013], [Saiano:2015], y a pesar de que los resultados no mostraran una evolución positiva o incluso influencia en el comportamiento del paciente. Jacoby a partir del estudio RCT (Randomized Controlled Trial) realizado con el entorno VMall [Rand:2009], [Jacoby:2013] asegura que los pacientes que participaron en el estudio (tanto los que siguieron un tratamiento con el entorno virtual, como aquellos que siguieron un tratamiento tradicional y no relacionado con la AVD) fueron capaces de transferir funcionalidades mejoradas a la vida real, tanto en la actividad de comprar (donde se percibía una mayor mejora en los pacientes del tratamiento con el VMall) como en otras actividades evaluadas. Grewe [Grewe:2013] demuestran indicios de la validez ecológica y generalización del entorno virtual, aunque plantean la necesidad de estudiar en mayor profundidad para determinar la causa de los resultados obtenidos.

Los estudios realizados hasta el momento se centran en pequeñas muestras que no permiten extraer conclusiones determinantes del uso terapéutico de los entornos virtuales. Por norma general se demuestra que los pacientes experimentan una mejora en sus funciones cognitivas después de haber realizado un tratamiento basado en entornos virtuales. No obstante, esta mejora no es

significativa frente a la lograda a través de tratamientos estandarizados tradicionales [Jacoby:2013], [Pietrzak:2014]. Una publicación reciente [Faria:2015] presenta un adelanto de los resultados de un estudio RCT (Randomized Controlled Trial) donde las diferencias en la mejora del grupo de entorno virtual, y el grupo de tratamiento tradicional son significativas. No obstante, no se ha podido examinar el estudio en profundidad ya que se trata de un resumen del estudio.

Con respecto a la gran diversidad de medios de interacción y visualización encontrados. El uso de dispositivos sencillos y tradicionales no plantea dificultades reseñables. Si bien es cierto, que existe una tendencia a crear entornos que permitan la interacción natural. Estos pueden presentar ciertas dificultades en su manejo (como el uso del boli en la pantalla táctil de Edmans [Edmans:2009]), o requerir de preparación y entrenamiento previo para aprender a navegar y manejarse con el entorno; como por ejemplo con algunos de los entornos con interacciones gestuales [Saiano:2015]. Algo similar a esto último ocurre con el uso de HMD, que en ocasiones requiere de entrenamientos con entornos de adaptación antes poder trabajar con el entorno virtual de rehabilitación [Parsons:2013]. Algunos autores para evitar problemas de desequilibrios en la percepción del paciente tratan de crear sistemas semi-inmersivos a través de pantallas grandes [Sorita:2013].

De todo lo expuesto, deriva la necesidad de evaluar formalmente los entornos, de forma que permita conocer cómo afecta cada uno de los matices analizados dentro de la tarea de rehabilitación: interacciones, visualización, entorno, AVD, etc. El uso de entornos sencillos, que implementen los beneficios extraídos de los entornos virtuales revisados, pero donde no se requiera del paciente un esfuerzo cognitivo extra, pueden ayudar tanto a potenciar el diseño de estrategias de intervención terapéutica precisas, como a evaluar todos los componentes del proceso de rehabilitación.

4.4. Vídeo interactivo

4.4.1. Definición y características

En la literatura científica, y cada vez más, en nuestro día a día se pueden encontrar referencias o usos de la tecnología de Vídeo Interactivo (VI). Aunque no existe una definición consensuada, todas estas aplicaciones tratan de dar al usuario un papel activo dentro del proceso de comunicación que se establece entre el vídeo y su persona, implicándolo con la información mostrada. En este trabajo de investigación se define VI como cualquier aplicación de vídeo en la que la secuenciación y selección de la información mostrada (estímulos cognitivos) se determina por la respuesta del usuario. Por tanto,

las características principales que definen un VI son:

4.4.1.1. Estructura

Estructura no lineal. A diferencia de un vídeo convencional, las escenas que componen el VI no siguen una secuencia lineal. Su estructura se puede entender por un conjunto de escenas interrelacionadas por las posibles respuestas del usuario. De esta forma, es el propio usuario quien durante la ejecución del vídeo dibujará con sus respuestas el flujo de acción del vídeo, o lo que es lo mismo, la secuenciación de escenas que se reproducirán.

4.4.1.2. Elementos del vídeo

El vídeo queda determinado por el uso coordinado de un gran número de diferentes sistemas de símbolos (textuales, icónicos, imágenes fijas, sonoras, etc). Esto se refiere no solamente a los elementos contenidos en los fotogramas del vídeo, sino a posibles componentes que se le pueda añadir. Estos elementos pueden ser utilizados para matizar o complementar la información mostrada, así como soportar el proceso de comunicación a través de componentes de interacción.

4.4.1.3. Interacción

Esta cualidad proporciona a los usuarios la oportunidad tomar parte en el vídeo, de decidir sobre la información que se representa. La interactividad se consigue mediante la asociación de una interacción a cualquiera de los elementos que aparecen en las escenas del vídeo, quedando definido dicho elemento como zona caliente. De esta forma, el usuario interviene durante la reproducción del vídeo modificando el flujo de acción en función de la zona caliente sobre la que haya actuado. La siguiente figura recoge una secuencia de fotogramas que muestra el flujo de acción desencadenado tras la interacción con una zona caliente (el mando a distancia).

Figura 4.6: Flujo de acción del vídeo como respuesta a una interacción.

4.4.2. El vídeo interactivo en rehabilitación

Debido a la estrecha relación entre los contextos de rehabilitación y aprendizaje, conviene hacer referencia a algunos estudios realizados en este ámbito y que se pretenden evaluar el impacto del vídeo interactivo como herramienta didáctica. En ellos se evidencia el efecto positivo que tiene la interactividad sobre la adquisición de conocimientos y habilidades aplicadas, generalmente cuando se trata de interacciones sencillas que permiten adaptar la información mostrada al ritmo y evolución de aprendizaje de cada usuario [Schwan:2004], [Merkt:2011].

Ya en rehabilitación, se pueden encontrar referencias al uso del vídeo como herramienta dentro de algunos tratamientos específicos. Es el caso de las técnicas de Action Observation [Franceschini:2010], [Buccino:2014], basadas en la visualización de acciones o actividades con el fin de estimular el sistema de neuronas espejo. Se ha demostrado que esta red neuronal se activa con el aprendizaje de acciones, no solamente cuando son ejecutadas, sino también cuando se imitan, observan o cuando se visualiza o imagina su ejecución; se cree por tanto que esto potencia los mecanismos de rehabilitación. Este mecanismo de espejo no es exclusivamente propio de funciones motoras, se encuentran también en áreas relacionadas con funciones del procesamiento del lenguaje y producción del habla, o en áreas relacionadas a conductas emocionales [Sale:2012].

No es en sentido estricto de vídeo, pero sí como una composición secuencial de imágenes, el proyecto SenseCam se centra en, a través de una pequeña cámara que el paciente lleva consigo, capturar de forma automática imágenes de su día a día. De esta forma el paciente puede repasar al final del día todas las experiencias que le han ocurrido con el objetivo de mejorar su memoria en procesos de rehabilitación [Berry:2007], [Hodges:2011].

También existen referencias al uso del vídeo dentro de los entornos virtuales para rehabilitación. Por ejemplo, los entornos virtuales desarrollados a través de la plataforma NeuroVR [NeuroVR:2015] permiten que se les añada diferentes componentes multimedia, entre ellos pequeños clip de vídeo que aportan movimiento e imagen real al entorno. Tecnologías como video-capture VR [Weiss:2004] o los sistemas IREX [GestureTek:2015] son otro caso de uso del vídeo en entornos virtuales. Esta técnica captura la imagen en vídeo del paciente que está realizando la actividad, y la incorpora en tiempo real dentro del plano del entorno virtual, como un elemento más del mismo y capaz de interactuar con el resto de los elementos. El uso de la propia imagen del paciente incrementa el realismo y la experiencia inmersiva.

4.4.3. Vídeo interactivo y entornos virtuales

En esta tesis doctoral se propone el VI como tecnología para el desarrollo de entornos virtuales interactivos que reproduzcan AVD como soporte de terapias de rehabilitación cognitiva. Sus características posicionan al VI como una tecnología potencial para acercar los entornos virtuales a los requisitos deseados para una rehabilitación efectiva.

Imagen real. El uso del vídeo proporciona entornos basados en imágenes reales lo que facilitará al paciente el reconocimiento y familiarización con las situaciones que se exponen. Además, permite reproducir de forma sencilla flujos de acción continuos y naturales, similares a las que se realizan en la vida real.

Entornos controlados. La composición del entorno por escenas ayuda al neuropsicólogo a mantener una situación de control permanente. Se trata de evitar situaciones descontroladas a las que el paciente pueda llegar a través de sus propias interacciones causando situaciones de estrés. Conocer el estado concreto en el que se encuentra en cada momento el paciente, permite ajustar la ayuda que se le da y guiarle de forma precisa a lo largo de la actividad. Además, condicionar el cambio de escena a la respuesta del paciente minimiza el número de interacciones que debe realizar para conseguir un objetivo. Dicho de otra manera, permite vincular cada interacción a un objetivo terapéutico concreto.

Estos dos aspectos conceden al terapeuta la capacidad de ajustar el nivel cognitivo exigido al paciente en cada una de las situaciones o escenas que compondrán la AVD. Facilitan el identificar y definir las componentes cognitivas involucradas, evitando esfuerzos cognitivos extras al paciente. Lo cual es resulta de interés no solamente en la definición, sino también para la evaluación de la ejecución del paciente; o incluso en la valoración de la eficacia del tratamiento.

4.5. Prueba de concepto

Con el objetivo de evaluar la hipótesis que establece el vídeo interactivo como una tecnología idónea para la creación de entornos virtuales para rehabilitación cognitiva, en la tesis doctoral se ha desarrollado una prueba de concepto por la que se utiliza esta tecnología para el desarrollo de un entorno virtual interactivo. La AVD reproducida en dicho entorno es “ir a comprar el pan”, expuesta en el caso de estudio del capítulo cuarto de la presente tesis.

El prototipo se desarrolla siguiendo el guión terapéutico diseñado por los neuropsicólogos del Institut Guttmann. No obstante, la participación de los expertos clínicos está presente a lo largo del proceso de desarrollo del entorno

virtual, mediante la revisión y evaluación de las distintas versiones, incluso con la participación durante la grabación de algunas escenas del vídeo.

4.5.1. Escenarios

El entorno virtual reproduce tres escenarios correspondientes con las tres Tareas que componen la AVD: “Casa”, “Calle” y “Panadería”. Dentro de cada Tarea se deben de cumplir una serie de objetivos a corto plazo que ya fueron descritos en el capítulo anterior. Cada uno de estos escenarios aporta a la AVD un contexto distinto de los que comúnmente encontramos en nuestro día a día:

Casa. Reproduce un escenario controlado y tranquilo, con espacios y elementos que resultan familiares ya que se trata de los que se encuentran comúnmente en cualquier hogar. Los estímulos son estáticos, responden únicamente a la interacción del paciente, ya que no existe más intervención en la acción de la Tarea que la que realiza el paciente.

Calle. En contraposición al escenario anterior, reproduce el ajetreo que se puede encontrar en una calle transitada. Por ello, se trata de un contexto complejo, donde la mayor parte de los estímulos se encuentran en constante movimiento. En este escenario se incorporan estímulos dinámicos con los que el paciente puede interactuar, como por ejemplo personajes (quiosquero, peatón y camarera), o un paso de cebra con su correspondiente semáforo que cambiará entre luz roja y verde.

Panadería. La acción se desarrolla en el interior de la panadería, donde se encuentran otros clientes, y la panadera. Reproduce la situación real que se encuentra en cualquier establecimiento. De esta forma, el paciente pasa a ser un observador de la acción de la Tarea hasta que le llega su turno.

Figura 4.7: Escenas correspondientes a cada uno de los tres escenarios por los que transcurre la AVD.

4.5.2. Escenas

Como primer paso dentro del desarrollo del entorno interactivo, se establecen las escenas de grabación a partir del guión de la ADL. Para ello, se identifican dos tipos de escenas:

Escenas de decisión. Son las correspondientes a los Estados de Tarea (TaskState) del Modelo. Estas escenas se corresponden con los instantes de la tarea que fueron definidos con potencial terapéutico, es decir, en los que se espera de una interacción del paciente y donde el entorno responderá a dicha interacción en función de la estrategia de intervención definida.

Estas escenas se graban de forma subjetiva, simulando lo que vería el sujeto que se encuentra en la misma situación. Esto trata de acercar al paciente a la situación real, tratando de que viva la actividad en primera persona.

Escenas de acción. Son las escenas que se muestran como transición entre escenas de decisión. Por norma general se identifican con los estímulos de tipo Acción, y no admiten interacción por parte del paciente. Se les puede distinguir entre dos funciones:

- Contextualizar el entorno donde se desarrolla la acción: por ejemplo los barridos de cámara o planos generales que se realizan al comienzo de las tareas, o entre algunas escenas de decisión, para situar al paciente en contexto.
- Mostrar la consecuencia de la interacción del paciente. Por lo general, cada interacción del paciente desencadenará una acción dentro de la tarea, construyendo así el flujo de acción de la actividad. Por ejemplo, para coger algún objeto o realizar algún desplazamiento dentro del escenario.

4.5.3. Estímulos

A la hora de crear el entorno virtual se distinguen dos grandes grupos de estímulos:

Intrínsecos al vídeo. Aquellos que forman parte del vídeo, y por lo tanto hay que tenerlos en cuenta durante la grabación de las escenas: elementos de los escenarios, acciones, etc.

Externos al vídeo. Se añaden a la composición de vídeo a través de un procesado informático durante el montaje del entorno: instrucciones, cuadros de diálogo, o elementos virtuales, como por ejemplo indicadores de dirección.

Para estos estímulos, se guarda una uniformidad en el diseño, manteniendo tipografía y formas. También se guarda una coherencia en la colocación y forma de los mismos, de manera que se pueda establecer una relación entre estos aspectos y su significado.

Figura 4.8: Estímulos en la una escena de la tarea “casa”: (1) Estímulos propios del vídeo (a) televisión, (b) mando a distancia, (c) puerta; y (2) Estímulos añadidos virtualmente, (a) instrucciones, (b) flechas de dirección.

4.5.4. Visualización e interacción

La sencillez es el principal requisito que se ha tenido presente durante la creación del entorno virtual en los aspectos de visualización e interacción. El objetivo es el de presentar al paciente un entorno virtual interactivo sin añadir carga cognitiva extra como consecuencia de la propia tecnología.

El entorno virtual desarrollado se reproduce sobre un navegador web, por tanto, soportado por cualquier monitor de ordenador o pantalla. En esta misma línea, no precisa de comandos complejos, se realiza a través del ratón del ratón de ordenador. Dentro de las escenas de decisión habrá definidas una serie de zonas calientes, sobre las que el usuario puede interactuar a través de un clic simple.

Durante la AVD se han identificado dos tipos distintos de zonas calientes:

Objeto interactivo. Objetos del vídeo que se han activado como zonas calientes. En la Figura se observa un ejemplo de este tipo de objetos interactivos, como al pasar el puntero por encima de la del paso de peatones, además de cambiar la forma del mismo, aparece la etiqueta con el nombre del estímulo y la acción que desencadena.

Cuadro de diálogo. Se identifica con aquellas acciones que no tienen un símbolo u objeto claramente definido, o cuando se necesita realizar una interlocución entre el entorno y el paciente, por ejemplo cuando se “habla” con un personaje como aparece en la Figura 4.9.

En ambos casos la apariencia es de un cuadro de texto con iconografía similar al resto de texto mostrados, pero que al pasar el puntero por encima cambia tanto el puntero como el color del fondo del cuadro.

Figura 4.9: Ejemplos tipos de elementos interactivos.

4.5.5. Sistema de guiado

Como parte del guión de definición de la AVD los neuropsicólogos diseñaron una estrategia de intervención que establece la forma en la que se guía al paciente a través de la actividad en función de las interacciones que realice en cada instante.

El entorno virtual implementa el diseño basado en Trayectorias de Rescate de tres niveles. Estas Trayectorias se desarrollan sobre una misma Escena de decisión, variando los mensajes o incluso limitando el número de objetos interactivos activos, para de esta forma ayudar al paciente a avanzar en el desarrollo de la Tarea.

En la Figura 4.10 se muestra un ejemplo de esta jerarquía de niveles. Con cada error que el paciente realiza en el Estado de Tarea, la instrucción será más directa. En el último nivel de ayuda, y si el paciente persevera en el error, el entorno mostrará cuál es la acción correcta y llevará al paciente hasta el siguiente Estado.

A lo largo de la AVD se encuentran algunos Estados de Tarea que no mantienen este formato de ayuda de forma estricta. Debido a sus características de estas situaciones, la estrategia de intervención fue diseñada específicamente para cada una de esas situaciones. Algunos ejemplos de estas situaciones son:

Conversaciones con personajes. En la AVD se ha introducido la intervención de algunos personajes con el objetivo de asemejar las situaciones a las que nos podemos encontrar en la vida real. Por ejemplo, en la Tarea “Calle” encontramos a un quiosquero o una peatón que pueden ayudar al paciente a encontrar la dirección correcta o incluso a cruzar la calle, respectivamente. También interviene una camarera, pero en este caso como estímulo distractor que trata de desviar la atención del objetivo de la Tarea. No obstante, en todos los casos se mantiene una estructura de ayuda progresiva por niveles, de forma que en cada intervención la intensidad de la ayuda es más directa.

Objetivo basado en el tiempo. Cuando el objetivo del Estado guarda relación con un tiempo de espera, los mensajes de ayuda no siguen estrictamente la estructura de niveles. Por ejemplo, si en la Tarea “Calle” siempre

Figura 4.10: Niveles de ayuda durante la Tarea “Panadería”.

que se intenta cruzar con el semáforo en rojo, el paciente recibe un mensaje sugiriéndole debe esperar a que esté en verde. Otro caso encontramos durante la Tarea “Panadería” cuando el paciente se encuentra esperando su turno; si intenta intervenir en la acción se le sugiere mediante diferentes mensajes que tiene que esperar.

4.6. Evaluación: investigación experimental

Una vez desarrollada la Prueba de Concepto se realiza un proceso de investigación experimental, que permita evaluar, más allá de un marco teórico, las capacidades del sistema para ser utilizado como herramienta de intervención terapéutica en procesos de rehabilitación cognitiva. Este proceso se diseña inspirado en las dos primeras de las cuatro fases de investigación que definen los ensayos clínicos [Saénz:1995]. A grandes rasgos, se trata de dividir en proceso de evaluación dos etapas, correspondientes a la validación del entorno propuesto para ser utilizado por pacientes con daño cerebral, y evaluación de la experiencia de uso por usuarios potenciales. Las fases 3 y 4 que abordarían la efectividad del tratamiento quedan fuera de los objetivos del estudio que se plantea a continuación

4.6.1. Metodología de la evaluación

4.6.1.1. Fases del estudio

FASE 1

Se realiza con un grupo reducido de sujetos sanos, como paso previo a su uso con pacientes con daño cerebral. Además de sus capacidades intrínsecas del entorno de rehabilitación, se trata de evaluar la tolerabilidad al sistema, es decir, la respuesta de los sujetos ante el entorno y la actividad a la que da soporte. Esto se realiza de cara a la detección de posibles efectos adversos, o situaciones de riesgo que puedan ser contraproducentes o peligrosas de producirse durante una sesión clínica de rehabilitación.

Usabilidad y experiencia percibida por el usuario. Se trata de evaluar la respuesta del sistema durante la ejecución de sujetos que se enfrentan por primera vez al mismo. La robustez del sistema ante interacciones poco previsibles es un requisito prioritario de cara a su uso por pacientes con déficits cognitivos. De igual forma, la valoración de la experiencia por los participantes y sus impresiones al enfrentarse ante un entorno desconocido, sirve de referencia para evaluar su idoneidad de cara al uso por los usuarios objetivo, es decir, los pacientes.

Capacidad del VI para mejorar la eficacia de la ejecución de la actividad. La finalidad del uso de este tipo de entornos en rehabilitación cognitiva es la de modelar el comportamiento del paciente, tratando de evitar conductas maladaptativas y estimular una ganancia comportamental. Por ello, en esta primera fase es necesario evaluar la capacidad de la tecnología para influir sobre el comportamiento de los sujetos durante la ejecución de la AVD, a través de una estrategia de intervención previamente diseñada.

FASE 2

Estudio de validación preclínica del entorno virtual de vídeo interactivo. Se realiza un ensayo de aplicación terapéutica en un pequeño grupo, seleccionado y homogéneo, de pacientes. El propósito es demostrar las capacidades probadas durante la primera fase de la investigación dentro de un escenario de uso real, es decir, con pacientes que presentan déficits cognitivos como consecuencia de un daño cerebral y, por tanto, son usuarios potenciales de la herramienta de rehabilitación.

Evaluar la seguridad de su administración a corto plazo. Es importante observar el comportamiento de los pacientes ante el entorno, así como detectar posibles problemas de adaptación a su uso. El ensayo con pacientes reales permite evaluar la robustez de la respuesta del entorno, independientemente de cómo de previsibles sean las interacciones realizadas por el paciente.

A través de esta fase del estudio se obtienen descriptores comparativos

con otro grupo de población sin déficits cognitivos. Esta comparación permite evaluar la capacidad para diferenciar comportamientos normales y patológicos dentro de la actividad desarrollada en el entorno.

4.6.1.2. Material

AVD Guiada - AVD No Guiada

Para poder evidenciar los efectos de la intervención implícita en el diseño de la AVD, se desarrolla una versión alternativa a la presentada en la Prueba de Concepto. Esta segunda actividad sigue el mismo patrón de diseño y desarrollo, a diferencia de que en ella se suprime la estrategia de intervención terapéutica. De esta forma, el sujeto se enfrenta a un entorno con las mismas posibilidades de interacción pero con mayor libertad para navegar por él, y donde no recibirá ayudas asociadas a sus interacciones. Esta versión la denominamos ADL No Guiada. Aunque se mantienen los objetivos requeridos para completar la AVD, la creación de la versión No Guiada supone la adaptación de Estímulos, Estados y Trayectorias que componen la actividad. Para poder dotar al usuario de la libertad buscada para esta versión:

1. Se excluyen los estímulos correspondientes a mensajes de guiado e instrucciones propios de la estrategia de intervención terapéutica.
2. Se descarta la estructura de Estados que constituyen el sistema de ayuda. Esto hace necesario la definición de nuevos Estados, similares a los anteriores, pero cuya configuración de Trayectorias permita navegar al usuario con libertad. Por ejemplo, retrocediendo durante la Tarea, o avanzando sin haber completado todos los objetivos (el sujeto podrá salir de la casa sin haber apagado la televisión).
3. Se elimina la restricción temporal. A diferencia de la versión Guiada, el sujeto podrá emplear tanto tiempo como requiera para completar cada Estado y, por tanto, cada Tarea y la AVD.

Con el propósito de facilitar el acceso al entorno virtual se desarrolla una interfaz de acceso adaptada al estudio planteado. Además de formalizar el registro de sujetos participantes, y de lanzar el entorno virtual, se utiliza para presentar las instrucciones previas al comienzo de la actividad. De esta forma, se homogeniza información recibida por todos los participantes de cada grupo: información sobre el funcionamiento del entorno, que recibirán todos los sujetos; y detalle de los objetivos a realizar durante la AVD, que solamente recibirán los que ejecuten la AVD No Guiada.

Usabilidad y experiencia de usuario

Con el objetivo de determinar la experiencia de usuario y facilidad de uso del

entorno de rehabilitación propuesto, se elabora un formulario que tendrá que ser completado por cada sujeto participante al finalizar ejecución de la AVD. Dicho formulario se compone por tres secciones independientes:

Datos demográficos. Edad, sexo, profesión o estudios, número de dispositivos electrónicos e interactivos empleados diariamente y frecuencia en el uso de videojuegos.

La finalidad de esta sección es poder establecer una relación entre las respuestas obtenidas en las secciones siguientes de la encuesta y las características de los sujetos, de manera que podamos analizar si determinadas opiniones sobre usabilidad se ven condicionadas por las particularidades personales o hábitos de los usuarios.

Usabilidad. Estudio de usabilidad mediante System Usability Scale (SUS) [Lewis:2009]. El SUS es uno de los cuestionarios empleados en la evaluación de la usabilidad de sistemas informáticos con mayor aceptación en la actualidad. En general, se utiliza inmediatamente después de que el usuario haya probado el sistema y genera un resultado final de valor único que representa una medida de la usabilidad del entorno global sometido a estudio. Este resultado de valor único permite discriminar de manera fiable y fácil entre diferentes sistemas evaluados mediante la escala SUS.

El cuestionario consta de diez preguntas y que se realizan inmediatamente después a la realización de la actividad, pidiendo a los encuestados que no demoren demasiado tiempo en analizar o pensar cada pregunta. Ha demostrado ser más fiable, es decir, proveer respuestas consistentes por parte de los usuarios, y capaz de detectar diferencias incluso con pequeñas muestras que otros cuestionarios comerciales o de elaboración personal.

A continuación, se detallan las preguntas de las que consta este cuestionario y que fueron presentadas a los usuarios:

- P1.** Me gustaría usar el entorno de VI con frecuencia.
- P2.** Encuentro el entorno de VI complicado.
- P3.** El entorno de VI es fácil de usar.
- P4.** Creo que necesitaría ayuda técnica para usar el entorno.
- P5.** Las diversas herramientas y funcionalidades del entorno están bien integradas.
- P6.** Pienso que el entorno tiene demasiadas inconsistencias, dando resultados que el usuario no espera después de una determinado acción.
- P7.** Creo que la mayoría de la gente aprendería a utilizar el entorno rápidamente.

P8. Creo que el uso del entorno es complicado.

P9. Me he sentido cómodo/a y seguro/a en el manejo del entorno de VI.

P10. He necesitado aprender muchas cosas antes de poder utilizar el sistema correctamente.

A pesar de tratarse de diez preguntas sencillas, los matices de las cuestiones puede hacer el test demasiado complejo para ser realizado por sujetos con deterioro cognitivo. Por ello, el test SUS se realiza durante la primera fase, y para la segunda se desarrolla un cuestionario más sencillo y con preguntas sencillas y directas sobre aspectos que se consideran importantes para el uso de entornos virtuales por pacientes.

Experiencia de usuario. En esta sección se pretende conocer aspectos subjetivos y relevantes experimentados durante la ejecución de la actividad. Consta de cinco nuevas preguntas cuyo modelo de respuesta sigue el empleado en la encuesta SUS:

P11. En general, considero la experiencia como satisfactoria

P12. Los mensajes mostrados durante la actividad eran fáciles de leer. Se leían cómodamente y se mostraban el tiempo suficiente

P13. Las situaciones que se exponen durante la actividad me resultan familiares, las identifico con las que me ocurren en mi día a día

P14. La interacción con el entorno es poco intuitiva. No sabía cómo interactuar con el entorno para realizar una acción (por ejemplo, apagar la televisión)

P15. En algunos instantes de la actividad me he sentido perdido sin saber qué hacer, alguna indicación más me hubiera ayudado

Tanto el cuestionario SUS, como el correspondiente a la experiencia de usuario, mantienen un formato de respuestas siguiendo una escala Likert. Por tanto, las opciones de respuesta son iguales en todas las preguntas, en las que el usuario debe elegir entre una de las siguientes opciones:

R1. Totalmente en desacuerdo.

R2. En desacuerdo.

R3. Indiferente.

R4. De acuerdo.

R5. Totalmente de acuerdo.

4.6.1.3. Procedimiento

El proceso de investigación experimental desarrollado en la presente tesis se compone de las dos fases expuestas anteriormente ejecutadas secuencialmente. Para su desarrollo se requiere de la participación de sujetos mayores de edad y que no hayan tenido contacto previo con la actividad y/o el entorno virtual interactivo.

En la primera fase del estudio toman parte sujetos sanos, sin déficits cognitivos reconocidos. A cada individuo se le asigna de forma aleatoria una versión de la actividad, quedando formados dos grupos, Guiados y No Guiados, que deben contener el mismo número de participantes. A cada individuo, independientemente de la versión de la actividad que ejecute, se le pide que siga las instrucciones mostradas por pantalla para, de esta forma, realizar una única vez la AVD. Por último, una vez finalizada la actividad se le pide que conteste los cuestionarios de datos demográficos, usabilidad y experiencia de usuario.

En la segunda fase del estudio participan sujetos pacientes con secuelas cognitivas que se encuentran inmersos en un proceso de rehabilitación. Con el objetivo de tener un grupo homogéneo se establecen los siguientes criterios de selección: pacientes con deterioro cognitivo que han sufrido un TCE, y que no presenten un déficit (motor, visual o de lenguaje) que les impida realizar la actividad. Cada paciente realiza la AVD Guiada, es decir, la misma versión que el correspondiente grupo de la Fase 1 del estudio. Este último grupo será utilizado como referencia comparativa para examinar los resultados de los pacientes. Por último, también contestan el cuestionario al finalizar la ejecución de la actividad. No obstante, como se comentó anteriormente, solamente consta de las secciones primera y tercera, datos demográficos y experiencia de usuario.

En el diseño y desarrollo del experimento clínico se siguen los principios éticos establecidos por la Declaración de Helsinki, de forma que cada sujeto que toma parte en el estudio está previamente de acuerdo con su participación y con el uso anónimo y científico de los datos derivados de la misma. El estudio ha sido aprobado por el comité ético del Institut Guttmann, hospital donde se llevará a cabo el mismo.

4.6.2. Resultados

En esta sección se exponen los datos relativos a la ejecución de la AVD recogidos durante las Fases 1 y 2 del estudio experimental realizado. Estos resultados atienden a los parámetros tiempo, errores y número de clics, registrados durante la realización de la actividad por parte de cada sujeto. Con el propósito de tener un valor referencia ("Ref") de estos parámetros, se

realiza una ejecución “ideal” de la AVD. De esta forma se cuantifica, a través de los registros resultantes, cómo es una ejecución eficaz de la actividad. Por tanto, el valor “Ref” establecerá una ejecución sin ningún error, empleado el tiempo mínimo por objetivo suficiente para leer las instrucciones y realizar, en función de éstas, las interacciones estrictamente necesarias para completar la AVD.

Para poder analizar los resultados a distintos nivel de detalle, se recogen por AVD, Tarea, y Objetivo. Entendiéndose Objetivo por el correspondiente a los Estados que componen la Tarea. La Tabla muestra un resumen de esta estructura aplicada a la AVD que nos ocupa:

AVD	AVD “Ir a comprar el pan”		
Tarea	T1: Casa	T2: Calle	T3: Panadería
Objetivo	O1. Apagar la TV	O1. Ir al paso de peatones	O1. Esperar turno 1
	O2. Salir del salón	O2. Cruzar la calle	O2. Esperar turno 2
	O3. Ir al recibidor	O3. Orientarse a la izquierda	O3. Seleccionar pan correcto
	O4. Coger las llaves y cartera	O4. Ir hacia la panadería	O4. Responder sobre el cambio
	O5. Salir de casa	O5. Salvar el distractor	
		O6. Entrar en la panadería	

Table 4.1: Niveles de registro de resultado

Durante la Fase 1 participan un total de 40 sujetos, repartidos a partes iguales entre los grupos Guiados, y No Guiado. La media de edad es de 27, 6 y 26,9 años, respectivamente, y existe paridad entre mujeres y hombres. 39 de los participantes tienen estudios superiores, y el 85 % posee una preparación técnica.

Para la Fase 2 se cuenta con la participación de 22 sujetos pacientes, quienes en el momento del estudio se encuentran en terapia de rehabilitación cognitiva en el Institut Guttmann de Badalona. Dos de las muestras son descartadas debido a que en ambos casos alguno de los registros no se almacenó de forma correcta. Los 20 registros estudiados se corresponden con 14 hombres y 6 mujeres, y la media de edad es de 35,2 años.

En las tablas y figuras que se exponen a continuación se recogen los resultados registrados por parámetros para cada uno de los grupos que participan en el estudio. Los datos se corresponden con la media por grupo

para los distintos niveles de la estructura de la actividad (AVD, Tarea, y Objetivo) Merece la pena destacar que el hecho de mostrar los resultados de los tres grupos dentro de las mismas tablas y figuras, se realizar únicamente para facilitar la representación y lectura de los datos; por tanto, hay que tener presente que las fases del estudio se realizaron de forma secuencial: primero la fase 1, donde se realizaron las ejecuciones por parte de los grupos No Guiado y Guiado; después el grupo de Pacientes, durante la fase 2, cuyos resultados compararemos principalmente con el grupo Guiado.

Con el fin de comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de sujetos No Guiado y sujetos Guiados, y entre este último grupo y el grupo de Pacientes, se utiliza el test no paramétrico Wilcoxon Rank Sum [Gibbons:2011]. Debido a que la muestra de cada grupo no es grande, se aplica de forma adicional un test de Bootstrap [Efron:1994][Vogt:2014]. Para ambos test se considera que la diferencia entre ambos grupos es significativa para $p < 0,05$. Conocer si las diferencias entre Guiado y No Guiado, y entre Guiados y Pacientes son significativas permite comprobar, respectivamente, la capacidad de modificar el comportamiento del sujeto, y evaluar la capacidad para diferencia entre comportamientos patológicos de aquellos que no lo son.

4.6.2.1. Tiempo

El parámetro Tiempo se refiere al periodo empleado por el sujeto para realización del evento señalado (AVD, Tarea u Objetivo). Además de los valores del parámetro tiempo, en la Tabla se añaden dos filas que aportan información estadística entre el valor de las celdas adyacentes en la columna. Indica si existe diferencia significativa entre ambos valores, considerada para $p < 0,05$ del test de Wilcoxon y test de Bootstrap. La simbología utilizada se corresponde con:

- *1 Diferencia significativa ($p < 0,05$) por test de Wilcoxon
- *2 Diferencia significativa ($p < 0,05$) por test de Bootstrap
- No existen diferencia significativa ($p > 0,05$)

Los tiempos medios empleados por los sujetos del grupo Guiado son menores que los requeridos por el grupo No Guiado para completar cada una de las Tareas, y por tanto la AVD. Si bien estas diferencias son significativas para la AVD y la primera Tarea, dependería del test que utilizado (Wilcoxon o Bootstrap) para la Tarea 2, y no lo son para la Tarea 3.

La misma tendencia ocurre si se comparan los tiempos empleados por los Pacientes y los del grupo Guiado. En este caso, sí que se encuentran diferencias significativas en todas las Tareas.

TIEMPO (s)		AVD	TAREA 1	TAREA 2	TAREA 3
Ref		324,10	72,28	80,52	171,30
Fase1	No Guiado	410,61	118,51	111,50	180,61
	Dif Estadística NG-G	*1 *2	*1 *2	- *2	- -
Fase2	Guiado	367,09	90,58	98,53	177,97
	Dif Estadística G-P	*1 *2	*1 *2	*1 *2	*1 *2
	Pacientes	514,82	171,31	148,85	194,66

Table 4.2: Tiempo medio para cada grupo por AVD y por Tarea. *1 $p < 0,05$ test Wilcoxon // *2 $p < 0,05$ test Bootstrap // - No existe diferencia significativa ($p > 0,05$)

Los boxplot de la Figura 4.11, representan los conjuntos de datos de tiempo de cada uno de los grupos para la AVD. Los boxplot por tareas se pueden consultar en el Anexo. Esta representación permite comprobar la distribución de los datos de cada grupo en torno a las medianas.

Figura 4.11: Boxplot Tiempos medios de la AVD para cada grupo.

En el análisis por objetivos se evalúa el tiempo empleado en alcanzar cada uno de los objetivos que componen cada Tarea. Este tiempo es el transcurrido desde que el sujeto llega al Estado asociado al objetivo, hasta que lo supera.

Se observa que solamente para el Objetivo 3 (“ir al receptor”), la diferencia es significativa entre los grupos Guiado y No Guiado. No obstante, en la

Tiempo(s)			Fase 1	Fase 2			
Tareas	Objetivos	Ref	No Guiado	Dif. Estad. NG-G	Guiado	Dif. Estad. G-P	Pacientes
Tarea 1	O1	2,80	9,72	- -	5,74	*1 *2	22,99
	O2	5,18	9,43	- -	9,31	*1 *2	28,00
	O3	2,32	2,43	*1 *2	2,52	*1 *2	11,45
	O4	1,37	2,15	- -	2,06	*1 *2	37,18
	O5	2,18	5,84	- -	3,35	*1 *2	9,74
Tarea 2	O1	11,01	18,89	- -	17,50	*1 *2	31,57
	O2	25,78	31,49	- -	26,75	*1 *2	34,84
	O3	6,02	13,97	- -	10,80	*1 *2	22,94
	O4	8,78	12,92	- -	9,94	*1 *2	16,66
	O5	8,50	11,17	- -	11,02	*1 *2	15,67
	O6	0,99	3,16	- -	2,66	*1 *2	7,53
Tarea 3	O1	46,11	49,38	- -	49,16	- -	51,23
	O2	55,91	56,00	- -	56,02	- -	56,02
	O3	3,55	8,56	- -	6,46	*1 *2	18,00
	O4	6,60	7,43	- -	7,22	- -	10,55

Table 4.3: Tiempo medio para cada grupo por Objetivo. *1 $p < 0,05$ test Wilcoxon // *2 $p < 0,05$ test Bootstrap // - No existe diferencia significativa ($p > 0,05$)

Figura 4.12 se observa que los tiempos empleados por los No guiados son por norma general superiores.

La diferencia es significativa en todos los objetivos de las Tareas 1 y 2 si comparamos los datos de Pacientes y Guiados. No ocurre lo mismo en la Tarea 3, y es debido a las características de la propias Tarea, donde por ejemplo en los objetivos 1 y 2 el sujeto tiene que esperar el turno, es decir, no pueden existir grandes diferencias entre los tiempos empleados. Esto último es aplicable a la comparativa entre Guiados y No Guiados.

Figura 4.12: Representación media de tiempo empleado por Objetivo.

4.6.2.2. Número de errores

Se considera un Acierto a la interacción que realizada en un Estado de Tarea lleva a la consecución del objetivo asociado a dicho Estado. Existen tres Estados a lo largo de la AVD en los que se requiere esperar y no interaccionar con ningún elemento (esperar el semáforo en rojo, o esperar el turno en la cola de la panadería), y por tanto la ausencia de interacción es lo considerado como Acierto.

En consecuencia, el Error será la interacción realizada con un Estímulo del vídeo al que se le ha asociado una acción (Estímulo activo), pero que, a diferencia del Acierto, desvía al sujeto de la consecución del objetivo del Estado de Tarea. La no actuación, o ausencia de interacción, en un Estado durante 30 segundos se considera como Error; a excepción de los tres casos mencionados anteriormente.

Debido al diseño basado en los niveles de ayuda, el sujeto nunca se dejará un objetivo por cumplir, por lo tanto la información sobre los errores realizados aportará mayor información que la de los Aciertos. Al igual que con el parámetro tiempo se detallan a los resultados por AVD, Tareas y Objetivos.

Nº ERRORES		AVD	TAREA 1	TAREA 2	TAREA 3
Ref		0,00	0,00	0,00	0,00
Fase1	No Guiado	5,25	2,00	2,25	1,00
	Dif Estadística NG-G	*1 *2	*1 *2	- *2	- -
	Guiado	2,15	0,50	1,05	0,60
Fase2	Dif Estadística G-P	*1 *2	*1 *2	*1 *2	- -
	Pacientes	8,65	3,50	3,40	1,75

Table 4.4: Número de errores cometidos en media para cada grupo por AVD y por Tarea. *1 $p < 0,05$ test Wilcoxon // *2 $p < 0,05$ test Bootstrap // - No existe diferencia significativa ($p > 0,05$)

Los Guiados realizan menos errores que el grupo de los sujetos No Guiados, siendo esta diferencia significativa en la Tarea 1, y en el número global de la AVD. Lo mismo ocurre con respecto al grupo de Pacientes, aunque en este caso la diferencia también es significativa en la Tarea 2.

Los boxplot de la Figura 4.13 ilustran estos resultados, destacando por ejemplo la distribución más concentrada del grupo Guiado frente a los otros dos grupos. Llama la atención los outliers en el grupo de Pacientes, que indican dos ejecuciones de sujetos que tuvieron durante la AVD más de 20 y más de 30 errores, respectivamente.

Figura 4.13: Boxplot Errores cometidos en media en la AVD para cada grupo.

En el análisis por objetivos se pueden identificar aquellos estados que han presentado mayor dificultad para cada grupo de sujetos. A primera vista, en la Figura destacan los objetivos 3 y 2 de las Tareas 1 y 2 respectivamente, donde el grupo No Guiado concentra mayor tasa de error. Otro aspecto a resaltar son los errores cometidos por los Pacientes durante el primer Estado.

De nuevo, la limitación en las interacciones durante los primeros objetivos de la Tarea 3 se refleja en un menor número de errores. Así, en el objetivo 2, en el que el sujeto tiene que esperar su turno, solamente puede interaccionar con un elemento, aunque ningún sujeto del estudio lo hizo. Para este caso por ejemplo, conocer el número de clics realizado, nos permite saber si la ejecución fue en todos los casos correcta, o algunos sujetos intentaron interaccionar con objetos no activos, y por lo tanto no registraron como error.

4.6.2.3. Número de clics

Este parámetro es un contador de interacciones realizadas. Debido a la definición que se realiza de Error, las interacciones fuera de estímulos activos no serán consideradas como tal, no obstante esta información es útil para conocer cómo realizó el sujeto la Tarea.

La tendencia observada entre grupos es similar a los casos anteriores. El valor referencia establece las interacciones necesarias para completar la AVD.

Se mantiene también la tendencia en el análisis por objetivos, donde

Nº Errores			Fase 1	Fase 2			
Tareas	Objetivos	Ref	No Guiado	Dif. Estad. NG-G	Guiado	Dif. Estad. G-P	Pacientes
Tarea 1	O1	0,00	0,75	--	0,45	*1 *2	1,75
	O2	0,00	0,05	--	0,00	*1 *2	0,50
	O3	0,00	1,10	*1 *2	0,00	--	0,10
	O4	0,00	0,10	--	0,00	*1 *2	0,70
	O5	0,00	0,15	--	0,00	--	0,05
Tarea 2	O1	0,00	0,15	--	0,25	--	0,80
	O2	0,00	1,20	--	0,50	--	0,80
	O3	0,00	0,60	--	0,10	*1 *2	0,80
	O4	0,00	0,15	--	0,00	*1 *2	0,35
	O5	0,00	0,15	--	0,15	--	0,40
	O6	0,00	0,00	--	0,00	*1 *2	0,25
Tarea 3	O1	0,00	0,70	--	0,75	--	0,75
	O2	0,00	0,00	--	0,00	--	0,00
	O3	0,00	0,25	--	0,60	*1 *2	0,60
	O4	0,00	0,05	--	0,40	--	0,40

Table 4.5: Número de Errores cometidos en media para cada grupo por Objetivo. *1 $p < 0,05$ test Wilcoxon // *2 $p < 0,05$ test Bootstrap // - No existe diferencia significativa ($p > 0,05$)

Figura 4.14: Representación media de errores cometidos por Objetivo.

en ambas comparativas la ejecución de los grupos No Guiados y Pacientes, emplea un mayor número de clics que el grupo de sujetos Guiados.

De nuevo, la referencia indica que todos los objetivos requieren de una única interacción para ser realizados. A excepción los objetivos 1 y 2 de la Tarea 3, y el objetivo 4 de la Tarea 1 que está compuesto por una trayectoria compuesta paralela: abrir el cajón, coger las llaves, coger la cartera (estas dos últimas acciones pueden realizarse con orden alterno) y cerrar el cajón.

Por norma general cada Estado requiere de un clic para lograr el objetivo

Nº CLICS		AVD	TAREA 1	TAREA 2	TAREA 3
Ref		17,00	9,00	6,00	2,00
Fase1	No Guiado	28,35	15,60	8,80	3,95
	Dif Estadística NG-G	*1 *2	*1 *2	--	--
	Guiado	22,35	11,00	7,45	3,90
Fase2	Dif Estadística G-P	*1 *2	*1 *2	*1 *2	--
	Pacientes	36,50	17,00	12,55	6,95

Table 4.6: Número de clics medio para cada grupo por AVD y por Tarea. . *1 $p < 0,05$ test Wilcoxon // *2 $p < 0,05$ test Bootstrap // - No existe diferencia significativa ($p > 0,05$)

Figura 4.15: Boxplot Número de clics medios de la AVD para cada grupo.

establecido. No obstante destaca el objetivo 4 formado por Trayectorias paralelas, donde para “coger las llaves y cartera”, se debe: abrir la cajonera, coger las llaves, coger la cartera (estas dos últimas acciones pueden realizarse con orden alterno) y cerrar el cajón.

4.6.2.4. Usabilidad

A continuación se exponen los valores obtenidos para la parte del estudio referida a la usabilidad. En las Tablas se muestran los resultados por pregunta

N° clics			Fase 1	Fase 2			
Tareas	Objetivos	Ref	No Guiado	Dif. Estad. NG-G	Guiado	Dif. Estad. G-P	Pacientes
Tarea 1	O1	1,00	2,70	--	1,50	*1 *2	275
	O2	1,00	1,60	--	1,65	--	3,05
	O3	1,00	3,15	*1 *2	1,00	*1 -	1,55
	O4	4,00	4,80	--	4,40	*1 *2	6,10
	O5	1,00	1,35	--	1,25	- *2	1,95
Tarea 2	O1	1,00	1,30	--	1,40	--	2,35
	O2	1,00	2,30	--	1,60	*1 *2	2,85
	O3	1,00	2,00	--	1,20	*1 *2	2,65
	O4	1,00	1,10	--	1,00	*1 -	1,80
	O5	1,00	1,10	--	1,15	--	1,35
	O6	1,00	1,00	--	1,10	--	1,10
Tarea 3	O1	0,00	0,70	--	0,75	--	1,75
	O2	0,00	0,00	--	0,05	--	0,25
	O3	1,00	1,95	*1 *2	1,30	--	1,70
	O4	1,00	1,05	--	1,15	--	1,60

Table 4.7: Número de clics medio para cada grupo por Objetivo. *1 $p < 0,05$ test Wilcoxon // *2 $p < 0,05$ test Bootstrap // - No existe diferencia significativa ($p > 0,05$)

Figura 4.16: Representación media del número de clics empleado por Objetivo.

para cada uno de los sujetos de los grupos Guiados y No Guiados (Fase 1), respectivamente. En la última columna se expresa el valor SUS correspondiente a las respuestas realizadas.

Los resultados entre de ambos grupos no presentan grandes diferencias. Analizando los resultados por pregunta conviene destacar las siguientes:

- La primera pregunta (“Me gustaría usar el entorno de VI con frecuencia”) es la que ha sacado un resultado más desfavorable. Si bien es cierto que generaba cierta controversia en algunos participantes, no quedando

Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Valor SUS
G1	4	2	5	2	5	1	5	2	5	2	87,5
G2	2	2	5	1	4	2	1	1	5	1	75
G3	4	2	4	1	4	1	5	2	4	1	85
G4	3	3	4	2	4	3	4	2	3	1	67,5
G5	1	2	4	1	4	2	4	2	3	1	70
G6	4	2	5	4	4	2	5	2	5	1	80
G7	3	2	4	2	4	2	4	2	4	1	75
G8	4	3	3	4	4	3	4	3	3	2	57,5
G9	3	1	4	1	4	1	4	1	4	1	85
G10	4	2	4	4	4	2	3	2	4	2	67,5
G11	1	2	5	1	5	1	5	1	5	1	87,5
G12	3	2	4	1	5	1	4	1	5	1	87,5
G13	5	2	4	1	4	2	4	2	4	2	80
G14	3	2	4	1	4	2	4	1	4	1	80
G15	1	2	4	2	4	1	5	2	4	1	75
G16	4	3	4	1	4	2	4	2	4	1	77,5
G17	4	2	4	2	5	1	5	1	5	1	90
G18	3	2	4	2	4	2	4	2	4	2	72,5
G19	5	2	4	2	4	2	4	2	4	2	77,5
G20	1	1	5	1	4	3	5	2	5	1	80
	3,10	2,05	4,20	1,80	4,20	1,80	4,15	1,75	4,20	1,30	77,88

Table 4.8: Puntuación por pregunta y puntuación SUS para cada sujeto Guiado

Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Valor SUS
NG1	3	2	4	1	4	2	4	2	4	1	77,5
NG2	3	2	4	2	4	2	4	2	4	2	72,5
NG3	3	2	4	3	4	2	4	2	3	2	67,5
NG4	3	2	4	4	4	2	4	2	4	1	70
NG5	4	1	5	2	4	1	4	2	5	2	85
NG6	4	3	4	1	4	2	4	2	4	1	77,5
NG7	4	4	4	2	4	3	5	2	5	1	75
NG8	2	2	4	3	4	2	4	2	4	2	67,5
NG9	3	2	4	1	4	2	4	2	5	1	80
NG10	5	2	4	2	3	2	4	2	4	1	77,5
NG11	4	5	4	2	4	1	4	2	2	2	65
NG12	4	2	4	3	4	3	4	2	3	1	70
NG13	3	2	2	1	4	2	4	2	2	1	67,5
NG14	5	1	5	2	5	2	5	1	5	1	95
NG15	5	1	5	1	5	2	5	1	4	2	92,5
NG16	4	4	2	4	5	4	2	4	4	2	47,5
NG17	3	3	5	1	4	2	4	2	4	1	77,5
NG18	4	3	4	2	5	2	5	2	5	1	82,5
NG19	3	2	4	2	4	2	4	2	4	2	72,5
NG20	4	2	5	2	5	1	2	2	5	1	82,5
	3,65	2,35	4,05	2,05	4,20	2,05	4,00	2,00	4,00	1,40	75,13

Table 4.9: Puntuación por pregunta y puntuación SUS para cada sujeto No Guiado

claro si la pregunta se refería al uso del entorno como herramienta de rehabilitación o a la tecnología de VI.

- El buen resultado de la pregunta 5 (“Las diversas herramientas y funcionalidades del entorno están bien integradas”) y la pregunta 6 (“Pienso que el entorno tiene demasiadas inconsistencias, dando resultados que el usuario no espera después de una determinada acción”), denotan

robustez del entorno y la actividad en dos niveles: a nivel tecnológico por la integración del vídeo, los elementos virtuales y la interacción en sí misma; y un segundo nivel de diseño de la AVD.

- Finalmente el resultado favorable de las preguntas 7 (“Creo que la mayoría de la gente aprendería a utilizar el entorno rápidamente”) y 10 (“He necesitado aprender muchas cosas antes de poder utilizar el sistema correctamente”) indican que los participantes no requieren conocimientos previos de uso del sistema para poder utilizarlo. Las preguntas 2 (“Encuentro el entorno de VI complicado”) y 3 (El entorno de VI es fácil de usar”) ratifican esta tendencia.

Los resultados totales de la valoración SUS del test han sido de 77,88 para el grupo de los sujetos Guiados y 75,13 para el grupo No Guiado. En la Figura se muestran por barras las puntuaciones SUS dadas por cada uno de los 40 sujetos. El valor medio global de todos los participantes en esta primera fase del estudio es de 76,5 (línea amarilla). La Figura indica los rangos de aceptabilidad de un sistema en función de su puntuación SUS [Bangor:2009]. Se observa que el sistema comienza a considerarse usable a partir de una calificación SUS de 70 (línea roja de la Figura).

Figura 4.17: Valoración SUS de los sujetos Guiados y No Guiados.

Figura 4.18: Rangos de aceptabilidad SUS.

4.6.2.5. Experiencia de usuario

De igual forma, en las siguientes Tablas se recogen las respuestas a la encuesta referente a la experiencia de usuario. En este caso nos interesan los valores medios por pregunta, recordando que el valor 5 se corresponde con “totalmente de acuerdo” y el 1 con “totalmente en desacuerdo”.

Table 4.10: Puntuaciones para el cuestionario de experiencia de usuario Grupos Guiado (izquierda) y No Guiado (derecha)

Pregunta	1	2	3	4	5
G1	5	4	4	2	3
G2	4	4	5	3	2
G3	4	4	4	2	2
G4	4	4	5	2	3
G5	3	5	5	2	3
G6	4	4	5	2	2
G7	4	4	5	2	4
G8	4	4	5	2	4
G9	4	4	5	2	4
G10	4	4	4	2	3
G11	5	5	5	1	1
G12	5	5	5	2	2
G13	5	5	4	2	2
G14	4	5	5	2	2
G15	5	5	5	2	2
G16	4	4	4	3	2
G17	5	5	5	1	1
G18	3	4	4	2	4
G19	5	4	5	2	4
G20	3	4	3	2	2
VALOR MEDIO	4,20	4,35	4,60	2,00	2,60

Pregunta	1	2	3	4	5
NG1	4	5	4	2	4
NG2	4	5	4	4	4
NG3	4	4	4	2	4
NG4	4	4	4	2	3
NG5	5	4	5	2	3
NG6	4	5	5	2	4
NG7	4	3	4	4	4
NG8	4	4	4	4	4
NG9	4	5	4	1	1
NG10	5	5	5	2	2
NG11	4	4	5	1	4
NG12	4	4	4	2	4
NG13	4	5	4	2	4
NG14	5	5	5	1	3
NG15	4	5	5	1	2
NG16	4	4	4	3	4
NG17	5	4	5	2	4
NG18	4	5	5	1	4
NG19	3	4	4	2	2
NG20	5	5	5	1	1
VALOR MEDIO	4,20	4,45	4,45	2,05	3,25

De las cinco preguntas que componen el cuestionario de experiencia de usuario, las tres primeras (P1, P2, P3) tienen una formulación positiva, por tanto el valor 5 es el más favorable. Para las dos preguntas restantes (P4, P5), ocurre lo contrario. El cuestionario aborda los cinco puntos clave en referencia al uso de entornos virtuales interactivos por pacientes con déficit cognitivo: experiencia general (P1), comprensión y accesibilidad a los mensajes e instrucciones (P2), familiaridad de las situaciones reproducidas en la actividad (P3), evidencia y sencillez de las interacciones (P4) ,guiado y apoyo durante la actividad (P5).

El resultado de la encuesta para los tres grupos de sujetos se representa en la Figura. Cabe destacar que los resultados de los tres grupos son similares, lo cual puede decirse que aporta consistencia al resultado. Hay que destacar la diferencia apreciable en la pregunta 5 (“En algunos instantes de la actividad me he sentido perdido sin saber qué hacer, alguna indicación más me hubiera ayudado”), donde el grupo de No Guiados da una puntuación superior, lo que en este caso implica más desfavorable. Esto es debido a que la versión de la actividad ejecutada por este grupo es la No Guiada, y por tanto carece de

Pregunta	1	2	3	4	5
GP1	5	5	5	1	1
GP2	4	4	5	2	3
GP3	5	5	5	5	1
GP4	5	5	5	1	1
GP5	4	5	5	2	4
GP6	4	5	5	2	2
GP7	4	5	5	2	4
GP8	4	5	5	2	2
GP9	4	5	5	2	4
GP10	4	5	5	4	4
GP11	4	5	5	2	2
GP12	4	5	5	2	1
GP13	4	5	5	3	2
GP14	4	4	4	2	2
GP15	3	5	5	3	2
GP16	3	3	3	1	2
GP17	5	4	4	2	2
GP18	5	4	4	2	1
GP19	5	4	4	2	2
GP20	4	4	4	4	4
VALOR MEDIO	4,20	4,60	4,60	2,30	2,30

Table 4.11: Puntuaciones para el cuestionario de experiencia de usuario. Grupo Pacientes

estrategia de intervención.

A pesar de los resultados positivos que la pregunta 2 (“Los mensajes mostrados durante la actividad eran fáciles de leer”) ha obtenido en los tres grupos, alguno de los pacientes reportó dificultades para leerlos. Si bien referido al tamaño de la letra y no a dificultades en cuanto a su comprensión. La experiencia general de todos los sujetos es positiva. Quizás merezca la pena destacar la valoración positiva general en cuanto a la percepción de la AVD desarrollada como una situación familiar y reconocible en el día a día de cada sujeto que tomó parte en el estudio.

4.7. Discusión

Los resultados obtenidos durante la primera fase del estudio experimental permiten valorar la madurez del entorno virtual desarrollado para ser utilizado por pacientes con deterioro cognitivo. Esta evaluación se centra principalmente en torno a dos aspectos: la capacidad del sistema para intervenir sobre el comportamiento del sujeto, y la robustez en respuesta al uso por usuarios reales.

El análisis de los registros realizados durante las ejecuciones de los grupos de sujetos Guiados y No Guiados, revela que el primer grupo emplea menos tiempo, comete menos errores y necesita un menor número de interacciones para finalizar con éxito la AVD. Es decir, el conjunto de sujetos Guiados

Figura 4.19: Radar plot de los resultados del cuestionario de experiencia de usuario.

realiza una ejecución más eficiente que los sujetos del conjunto No Guiado.

Si bien el examen de los datos a nivel AVD determina diferencias significativas entre ambos conjuntos, al descender de nivel estructural a Tarea, esta característica se mantiene para los tres casos. Existen diferencias estadísticas para la Tarea 1, no se cumple para la Tarea 3 y 2; aunque en el caso de esta última difieren los resultados de los test utilizados para los parámetros de tiempo ($p_{Mann-Whitney}=0,072$ y $p_{Bootstrap}=0,043$) y errores cometidos ($p_{Mann-Whitney}=0,14$ y $p_{Bootstrap}=0,042$). Son por tanto, las características de cada Tarea las que establecerán una dependencia significativa sobre la ayuda recibida.

A nivel Objetivo prácticamente no se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre los grupos Guiado y No Guiado. Si bien es cierto, que los valores que adquieren los parámetros a este nivel son pequeños, y por tanto los márgenes para establecer diferencias son limitados. A pesar de ello, a lo largo de la AVD y tanto a nivel Tarea como incluso a nivel Objetivo, se mantiene la misma tendencia por la que los sujetos No Guiados emplean más tiempo, cometen más errores y requieren de un mayor número de interacciones.

El examen a nivel Objetivo da una pista de las características que hacen que la intervención tenga más o menos influencia en el comportamiento del sujeto en este Estado de la actividad. Por ejemplo, el Objetivo 3 de la primera Tarea es el único con diferencias significativas para las tres métricas. En ese instante de la AVD, el sujeto acaba de salir del salón y se encuentra en el pasillo. Como se puede comprobar en la figura, el Estado no presenta estímulos destacables que puedan distraer del objetivo del Estado, y las interacciones habilitadas se corresponden con “ir al recibidor”, “volver al salón” o “ir a la

cocina”. Un mensaje recibido como Estímulo del Estado asociado al Objetivo 2 parece el responsable que ante condiciones sencillas se produzcan diferencias significativas (recordar que en la versión No Guiada se suprimen este tipo de mensajes de ayuda).

Figura 4.20: Instante del VI correspondiente al Estado asociado al Objetivo 3 de la Tarea 1.

Dos ejemplos más donde se encuentran mayor diferencias, en este caso en cuanto a errores cometidos, es en los Objetivos 2 y 3 de la Tarea 2. En el primero de ellos la situación, a diferencia del caso anterior, se trata de un contexto con muchos Estímulos, y por tanto donde el sujeto puede distraerse con mayor facilidad. En el caso del Objetivo 3 es similar al objetivo 3 de la Tarea 1, un contexto con menos Estímulos que el anterior donde el sujeto tiene que elegir si dirigirse hacia la izquierda o hacia la derecha. La elección incorrecta le lleva hacia una situación en la que sin la ayuda necesaria, puede desencadenar en más errores. Esto último explicaría que a pesar de la diferencia entre Guiados y No Guiados es notable, no exista una diferencia estadística unánime entre los dos test aplicados. Ante un primer error, en la versión No Guiada es más sencillo realizar otro error.

En el lado opuesto encontramos los Estados en los que la diferencia entre ambos grupos de sujetos es prácticamente inapreciable. Es el caso del Objetivo 2 de la Tarea 1, donde a pesar de existir una instrucción que orienta al sujeto en la versión Guiada, no existe diferencia en ninguna de las métricas con respecto al grupo No Guiado. La causa puede venir de que la única interacción activa es la que lleva a la opción correcta.

Se observa que a lo largo de la Tarea 3 ambos grupos presentan ligeras diferencias, a excepción del Objetivo 3 donde son más pronunciadas. Es precisamente en este Objetivo donde divergen las dos versiones de la Tarea, es

Figura 4.21: Instantes del VI correspondientes a los Objetivos 2 (izq.) y 3(der.) de la Tarea 2.

decir, donde la versión Guiada presenta instrucciones o mensajes adicionales. Además, hay que destacar que en los primeros dos Objetivos, la no interacción es la opción correcta.

De estos casos destacados, como de la lectura y análisis del resto de los datos se puede deducir las características del entorno que en cada instante establecen que el guiado de la actividad tenga una mayor o menor influencia sobre el comportamiento del sujeto. Según lo visto, se puede destacar: los mensajes o instrucciones mostradas al sujeto, las posibilidades de interacción activas, el número de interacciones necesario para completar el Objetivo y el número de Estímulos y distractores que componen el Estado.

Los resultados positivos extraídos del cuestionario de usabilidad SUS sugieren que el sistema propuesto resulta cómodo y fácil de usar. En este punto es importante destacar que el entorno desarrollado mediante VI planteaba un marco innovador por lo que los sujetos no estaban acostumbrados al mismo. Esto resalta la valoración favorable, así como la opinión generalizada sobre la no necesidad de un aprendizaje previo para utilizarlo. La incertidumbre que pueda causar la puntuación sobre la primera pregunta del cuestionario, puede resolverse con la buena experiencia reportada por los usuarios a través del cuestionario sobre la experiencia de usuario. En general ambos cuestionarios subrayan que el entorno virtual de VI alcanza los requisitos de usabilidad y robustez que se plantearon para poder ser utilizado en un ámbito clínico de rehabilitación cognitiva.

Durante la fase 2 del estudio se obtienen resultados del uso del entorno por usuarios potenciales. Permiten validar no solo la capacidad del entorno de VI para implementar intervenciones terapéuticas, sino también la propia respuesta del sistema dentro de un contexto de uso real, así como la valoración subjetiva de las personas que finalmente lo utilizarán.

La respuesta de todos los pacientes ante el entorno virtual ha sido positiva. Todos ellos han conseguido realizar de forma exitosa la AVD. Es importante destacar que no se ha requerido de un entrenamiento previo a realizar las Tareas, sino que el resultado registrado es el correspondiente a la primera experiencia de cada paciente con el entorno virtual. Este primer encuentro

puede ser consecuencia de que el mayor número de errores (en media del grupo de Pacientes) corresponden al Objetivo 1 de la Tarea 1. Tanto en este Objetivo, como en el resto de la AVD se deduce la capacidad de intervención del entorno, ya que las medias de errores cometidos por los pacientes en cada Objetivo está lejos de alcanzar el máximo permitido (recordar los tres niveles de ayuda y, por tanto, en general se admiten 3 ó 4 errores para cada Objetivo). A raíz del efecto de la intervención, aunque no era el propósito de las fases de estudio, sorprende que en algunos Objetivos (tiempo: O3 Tarea 1; número de errores: O3 y O5 Tarea 1, O2 Tarea 2; número de clics: O3 Tarea 1, O3 Tarea 3), los pacientes registran una métricas de actividad más eficientes que los sujetos sanos No Guiados.

Comparando con la ejecución del grupo Guiado, se observa que en cuanto al tiempo empleado en realizar la actividad, existen diferencias estadísticamente significativas, tanto a nivel AVD, Tareas, como en la práctica totalidad de los Objetivos. De nuevo, y como pasaba en la comparativa con el grupo No Guiado de la primera fase, las características de la Tarea 3 no permite grandes diferencias entre los dos grupos (recordar que los dos primeros Objetivos de esta Tarea consisten en esperar el turno, por lo tanto en su mayor parte, es la propia actividad la que establece el tiempo).

También existe diferencia en el número de errores y el número de interacciones realizadas, siendo significativa a nivel AVD, y en las Tareas 1 y 2. De nuevo las características de la Tarea 3 hacen que para estas métricas no lo sea. Al igual que ocurría en el estudio de la fase 1, a nivel Objetivo se puede analizar los factores que hacen de la diferencia una cualidad identificativa de cada grupo.

A mayor número de acciones necesarias para completar el Objetivo, las diferencias se hacen significativas. Es el caso del Objetivo 4, compuesto por Trayectorias complejas y, por tanto, requieren de más de una interacción para completar el Objetivo. Por otro lado, y a diferencia de lo observado en la fase 1 del estudio, el tener un menor número de Estímulos activos, no implica que los pacientes aumenten su eficiencia. Este hecho se ve en el Objetivo 2 de la Tarea 1, donde el número de errores y de clics no se acerca al de la ejecución mínima requerida; y por el contrario sí que se observa en el Objetivo 5 de esta misma Tarea. La diferencia entre ambos es la cantidad de Estímulos que observa el paciente, en este sentido la última es más sencilla que la primera. En general, se observa un mayor número de errores (en términos relativos a la ejecución del grupo de sujetos sanos Guiados) en aquellos Estados en los que el paciente se encuentra ante un mayor número de Estímulos. Esto se puede observar, por ejemplo, durante la primera parte de la Tarea 2 (“calle”).

Sorprende algunos datos, como por ejemplo la significación en la diferencia del Objetivo 6 de la Tarea 2, donde la interacción a realizar es muy sencilla, tanto por número de Estímulos activos, como por distractores que aparecen

en el vídeo (como muestra, obsérvese que tanto el grupo Guiado como el No Guiado no cometen errores y el número de interacciones se acerca a la ideal). En este caso, y de forma extensible a otros en los que la explicación de lo ocurrido no es trivial, aportar información extra a las métricas examinadas sería de gran utilidad para la evaluación clínica de los pacientes. Por ejemplo, un mayor detalle sobre las interacciones realizadas o incluso datos sobre la atención del paciente.

Finalmente, la valoración subjetiva realizada por los pacientes a través del cuestionario sugiere que la experiencia ha sido positiva para ellos. Identifican familiar la actividad que se desarrolla dentro del entorno. Encuentran la forma de interaccionar con el entorno intuitiva, y no reportan dificultad alguna sobre este aspecto a pesar de no haber tenido experiencia previa con el entorno. No obstante, conviene apuntar que los pacientes que participaron en el estudio utilizan en su terapia habitual el sistema GNPT, es decir, están familiarizados con el uso del ratón (medio de interacción de entorno virtual propuesto).

El entorno virtual propuesto utiliza la tecnología de VI para reproducir AVD sobre las que implementar estrategias de intervención que ayuden al sujeto que la realiza a mejorar su eficiencia. El guiado que se realiza se basa en un aprendizaje libre de error, por el que se conduce al sujeto a través de la AVD con un nivel de intervención de acuerdo a sus interacciones. La participación de sujetos sanos ha permitido realizar una evaluación estandarizada de la usabilidad, obteniendo resultados positivos. La experiencia tanto de estos sujetos, como de los sujetos pacientes que participaron, ha sido satisfactoria.

Todo ello sugiere que el entorno virtual desarrollado con vídeo interactivo puede cubrir los requisitos que se exigían a un entorno virtual para ser utilizado como herramienta de rehabilitación cognitiva. No obstante, y a pesar de que las métricas registradas pueden diferenciar entre comportamientos patológicos de los que no lo son, el uso de herramientas de monitorización puede ser enriquecedor para conocer el contexto en el que los pacientes realizan cada uno de las partes de la actividad.

Capítulo 5

Sistema de monitorización avanzado

5.1. Introducción

En la presente Tesis se estudian las claves para explotar el potencial terapéutico de las AVD reproducidas sobre entornos virtuales. Su integración en el proceso de rehabilitación se aborda centrado en cada una de las tres etapas en que se puede dividir: diseño de la actividad de rehabilitación, desarrollo del entorno virtual, y su ejecución por el paciente. En la primera de ellas (estudiada en el Capítulo 3) se ha deducido la importancia de diseñar una estrategia de intervención basada en la generación de hipótesis terapéuticas sobre el comportamiento del paciente. Resulta clave identificar aquellos estímulos que pueden influir potencialmente en la consecución de los objetivos, y tratar de promover conductas adaptativas basadas en conocimiento clínico aplicado. En la segunda etapa (Capítulo 4), se ha propuesto un entorno virtual basado en el mapeo de la tecnología y los requisitos de la rehabilitación. El objetivo es crear entornos controlados donde la carga cognitiva se limita exclusivamente al objetivo terapéutico establecido. Esto implica tratar de concentrar los esfuerzos del paciente en la parte terapéutica de la actividad, de forma que los medios para ejecutar actividad, tales como visualización o dispositivos de interacción, no incrementen la dificultad de la misma.

Según el planteamiento realizado, la etapa que completa el proceso es la de la ejecución de la actividad por el paciente, y su consiguiente evaluación por parte del neuropsicólogo. Como se ha visto, incorporar AVD y entornos virtuales interactivos a la rehabilitación puede aportar grandes beneficios, pero también exige de un diseño y planificación muy cuidado. Esto mismo se traslada a esta última etapa, donde se requiere que los datos arrojados permitan realizar un análisis al menos al mismo nivel de detalle al tratado en el resto del proceso.

El diseño estructurado de la AVD y su consiguiente implementación en el entorno permite registrar con el grado de detalle necesario los datos referentes a la ejecución de la misma. Tales como tiempos, errores, o la huella trazada por el paciente a lo largo de la actividad. No obstante, esta información no permite analizar en profundidad las consideraciones sobre el comportamiento del paciente; aquellas en torno a las cuales se realizaron las hipótesis, base del diseño de la estrategia de intervención. Se necesita, por tanto, obtener un mayor conocimiento sobre las condiciones en las que se realizó la actividad. Por ejemplo, un error que se entendería es causado por el déficit cognitivo que le impide conseguir el objetivo, podría producirse también porque el paciente no conocía el objetivo a cumplir, por un problema de interacción o incluso por una pérdida de atención. Esto sugiere la necesidad de utilizar nuevas metodologías de monitorización que aporten el máximo grado de conocimiento sobre la actividad y de las condiciones de contexto en la fue ejecutada por el paciente.

Métricas relacionadas con la atención visual (fijaciones, movimientos oculares, exploración visual), con las interacciones realizadas por el paciente (aquellas que tienen efecto sobre la actividad y también las que no), o incluso distintas combinaciones entre ellas, podrían ser relevantes para entender mejor los procesos de rehabilitación cognitiva. Desde un punto de vista conceptual resultan potencialmente interesantes, pero a día de hoy se desconoce su relevancia para la clínica ya que no se poseían los medios necesarios para desarrollar una evaluación metodológica. En este capítulo se presenta un sistema de monitorización como instrumento para la adquisición de métricas avanzadas y su integración como parte del entorno de rehabilitación propuesto en la Tesis.

5.2. Estado del arte

En este aparato se analizan los trabajos estudiados en el Capítulo 4 de la Tesis desde el punto de vista de la monitorización de la actividad. Son dos los aspectos tratados: los principales parámetros que registran los entornos virtuales durante la ejecución de las actividades, y los sistemas o tecnologías de monitorización utilizados.

De forma común, los entornos estudiados centran el análisis y evaluación de las actividades en los tiempos y aciertos y/o errores realizados. Estos registros aportan información sobre el resultado de la ejecución de la actividad. Es la naturaleza y características del entorno virtual y la actividad desarrollada los que establecerán los matices de estas métricas; por ejemplo, qué tipo de acciones o respuestas se consideran acierto y cuales error.

Estas métricas están basadas en la interacción que el paciente realiza

con el entorno virtual. Dependiendo de la tecnología de interacción y de las características de la actividad, es decir, de cuáles son los objetivos dentro de la tarea, cada entorno define una serie de variables que al finalizar la misma permiten al terapeuta analizar cómo fue la ejecución del paciente. De esta forma, en las AVD relacionadas con hacer la compra, el número de elementos que se cogen indicará el número de aciertos; en las relacionadas con cruzar una calle, un dato significativo utilizado es el número de veces que el paciente mira a la izquierda y/o derecha para comprobar el tráfico [Navarro:2013], [Katz:2005], y un tipo de error vendrá definido por los “choques” al cruzar [Navarro:2013]. Otro de las métricas más extendidas en aquellas actividades que requieren el desplazamiento o exploración de un escenario, como por ejemplo en un supermercado [Grewe:2013], [Parsons:2013], [Jacoby:2013] o aquellas que transcurren por un barrio o ciudad [Sorita:2013], [Vourvopoulos:2014], [Saiano:2015], es la representación en el plano 2D de la trayectoria recorrida durante la tarea; así como otros parámetros relacionados con esta distancia virtual tales como la orientación en diversos puntos, la velocidad de desplazamiento o la desviación con respecto a la trayectoria óptima [Saiano:2015].

Además de los registros adquiridos de forma inherente a la propia actividad, algunos de los trabajos revisados tratan de potenciar la capacidad de monitorización. Para ello incorporan diferentes herramientas o tecnologías. Uno de los casos más sencillos que se encuentran es el uso de cámaras o webcams [Klinger:2013], [Katz:2005] para grabar la sesión de rehabilitación de forma que se permite posteriormente al profesional clínico evaluar la ejecución o el comportamiento del paciente. Incluso, si la actividad requiere de movimientos o gestos se utiliza para comparar con un modelo de acción que indica la ejecución óptima [Edmans:2009]. Otra posible utilidad de la cámara es el registro de datos faciales. Vouropoulos [Vourvopoulos:2014] utiliza esto para obtener información sobre la atención visual del paciente. Concretamente extraen los datos sobre las visualizaciones realizadas a los cuatro cuadrantes de la pantalla a lo largo de la sesión, ya que en cada uno de estos cuadrantes mantienen fijo un tipo de información durante la actividad (mapa, instrucciones, etc.).

Para monitorizar con precisión la atención visual del paciente, Rizzo [Rizzo:2006] propone, a modo prueba, utilizar la tecnología de eye-tracking aprovechando el uso de HMD. Destacan la importancia de conocer si el niño está mirando a la pizarra o por la ventana cuando comete un error en la actividad. En este mismo entorno, el uso de sensores en brazos y piernas permite registrar los movimientos realizados por el paciente, siendo estos datos de especial interés para la evaluación de trastornos de hiperactividad.

El uso de HMD como soporte de visualización del entorno, también puede ser aprovechado para registrar los movimientos del paciente. Un claro ejemplo se encuentra en el entorno de realidad mixta de Fidopiastis [Fidopiastis:2006],

donde estos datos registrados por el dispositivo permiten trazar las trayectorias de movimiento por el escenario real montado. Esta información permite al terapeuta evaluar la eficiencia de los movimientos realizados por el paciente para completar las tareas de la AVD.

En la revisión de la literatura realizada se encuentran también algunos experimentos [Parsons:2013] en los que se utilizan métricas psicofisiológicas para conocer más detalles de la respuesta del usuario frente a uso del entorno virtual. Concretamente, se registra la actividad eléctrica cardíaca y dérmica para evaluar la sensación de presencia e inmersión de los participantes en el entorno virtual VEGS.

Finalmente otros autores [Cao:2010] revelan la importancia de objetivar datos relativos a la atención visual o a la información fisiológica del paciente durante la ejecución de la actividad. Destacan la importancia de monitorizar y analizar no solo los resultados de la actividad sino el comportamiento del paciente.

5.3. Tecnología de eye-tracking

5.3.1. Definición y características

5.3.1.1. Definición

El concepto de eye-tracking hace referencia a un conjunto de tecnologías que permiten monitorizar y registrar la forma en la que una persona mira una determinada escena o imagen. Teniendo en cuenta que la dirección de la mirada está estrechamente vinculada al punto en el que se focaliza la atención (al menos en condiciones normales), esta monitorización aporta información concreta sobre las áreas en las que el sujeto fija su atención, durante cuánto tiempo y qué orden sigue en su exploración visual [Duc:2008]. Aunque esta tecnología puede parecer bastante reciente, el estudio del movimiento ocular tiene más de un siglo de historia, y su primera aplicación en el diseño ergonómico data de los años 50 [Fitts:2005].

Esta tecnología aborda las características “qué” y “dónde”, correspondientes con las componentes de bajo nivel del proceso atencional. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el modelo de atención se completa por la acción de las funciones cognitivas y visuales de alto nivel [Duchowski:2007]. Y es que aunque lo más normal y frecuente es mantener la relación entre la mirada y la atención, el ser humano puede desviar la atención sin necesidad de mover los ojos [Posner:1980]. Por tanto, es importante tener presente que a través de esta tecnología se conocen los puntos hacia los que mira el observador, pero no se es capaz de detectar todo aquello que percibe sin necesidad de mirarlo.

5.3.1.2. La exploración visual

La exploración visual se puede modelar como un proceso cíclico basado en la selección de las zonas específicas de interés de todo el campo de visión (“dónde”), y en la inspección detallada de la región espacial concreta seleccionada (“qué”). Se distinguen tres pasos [Duchowski:2007]:

1. Dado un estímulo, por ejemplo una imagen, se realiza una inspección visual de la escena completa con poco nivel de detalle. En esta fase podrían surgir puntos que llamen la atención del observador para realizar una exploración más detallada.
2. Los ojos se reposicionan hacia la región que atrajo la atención.
3. Los ojos han completado el movimiento de exploración, la mirada se centra en la región de interés para realizar una inspección de alta resolución. Es importante matizar los movimientos oculares más importantes que se pueden distinguir durante este proceso. La fijación se produce cuando los ojos permanecen quietos durante 200-300 ms [Rayner:1998]. Es en estos instantes cuando el ojo enfoca un determinado objeto y, por tanto, cuando se produce la adquisición visual de la información. Entre estas fases de fijación se producen unos movimientos continuos y rápidos que se realizan al mirar una escena o buscar un objeto se llaman sacadas (saccade). La particularidad de estos movimientos es que durante ellos el ojo no obtiene ningún tipo de información visual. Podríamos decir que percibimos el mundo únicamente a través de las fijaciones. El cerebro integra virtualmente las imágenes que adquirimos a través de fijaciones sucesivas. En los casos en los que el estímulo diana, aquel sobre el que se ha focalizado la atención, se encuentra en movimiento, se habla de seguimientos suaves (smooth pursuit).

Poniendo un ejemplo de aplicación, un observador únicamente es capaz de fijar la atención en un 3 % de un monitor de 21 pulgadas, situándose a una distancia de 60cm del mismo. Aproximadamente el 90 % del tiempo se emplea en las fijaciones; completándose con los movimientos sacádicos producidos cuando la atención visual se dirige a una nueva área [Solana:2014b]

5.3.1.3. Dispositivos de eye-tracking

En la actualidad los dispositivos más utilizados para la monitorización de la atención visual son los basados en video. Una cámara enfoca los ojos y graba su movimiento mientras el usuario visualiza una serie de estímulos. Se proyecta una luz infrarroja para crear reflexiones en la córnea, de forma que permite realizar una segmentación de la pupila sobre la imagen de vídeo.

De esta forma se conoce la dirección de la mirada. A través de una sencilla calibración previa, se pueden conocer la posición de la mirada en la escena visualizada por el sujeto [Hansen:2010]. Se trata por tanto de dispositivos no invasivos. A pesar de utilizar la misma base tecnológica, en la actualidad se pueden encontrar distintos modelos, diferenciados por las características que establecerán el objetivo de su uso. En la Figura se pueden observar distintos modelos de la marca Tobii [Tobii:2015]: integrados en un monitor para lograr altas prestaciones (por ejemplo, alta frecuencia de muestreo de datos), dispositivos móviles adaptables a cualquier pantalla, o integrados en gafas para no limitar a la imagen visualizada en un monitor.

Figura 5.1: Dispositivos eye-trackers: integrado en el monitor (izquierda), portable (centro), integrado en unas gafas (derecha).

Una de las características que diferencian a los distintos eye-trackers es la capacidad de muestreo de datos de estos dispositivos, variando desde los 30Hz hasta los 300Hz. Esto implica que en cualquiera de ellos, la cantidad de información registrada es muy alta, lo que requiere de un procesamiento de los datos para mostrarlos de forma útil. De entre las representaciones más utilizadas destacan:

- Mapas de calor. (Figura izquierda) Es un mapa donde se utiliza el color como una nueva dimensión. A través de este código de colores representa las zonas de la imagen que han concentrado un mayor número de fijaciones, y por tanto que ha focalizado más la atención del sujeto.
- Mapas de mirada. (Figura derecha) Representan la secuencia ordenada de los movimientos oculares que un individuo ha realizado para explorar la imagen. Los círculos representan los puntos de fijación y las líneas los movimientos sacádicos.
- Reproducción de mirada. A diferencia de las dos anteriores, esta representación es dinámica. Reproduce la sesión de monitorización superponiendo a la escena o imagen visualizada la información sobre la atención visual.

Figura 5.2: Mapa de calor (izquierda). Mapa de mirada (derecha).

5.3.2. Eye-tracking en neurorrehabilitación

A lo largo de la historia del registro del movimiento ocular [Fitts:2005] se encuentran estudios sobre su uso y aplicación en neurociencia. Por ejemplo, investigaciones que abordan la relación entre las métricas de las fijaciones oculares (posición, duración y secuenciación) con la actividad cerebral, concretamente con los procesos cognitivos activos durante la ejecución de una tarea [Just:1976]. No obstante, la evolución de la tecnología de monitorización de la atención visual hacia dispositivos no invasivos y de gran precisión hace que cada día sean mayor el número de trabajos de investigación que incorporan el eye-tracking al proceso de rehabilitación neuropsicológica.

El eye-tracking se está situando como una tecnología clave en la ayuda al diagnóstico de episodios de daño cerebral, mejorando las pruebas de diagnóstico y terapia, y donde podría ayudar a evaluar la evolución de la recuperación del paciente. Un ejemplo de esto último podría ser el análisis de proyecciones sobre la recuperación del paciente de cara a retomar su vida laboral [Samadani:2015].

La capacidad para obtener evidencias objetivas y cuantitativas de los procesos visuales y atencionales permiten conocer y caracterizar con un nivel mayor detalle los déficits causados por diversos trastornos cognitivos. Por ejemplo, estudios analizan cómo niños con autismo inspeccionan de manera diferente imágenes estáticas que los niños sin déficit [Yi:2013], [Aresti:2015]. Otro estudio es el realizado con pacientes de esclerosis múltiple [DeSanti:2011], donde se revela cómo la velocidad de búsqueda visual en pacientes con esta enfermedad es mucho menor que en sujetos sanos.

Dentro de las terapias de rehabilitación, la integración de dispositivos

de monitorización visual con las propias tareas de rehabilitación, da soporte al cumplimiento del objetivo terapéutico para el cual fueron diseñadas [Solana:2014b]. La información monitorizada puede ayudar a adaptar las tareas y aumentar por tanto el grado de personalización de la misma a cada paciente. Además, si dichas tareas son diseñadas a tal efecto, la información relativa a la monitorización de la mirada puede ser utilizada para la evaluación de déficits atencionales en DCA [Solana:2015].

También se encuentran referencias al uso de uso del eye-tracking dentro de entornos virtuales interactivos. En algunos casos, como referencia al potencial funcional que aportaría la incorporación de la tecnología a los entornos desarrollados [Cao:2010], y en otras como pruebas o ensayos de dicha integración aprovechando dispositivos utilizados en el propio entorno [Rizzo:2006]. En cualquier caso, el objetivo seguido es complementar la información del registro de los resultados de la actividad con datos que permitan analizar el comportamiento del paciente durante la ejecución. La respuesta del paciente no es la misma si su atención está centralizada en el estímulo diana o sobre un distractor, lo que no solo aporta información sobre la intención en interacción realizada. En el entorno RehabCity [Vourvopoulos:2014] utilizan el reconocimiento facial para desarrollar mapas de calor de bajo nivel. Aunque de forma menos precisa que la lograda por las técnicas y dispositivos de los explicados en este capítulo, esta información les permite evaluar la respuesta del paciente frente a los distintos elementos del entorno virtual, y extraer conclusiones sobre el uso y utilidad [Vourvopoulos:2014].

Finalmente, y más allá de su uso en rehabilitación cognitiva, estudios como el realizado por Alves [Alves:2016] plantean el uso del eye-tracking también en rehabilitación motora. En la tarea del experimento publicado, el paciente debe mover un brazo virtual a través de interacciones con la mirada. Los resultados de la tarea reflejan diferencias dependiendo de si el brazo virtual se corresponde con el brazo del sujeto con movilidad reducida. De esta forma, sugieren que la tecnología de eye-tracking podría ser utilizada como herramienta para la evaluación de los déficits motores derivados de un ACV.

5.4. Sistema de monitorización avanzado

En la presente Tesis se propone complementar el entorno visual basado en VI con un sistema de monitorización avanzado que aporte al profesional clínico la información objetiva necesaria para analizar el comportamiento del paciente durante la ejecución de la AVD. Con este propósito se utiliza tecnología eye-tracking para el análisis de la atención visual, combinado con la información relativa a la interacción del paciente con el sistema y el flujo de actividad seguido a lo largo de la AVD, es decir, las métricas intrínsecas a la

ejecución de la actividad (tiempos, errores, etc.). La tecnología de eye-tracking requiere del uso de un dispositivo especial que se detalla en los siguientes apartados.

El VI es una aplicación web, basada fundamentalmente en HTML y JavaScript. Todo el contenido se muestra utilizando un explorador web, y la gestión de todos los eventos se realizan a través de la tecnología JavaScript. Bajo este contexto, el uso del dispositivo eye-tracking, así como la gestión de los registros de actividad e interacción, se hace posible a través de servlets, pequeños programas que se ejecutan en un servidor local y que dan acceso a los recursos que se encuentran instalados en el mismo.

5.4.1. Monitorización eye-tracking

5.4.1.1. Dispositivo eye-tracking

Para realizar la monitorización de la atención visual, en la presente Tesis Doctoral se ha utilizado el sistema comercial mostrado en la Figura 5.3, Tobii 1750 [Tobii:2015]. Se trata de un dispositivo de eye-tracking integrado en una pantalla TFT de 17". A través de fuentes infrarrojas y de una cámara es capaz de registrar datos correspondientes a las fijaciones y movimientos sacádicos del sujeto, siendo la velocidad máxima de muestreo de 50Hz.

Figura 5.3: Dispositivo Tobii 1750.

5.4.1.2. Integración vídeo interacción - eye-tracking

El sistema Tobii 1750 ofrece una API que permite interactuar con el dispositivo, iniciando la monitorización, parándola, obteniendo los datos que

captura y demás. Esta API viene en forma de librerías de sistema (.dll) que han de estar disponibles en el sistema operativo del PC dónde se instala el eye-tracking. Para poder integrar el vídeo interactivo con este dispositivo ha sido necesario La integración entre el VI y estas librerías que controlan el dispositivo, requiere de un protocolo de comunicación adaptado como muestra la Figura. Para ello se hace uso de una interfaz intermedia de comunicación entre aplicaciones JAVA y las propias librerías (JNI) [Molina:2011], y de un servlet para acceder a este interfaz desde la aplicación web que es el VI.

Figura 5.4: Diagrama de integración VI-EyeTracking.

Resumiendo, como resultado de esta integración, y particularmente del protocolo creado, el sistema es capaz de monitorizar al paciente durante la realización de una actividad ejecutada sobre una aplicación web de VI. La aplicación web puede solicitar comienzo y fin de sesión, y comienzo y fin de tracking de datos para la tarea.

5.4.2. Registros el sistema de monitorización

5.4.2.1. Atención visual

La monitorización de los datos de atención visual se realiza aprovechando la frecuencia máxima de muestreo del dispositivo utilizado, es decir, 50Hz. En cada muestra se registran los siguientes parámetros:

1. Posición relativa de la fijación de cada ojo. Representado por las componentes vertical y horizontal del foco de la mirada (punto de la pantalla donde mira el usuario determinado mediante coordenadas x e y)
2. Posición de cada ojo respecto a la cámara.
3. Instante de tiempo, en microsegundos, en que se ha realizado la captura de datos;

4. . Diámetro de cada una de las pupilas del usuario
5. Código de validez para las medidas realizadas sobre cada ojo, que nos permite saber la precisión de la medida realizada.

Estos datos permiten conocer en qué punto de la pantalla se concentró la atención visual del paciente en cada instante de la AVD.

5.4.2.2. Flujo de actividad

Las entradas de este registro se corresponden con los eventos que establecen el flujo de la actividad, es decir, el rastro trazado por el paciente durante la ejecución de la AVD. Se distinguen dos tipos:

1. Entrada a una Escena. Pueden ser tanto las Escenas de decisión, es decir, las correspondientes a los Estados de Tarea, como a las Escenas de acción, que como se detallaba en el capítulo anterior, son las que se muestran como transición entre Estados. Para cada una de estas entradas queda registrado el nombre de la Escena y el instante en el que se produce.
2. Salida de un Estado de Tarea. Este tipo de eventos se producen por la interacción del paciente con uno de los Estímulos activos, o bien por el vencimiento del tiempo permitido para respuesta. Los datos registrados para este caso son: nombre de la Escena en la que tiene lugar la interacción, Estímulo a través del cual se ha desencadenado el evento, nombre de la Escena a la que deriva el evento, clasificación del evento (si es un acierto o error), e instante en el que se produce.

La información extraída de la monitorización de la ejecución de la actividad, se emplea principalmente para:

1. Generar un registro temporal de las Escenas, es decir, permite situar al paciente a lo largo de la Tarea a partir del instante de un instante de tiempo. Esto será clave para sincronizar la información de cada uno de los tres registros.
2. Permite analizar los datos esenciales de la ejecución de la actividad (tiempos, errores, etc.), y que fueron estudiados en la evaluación presentada en el Capítulo 4 .

5.4.2.3. Interacción

Registra la interacción que el paciente realiza con el entorno virtual. En el entorno virtual propuesto la interacción se realiza a través del ratón del ordenador, por tanto se distinguen entre dos tipos de eventos:

1. Movimientos de ratón. Cada 20ms se registra la posición del ratón en la pantalla y el instante de tiempo de la toma de la muestra.
2. Interacción tipo “clic”. Cada vez que el paciente realiza un clic quedará registrada la coordenada de la pantalla donde se realiza y el instante de tiempo en el que se ha producido.

5.5. Resultados del SMA aplicado al estudio

En este apartado se presentan diferentes formas de representación de los datos registrados mediante el Sistema de Monitorización propuesto, aplicadas a su uso para la evaluación de sesiones de rehabilitación cognitiva. El objetivo es mostrar el potencial que el sistema podría tener integrado en un entorno virtual interactivo. Los datos analizados son los registrados durante el estudio de investigación experimental presentado en el Capítulo 4 de la presente Tesis.

Los datos correspondientes a la monitorización de la ejecución de la AVD o flujo de actividad, fueron analizados y presentados en el capítulo anterior. Por ello, los formatos de representación de los datos expuestos en este apartado se centran en la monitorización de la interacción y de la atención visual. No obstante estarán presentes como complemento en alguna de las representaciones, ya que el verdadero potencial del sistema de monitorización se centra en la combinación de los distintos datos analizados. Para asegurar la correcta integración entre las distintas fuentes de información, cada registro se cual sea su origen, lleva asociado su tiempo de sistema, lo que permite la sincronización de todos ellos.

El análisis y representación de los datos se realiza a nivel grupo para cada uno de los conjuntos de sujetos: Guiados, No Guiados y Pacientes. Esto permite destacar las características potenciales de la monitorización, y analizar las tendencias que permitan corroborar las conclusiones extraídas en el Capítulo anterior. Sin embargo, como se verá en el respectivo sub-apartado, el estudio de trayectoria visual requerirá del análisis a nivel sujeto. Esto se aprovechará para mostrar su utilidad sobre algunos casos particulares.

5.5.1. Mapas de interacción

La monitorización de la interacción se realiza con independencia de su significado dentro de la AVD, es decir, al efecto que cada interacción causa en el flujo de acción de la actividad. Los Mapas de Interacción (MI) muestran todos aquellos puntos de la pantalla sobre los que se ha realizado una interacción directa, lo que en el caso del entorno virtual propuesto en la presente Tesis se traduce con un “clic” de ratón. El gráfico sobre el que se dibujan estos puntos representa la pantalla en la que se reproduce el vídeo, por tanto, los ejes se corresponden con la dimensión en píxeles de la misma.

En las Figuras se presentan los Mapas generados a partir de la información de interacción registrada durante las dos fases del estudio presentado en el capítulo anterior. Cada Figura se corresponden con uno de los tres grupos que participan en el estudio: No Guiados, Guiados y Pacientes. Las Figuras se componen por tres gráficos correspondientes con las tres Tareas de la AVD. Las interacciones mostradas son las realizadas por todos los sujetos de cada grupo durante la Tarea. Si se compara las Figuras 5.5 y 5.6 se observa como el grupo No Guiado presenta una mayor dispersión en sus interacciones, mientras que las realizadas por los componentes del grupo Guiado están más concentradas y dirigidas. Y ante la ejecución de una misma versión de la actividad, se observa a simple vista diferencias entre los MI del grupo Guiado y del grupo Paciente.

Figura 5.5: Mapas de Interacción acumulado por Tareas. Grupo de sujetos No Guiado. En verde: interacciones correctas. En rojo: interacciones con distractores.

La combinación de esta información con la monitorización del registro de actividad, permite identificar entre aquellas interacciones realizadas con estímulos distractores (interacciones color rojo en los MI) y las que fueron realizadas con los estímulos adecuados para lograr el Objetivo de la Tarea, es decir, lo que se considera un acierto (interacciones color verde). De esta forma, en los MI para los valores acumulados de grupos de sujetos, como los que se muestran en las Figuras anteriores, se pueden identificar regiones de interés correspondientes con estímulos con potencial clínico. El ejemplo más claro son las regiones que se identifican con los estímulos activos cuya interacción se considera acierto (regiones verdes). En la Figura se muestran para cada

Figura 5.6: Mapas de Interacción acumulado por Tareas. Grupo de sujetos Guiado. En verde: interacciones correctas. En rojo: interacciones con distractores.

Figura 5.7: Mapas de Interacción acumulado por Tareas. Grupo de sujetos Pacientes. En verde: interacciones correctas. En rojo: interacciones con distractores.

una de estas regiones del MI de la Tarea 1 para el grupo de sujetos Guiados, y los estímulos de los diferentes Estados de Tarea a los que corresponden.

De igual forma, esta representación puede ayudar a identificar aquellos estímulos con los que los sujetos tratan de interactuar de forma inadecuada. Si bien parte de esta información se podría extraer con los datos del flujo de actividad, no se detectaría las interacciones con los estímulos que no han sido considerados como Estímulos Activos durante el diseño de la AVD. Para ello, y al igual que con el caso de los aciertos, se deben estudiar aquellos clústeres formados por interacciones de color rojo. Para visualizar de forma más clara este caso, estudiaremos una escena aislada de la Tarea 1.

En la Figura se muestra la superposición del MI sobre una captura de la Escena principal, ambos relativos al Objetivo 2 de la Tarea 1 para el grupo de sujetos Pacientes. Destaca una alta concentración de interacciones sobre una región que en la imagen se destaca con una circunferencia. En particular, para este objetivo el estímulo que se encuentra en dicha zona no fue considerado durante el diseño, por lo que la interacción con él no se considera un error y por tanto no queda registro en el flujo de actividad. De esta forma, la información expuesta ayuda a detectar nuevos estímulos a tener en cuenta y que pueden requerir de una intervención terapéutica específica.

Figura 5.8: Equivalencia de las regiones de interacción y estímulos de la Tarea 1.

Figura 5.9: Superposición MI-Escena principal del Objetivo 2 - Tarea 1. Grupo Pacientes.

5.5.2. Pérdida de atención visual

Las pérdidas de atención visual se entienden por los instantes durante la ejecución de la AVD en los que el sistema de eye-tracking no registra datos sobre los puntos de fijación del paciente dentro de la pantalla. Los motivos principales que pueden causar la detección de estas pérdidas de atención visual son:

- El paciente no fija su atención sobre la pantalla del ordenador y, por tanto, se encuentra mirando en otra dirección.
- Los instantes correspondientes al pestañeo del paciente.
- Pérdida de las condiciones necesarias para la adquisición de los datos de la atención visual por el dispositivo de eye-tracking. Se refiere, por ejemplo, a no interponer nada entre las señales infrarrojas o de la cámara y los ojos del paciente. Posturas incorrectas, gestos con las manos, movimientos bruscos que separen o alejen demasiado de la pantalla (el Tobii 1750 utilizado, requiere una posición entre los 50 a 70cm de distancia a la pantalla).son algunos de los posibles motivos que impidan el correcto funcionamiento del sistema.

La Figura recoge el análisis de este parámetro sobre los registros de la atención visual de los tres grupos del estudio. Se ha estudiado el porcentaje de los datos registrados por grupo y por Objetivo que se corresponden con pérdidas de atención visual. Lo que puede dar un indicador del tiempo efectivo durante el cual el paciente está realmente la actividad.

Figura 5.10: Diagrama de Pérdidas de Atención Visual durante la AVD. Valores medios por Objetivo para cada uno de los tres grupos.

A simple vista destaca la diferencia entre el grupo de Pacientes y los otros dos grupos. Presumiblemente se debe a que los pacientes desvían un mayor número de veces la mirada de la pantalla. No obstante, convendría tener en cuenta el factor debido a la pérdida de las condiciones adecuadas para el registro, ya que algunos pacientes pueden conductas más inquietas o posturas que no favorecen las condiciones de registro visual. En cuanto a los datos de los grupos de sujetos sanos, se puede intuir una tendencia ascendente. Es decir, parece que a medida que transcurre la actividad existe un incremento

en la pérdida de atención visual. Este ascenso se ve incrementado en la tercera Tarea donde el número de interacciones necesarias es mínimo, por lo que en sujetos sanos en los que la actividad no suponga un alto nivel de exigencia cognitiva, puede derivar en pérdida de interés progresiva o incluso en una disminución de la concentración.

5.5.3. Distancia de la trayectoria visual

Es una métrica que trata de cuantificar la trayectoria visual que el sujeto realiza por la pantalla durante la exploración de los elementos que se muestran la misma. La Figura trata de ilustrar el concepto a través de un boceto de lo que sería una exploración visual sencilla en la que solamente hay 5 puntos de fijación. El cálculo se realiza sobre las dimensiones normalizadas de la pantalla, es decir, se considera la esquina superior izquierda de la pantalla el punto (0,0) y la esquina inferior derecha el valor (1,1). La distancia para cada sujeto y escena se calcula como el sumatorio de las distancias entre cada par de puntos de fijación visual consecutivos.

Figura 5.11: Diagrama explicativo del cálculo de la Distancia de la trayectoria de exploración visual.

De nuevo se muestran en la Figura los valores medios para cada conjunto de sujetos y por Objetivo. Nótese que en esta ocasión se presentan las tres Tareas en gráficos independientes. Se trata de esta forma de evitar un enmascaramiento en los grafos de las dos primera Tareas cuyos valores de la métrica representada son considerablemente inferiores a los de la Tarea 3. El motivo para esta diferencia es que el tiempo empleado por los participantes para los Objetivos 1 y 2 de esta última Tarea es fijo (no depende de las interacciones), consecuentemente el tiempo empleado para realizar la exploración visual será mayor, lo que implica un mayor número de puntos de fijación y por tanto la trayectoria visual será más extensa.

Figura 5.12: Grafos de la Distancia de la Trayectoria visual de exploración por Grupos de sujetos.

Según los gráficos, los sujetos del grupo Guiado muestra una tendencia a tener necesitar una trayectoria visual inferior a la requerida por los sujetos No Guiados. Es decir, estos últimos necesitan hacer una exploración mayor para encontrar la interacción correcta que lleve a alcanzar cada Objetivo. Dicho de otra forma, la exploración realizada es más efectiva para el grupo Guiado.

Llama la atención que en los Objetivos 1 y 2 de la Tarea 3 la trayectoria visual de los pacientes es menor que los otros dos grupos. Recordar que en estos objetivos el tiempo empleado es el mismo para todos los sujetos (hay que esperar el turno). Podría deberse a que los sujetos sanos realizan una exploración más dinámica (exploran más, miran más cosas mientras esperan), que los pacientes.

5.5.4. Mapa de calor

El Mapa de Calor (MC) o Heat Map es una de los métodos más utilizados para la representación de los datos de atención visual. Permite conocer de un vistazo las zonas de la pantalla donde se centró el foco de atención. A través del código color se representa la forma en la que se reparten por la pantalla los puntos de fijación registrados, de modo que los colores cálidos (rojo) indicarán las zonas con mayor densidad, es decir donde coinciden un mayor número de puntos. Además de ello, en representación propuesta en la tesis se mantienen dibujando con un aspa ("X") todos los puntos de fijación

registrados. La construcción de los MC se basa en un algoritmo de creación de la función densidad de probabilidad bidimensional a partir de núcleos Gaussianos de media 0 y varianza 15 (valor establecido empíricamente) que han sido asignados a cada uno de los puntos de fijación registrados. De esta forma no se trabaja exclusivamente con puntos aislados sino que se transforma cada coordenada en el plano en una pequeña región de fijación visual. Esto permite obtener MC representativos aunque el tiempo de adquisición de datos de atención haya sido menos (por ejemplo en escenas cortas) y por tanto no se tenga un gran número de datos. En la Figura se muestra el mapa 3D correspondiente a la función densidad de probabilidad hallada (izquierda), y el MC resultado de la misma (derecha)

Figura 5.13: Mapa 3D de la función densidad de probabilidad para una Escena (izquierda), y su correspondiente MC (derecha).

Hay que tener en cuenta que al trabajar con vídeo, algunas escenas en las que la acción visualizada sea dinámica. Algunos de los estímulos mostrados se encuentran en movimiento o incluso y aparecer otros nuevos en pantalla, como por ejemplo ocurre en la Tarea 2 de la AVD desarrollada en esta Tesis que transcurre en la calle. Por tanto, la imagen sobre la que se representa los MC tiene que ser representativa, pero esta característica hay que tenerla presente a la hora de analizar el resultado final. No ocurre lo mismo en las secuencias de vídeo en las que el escenario es más tranquilo, como por ejemplo la casa, como muestran las Figuras presentadas a continuación. Muestran el MC correspondiente a la Escena principal del Objetivo 1. Se representan los datos acumulados para cada uno de los grupos, es decir, el conjunto de los datos registrados para la Escena en el grupo Guiado (Figura 5.15), No Guiado (Figura 5.14) y Pacientes (Figura 5.19). Acompañando a cada MC se muestra el fotograma original del vídeo sobre el que se imprime la información

procesada de eye-tracking. Nótese que en el caso del grupo No Guiado no aparece instrucción.

Figura 5.14: Mapa de Calor de la escena principal del Objetivo 1 - Tarea 1. Grupo No Guiado.

Figura 5.15: Mapa de Calor de la escena principal del Objetivo 1 - Tarea 1. Grupo Guiado.

Comparando los MC de los sujetos Guiados y No Guiados, se observa que los puntos de fijación de los primeros se encuentran concentrados en los Estímulos importantes, mientras que los No Guiados realizan una exploración más extensa. Estos datos soportan de nuevo la hipótesis planteada de que la intervención terapéutica favorece la eficacia de la ejecución de la tarea.

Por otro lado, se observa una mayor densidad de puntos de atención visual en el MC de los Pacientes. Como se vio en el análisis de los datos de ejecución (Capítulo 4) el tiempo empleado para completar el Objetivo es mayor, lo que implica un mayor número de datos registrados. No obstante no se observa

Figura 5.16: Mapa de Calor de la escena principal del Objetivo 1 - Tarea 1. Grupo Pacientes.

una gran dispersión de los mismos, si no que se concentran en los Estímulos clave (recordar que el Objetivo 1 es apagar la televisión, para lo que hay que interactuar con el mando a distancia). Esta concentración de los puntos de atención visual se confirma con el dato de la distancia de la trayectoria de exploración, que según los datos expuestos en el apartado anterior y a que a pesar de existir más puntos de fijación, no es muy superior al de por ejemplo el grupo No Guiado. Una posible hipótesis de lo sucedido podría referir a que los pacientes emplean más tiempo para examinar cada uno de los Estímulos, mientras que en los otros dos grupos la exploración se realiza más rápidamente.

La información sobre los Estímulos que concentran la mayor atención del paciente, puede ser útil para mejorar la estrategia de intervención. Es decir, puede desvelar el potencial como distractor de algunos Estímulos mostrados, y que durante el diseño no fueron considerados como Estímulos activos, y de esta forma vincular una intervención terapéutica específica. En la Figura se observa como los pacientes centran la atención en la pareja que mira el escaparte, situando el principal foco de atención en la parte derecha de la pantalla, cuando el Estímulo cuya interacción lleva a lograr el Objetivo de la Escena, se encuentra a la izquierda.

Los MC sirven por tanto de complemento a los datos de la monitorización del flujo de actividad, lo que puede ayudar a comprender algunas situaciones. En el análisis del Capítulo anterior se observó como para el Objetivo 3 de la Tarea 1 los tiempos y errores del grupo No Guiado superaban considerablemente a los otros dos. En la Figura se muestra los respectivos MC para cada grupo (No Guiados, Guiados y Pacientes) en la principal Escena correspondiente a dicho Objetivo. Mientras que los sujetos Guiados y Pacientes (MC del centro y derecha) centran la atención en el Estímulo superior (indicador para avanzar

Figura 5.17: MC correspondiente a la Escena principal del Objetivo 3 - Tarea 2. Grupo Pacientes.

hacia el receptor), en los No guiados (MC de la izquierda) destaca además, y casi con mayor intensidad, el Estímulo situado a la derecha (indicador de ir a la cocina) y que se lleva al sujeto a realizar un error.

Figura 5.18: MC correspondientes al Objetivo 3 de la Tarea1. Grupo No Guiado (izquierda), Guiado (centro), Pacientes (derecha).

5.5.5. Mapa de exploración visual

El Mapa de Exploración Visual (MEX) muestra la trayectoria que el sujeto dibuja con su mirada sobre la pantalla realiza la exploración visual. Aporta la información temporal a la secuencia de fijaciones, es decir, permite conocer el orden en el que prestó atención a los distintos Estímulos de la Escena.

Para representarlo se dibuja el primer punto de fijación, al que se le asigna el número 1, indicando así el orden dentro de la trayectoria final. Si el segundo punto de fijación se encuentra junto al primero se incluirá dentro del mismo grupo (círculos de orden de la Figura), si no es así se le atribuirá un nuevo número de orden, y se dibujará la línea para unirlos. Un ejemplo completo de este proceso se muestra en la Figura. Como se puede observar, el MEX se combina con el MC de esta forma aporta información sobre la duración de la fijación visual. Aquellos puntos de fijación aislados, como por ejemplo el número 24 de la Figura, se corresponden con movimientos sacádicos entre dos fijaciones (23 y 35).

Figura 5.19: MEX de la Escena del Objetivo 3 - Tarea 3. Correspondiente a un sujeto del grupo No Guiado. Ejemplo de exploración visual

Estas representaciones aportan información sobre la forma en que el paciente se enfrenta al conjunto de Estímulos ante el que se le sitúa. Cuáles de esos Estímulos captaran su atención primero, o la influencia que uno de ellos puede causar en el paciente para reorientar su atención visual. En la siguiente Figura se aprecia como son los carteles situados a la izquierda de la puerta los que primero atraen la atención del paciente, y una vez lee la instrucción se centra en la puerta, que es el Estímulo con el que debe interactuar para lograr el Objetivo de ese Estado de la Tarea 2 (“entrar en la panadería”).

El valor añadido que aporta la información temporal ayuda a diferenciar los MC que en apariencia pueden ser similares. En la Figura se muestran dos ejemplos en los que regiones de interés son muy parecidas, pero que en las que el orden en el que se exploran establece que una de ellas (izquierda) finalice con un acierto (interacción con el mando a distancia) y por tanto con la consecución del objetivo (apagar la TV), y la otra (derecha) muestra a una interacción errónea (con la TV).

La forma en la que el paciente explora la Escena puede desvelar las posibles causas que motivan un error cometido. En la Figura se muestran dos ejemplos

Figura 5.20: MEX de la Escena del Objetivo 6 - Tarea 2. Correspondiente a un sujeto Paciente. Ejemplo del orden de fijación de los Estímulos.

Figura 5.21: MEX de la Escena del Objetivo 1 - Tarea 1. Correspondiente a dos sujetos Pacientes distintos (izquierda y derecha). MC de calor similares pero trayectorias de exploración visual distintas.

en los que los pacientes pueden no conocer el Objetivo del Estado de Tarea en el que se encuentran ya que no han leído la instrucción. En un caso comienza a leerla pero no la completa (izquierda) y en el otro (derecha) el foco de atención ni siquiera se acerca al Estímulos Texto que contiene la indicación.

Al hilo de lo anterior, comparando los MEX mostrados en la Figura, se aprecia ciertas irregularidades en el de la derecha. Podría deberse a dificultades para la lectura o comprensión de los mensajes. En este caso concreto, perteneciente al Objetivo 5 de la Tarea 2, se debe interaccionar con uno de los dos mensajes para contestar a la pregunta que realiza el personaje. La respuesta correcta se corresponde con la segunda respuesta.

Figura 5.22: MEX correspondientes a sujetos Pacientes. No leer las instrucciones como posible causa de los errores.

Figura 5.23: MEX de dos sujetos Pacientes. El análisis de la exploración visual de los mensajes podría indicar dificultades en la lectura o comprensión.

5.5.6. Reproducción enriquecida de la AVD

El conjunto de la información monitorizada permite reproducir la tarea realizada por el paciente durante la sesión de rehabilitación, incluyendo además la información sobre su atención visual. Con todo ello, el neuropsicólogo puede ver reproducida la AVD tal como la ejecutó el paciente, los movimientos y clics que realizó con el ratón, y una representación de su foco de atención visual en cada instante. En la Figura se muestran los detalles de esta reproducción, donde el símbolo con forma de ojo azul representa el punto donde estaba mirando el paciente en el instante de la tarea, y el puntero color granate indica la posición exacta en el que tenía posicionado el ratón. Cuando se realiza interacción tipo “clic” se emitirá un sonido y el símbolo que representa el puntero cambiará tal como se muestra en la imagen de la derecha.

Figura 5.24: Reproducción de la AVD con información de interacción y atención visual.

5.6. Discusión

Un análisis basado en métricas sencillas puede resultar insuficiente para conocer los pormenores de la sesión realizada por el paciente, y por tanto una limitación para aprovechar todo el potencial que ofrecen los entornos virtuales interactivos aplicados a neurorrehabilitación cognitiva. El alto número de estímulos junto a la diversidad de las interacciones, así como todas sus posibles combinaciones, hacen necesario aplicar metodologías de monitorización que ofrezcan al neuropsicólogo la información necesaria para estudiar y evaluar la respuesta cognitiva del paciente durante cada instante de la tarea. La tecnología de eye-tracking permite conocer detalles de la atención visual del paciente ante las situaciones a las que se enfrenta durante la actividad. Permite comparar su atención y reacción ante estímulos y distractores. Combinada con la información sobre su interacción, estos datos ayudan a conocer y comprender el comportamiento e intención del paciente en cada instante de la AVD.

En la presentación de los resultados de este Capítulo se han expuesto algunas de las principales opciones de representación de los datos derivados de la monitorización propuesta. Se ha discutido sobre la información que aporta al proceso de rehabilitación mostrando de qué forma complementa a las métricas tradicionales, las cuales no consiguen transmitir los detalles necesarios para evaluar la ejecución del paciente.

Además de como herramienta para la evaluación del paciente, la información extraída de la monitorización puede tener un papel clave para evaluar tanto el diseño de la AVD como de la estrategia de intervención realizada. Discutir las hipótesis sobre el comportamiento del paciente ante los Estímulos presentados, confirmándolas o aportando los datos necesarios para mejorar la efectividad de la intervención, por ejemplo mediante la detección de nuevos distractores o regiones de interés que necesitan ser incorporadas en la

estrategia de intervención.

Por tanto, el sistema de monitorización propuesto permite monitorizar el tratamiento de rehabilitación basado en AVD sobre entornos virtuales interactivos, aportando datos objetivos de la interacción, atención visual y ejecución de la actividad. A día de hoy no se puede confirmar la utilidad clínica de estos datos, no obstante se ofrecen los medios necesarios para en un futuro estudiar de forma metodológica los instrumentos propuestos en este Capítulo.

Capítulo 6

Conclusiones y trabajos futuros

6.1. Discusión de las hipótesis de investigación

A continuación se exponen las hipótesis que fueron recogidas en el Capítulo 2 de la Tesis y se discute si son aceptadas o rechazadas en función de los resultados y del trabajo expuesto a lo largo de la memoria de investigación.

H1. El uso de metodologías para la definición y formalización de intervenciones terapéuticas basadas en actividades de vida diaria podrían ayudar a utilizar de forma óptima los entornos virtuales como herramienta dentro de procesos de rehabilitación cognitiva.

La metodología para el modelado de tratamientos de rehabilitación cognitiva propuesta permite formalizar la definición de AVD que serán implementadas sobre entornos virtuales interactivos. Se basa en la definición de la actividad a partir de la identificación de ingredientes activos para el paciente. A raíz de esto, la metodología permite el diseño de estrategias de intervención terapéutica a partir de las hipótesis sobre el comportamiento del paciente durante la ejecución de la actividad. Además estas hipótesis, definidas a partir del conocimiento y experiencia del profesional clínico, serán evaluadas cada vez que el paciente ejecute la AVD. Este hecho permite la generación de nuevo conocimiento clínico basado en el uso de los entornos virtuales interactivos.

El uso de lenguaje de representación del conocimiento fomenta la integración de tecnologías, tales como la realidad virtual o el vídeo interactivo, en la comunidad clínica y científica. Puede facilitar la comprensión, aprendizaje y correcta manipulación de intervenciones terapéuticas complejas con múltiples componentes activos. También motiva la diseminación y compartición de nuevos tratamientos y resultados en beneficio de su uso y del estudio sobre su verdadera eficacia. Evolucionar la metodología hacia una ontología integrada

en la comunidad científica podría ayudar a potenciar su uso y por tanto el de las terapias basadas en entornos virtuales interactivos.

En cierto modo, parte del potencial de los entornos virtuales viene dado por la gran cantidad de estímulos e interacciones con las que se consiguen infinidad de posibles configuraciones. No obstante, es esta característica, unida al nivel de detalle requerido en su definición para aprovechar todas sus bondades, la que sugiere la necesidad de desarrollar herramientas que den soporte al neuropsicólogo en el diseño y planificación de las estrategias de intervención. El diseño y desarrollo del prototipo expuesto en el Capítulo 3.

El uso de la metodología propuesta ha permitido diseñar una AVD para ser implementada en un entorno virtual y utilizada como herramienta de rehabilitación cognitiva. Esto se ha realizado abstrayendo al terapeuta de la dificultad implícita al uso de la tecnología compleja utilizada para desarrollar los entornos virtuales. Este hecho, sumado a la viabilidad de expresar la metodología como una ontología y de ser soportada por herramientas software que ayuden a los profesionales clínicos a hacer uso de la misma, permiten confirmar la hipótesis de investigación.

H2. El vídeo interactivo es una tecnología adecuada para reproducir actividades de vida diaria en entornos virtuales interactivos sobre los que desarrollar intervenciones de rehabilitación cognitiva.

Los entornos virtuales interactivos desarrollados mediante la tecnología de vídeo interactivo permiten desarrollar actividades de vida diaria diseñadas como soporte de intervención terapéutica para rehabilitación cognitiva. Esta tecnología ofrece una solución que, basada en los requisitos y necesidades de la rehabilitación, extrae y aplica los beneficios de los entornos virtuales a los tratamientos cognitivos.

Permite implementar estrategias de intervención según un aprendizaje libre de errores. De esta forma, el neuropsicólogo puede, a partir del diseño previo, modelar de forma no presencial y asíncrona el comportamiento del paciente durante la actividad, alejándolo de posibles comportamientos anómalos, y potenciando conductas adaptativas.

La prueba de concepto presentada en el Capítulo 4 implementa la AVD diseñada en el Capítulo 3. Se ha desarrollado un entorno virtual basado en tecnología de VI y evaluado a partir de un estudio experimental. Dividido en dos fases, el estudio ha permitido evaluar aspectos como la robustez, madurez y usabilidad de cara a ser integrado en rutina clínica. Además, en la primera fase, se ha comprobado la capacidad del sistema para influir sobre el comportamiento de los usuarios. La segunda fase, ha permitido confirmar los resultados positivos en cuanto a la experiencia de usuario pero en un contexto de uso real, con pacientes con déficit cognitivo. La tecnología de VI

ha permitido desarrollar un entorno virtual interactivo donde se reproduce la AVD “ir a comprar el pan”. De acuerdo con la estrategia de intervención diseñada el entorno es capaz de mejorar la eficacia de la ejecución de los sujetos, favoreciendo la consecución de los objetivos planteados. Finalmente la experiencia de uso permite afirmar que el entorno desarrollado ha alcanzado la madurez necesaria para ser utilizado por pacientes con daño cerebral. Por tanto, se puede afirmar que puede ser utilizada para desarrollar intervención en rehabilitación cognitiva confirmando de esta forma la hipótesis H2.

H3. El registro de la atención visual aporta datos objetivos que complementan la monitorización de la ejecución de la actividad abriendo nuevas vías para la exploración y análisis de nuevas estrategias conductuales.

El sistema de monitorización propuesto permite obtener información objetiva de la atención visual, las interacciones realizadas con el entorno, y relativa a la ejecución de la actividad. La combinación de estas métricas avanzadas permite obtener información objetiva sobre el comportamiento del paciente en cada instante de la AVD. Estos nuevos datos podrían ser relevantes para su uso clínico, cuyo significado terapéutico podrá ser estudiado a través de esta tecnología en estudios subsiguientes.

Los datos de la atención visual permiten conocer sobre qué estímulos centró la atención el paciente o de qué manera exploró los estímulos mostrados. De ello se puede extraer información sobre la causa que le llevó a actuar de una determinada forma, posibles distractores que desviaron su atención del camino correcto o de qué forma reaccionó ante algunos ante ciertos estímulos. Toda esta información puede ser utilizada para conocer en profundidad los detalles de la ejecución, así como para evaluar el diseño de la actividad y tratar así de adaptarlo al perfil del paciente para hacer más efectiva la intervención terapéutica.

En el Capítulo 5 se han mostrado diferentes formas de representación de la información monitorizada durante ambas fases del estudio realizado en esta Tesis. Los datos registrados para los distintos grupos de sujetos confirma la capacidad del entorno virtual para influir sobre el comportamiento del paciente, y la capacidad para identificar en tiempo real entre conductas patológicas de aquellas que no.

La información de la atención visual del paciente, combinada con datos de su interacción y del registro de ejecución de la actividad podría ser de gran utilidad para la evaluación y estudio de las intervenciones terapéuticas en entornos virtuales interactivos. El sistema de monitorización desarrollado permite registrar de forma objetiva esta información ofreciendo así los medios necesarios al análisis metodológico que revelen la utilidad clínica de estos nuevos medios. De esta forma podemos confirmar la hipótesis H3.

6.2. Contribuciones principales de la tesis

6.2.1. Aportaciones

- A1.** Metodología para el modelado y diseño terapias de rehabilitación cognitivas basadas en AVD terapéuticas sobre
- A2.** Versión inicial de una Ontología para el diseño de estrategias de intervención basadas en AVD dentro de terapias de rehabilitación cognitiva.
- A3.** Prototipo de una herramienta software para el diseño gráfico de estrategias de intervención terapéutica mediante la definición de AVD interactivas.
- A4.** Diseño e implementación de una AVD de rehabilitación cognitiva mediante la metodología resultado de la Tesis.
- A5.** Entorno virtual para rehabilitación cognitiva desarrollado mediante tecnología de vídeo interactivo, incluye la implementación de la AVD diseñada.
- A6.** Sistema de monitorización avanzado para actividades desarrolladas sobre entornos virtuales interactivos. Incluye la integración de un sistema de eye-tracking con el entorno virtual interactivo.

6.2.2. Publicaciones

6.2.2.1. Internacionales

- JM Martínez-Moreno, P Sánchez-González, M Luna, T Roig, JM Tormos, EJ Gómez. Modelling ecological cognitive rehabilitation therapies for building virtual environments in brain injury. *Methods of information in medicine*. 2015. ISSN: 0026-1270. doi: <http://dx.doi.org/10.3414/ME15-01-0050>
- JM Martínez-Moreno, J Solana, R Sánchez-Carrión, P Sánchez-González, J López, T Roig, JM Tormos, EJ Gómez. Assessing a cognitive rehabilitation environment based on interactive video and eye-tracking technologies. In *International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)*. 2015. IEEE. (pp 125-126). doi: 10.1109/ICVR.2015.7358608.
- JM Martínez-Moreno, P Sánchez-González, A García, S González, C Cáceres, R Sánchez-Carrión, T Roig, JM Tormos, EJ Gómez. A graphical tool for designing interactive video cognitive rehabilitation therapies. *XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering*

- and Computing 2013. Springer International Publishing. Vol 41 of the series IFMBE Proceedings (pp 1803-1806). doi: 10.1007/978-3-319-00846-2_445.
- JM Martínez Moreno, J Solana Sánchez, R Sanchez Carrion, S González Palmero, S Sánchez González, C Gómez Pérez, M Morell Vilaseca, C Cáceres Taladriz, T Roig Rovira, JM Tormos Muñoz, EJ Gómez Aguilera. Monitoring visual attention on a neurorehabilitation environment based on Interactive Video. International Conference on Recent Advances in Neurorehabilitation (ICRAN) 2013.pp 182-185
 - JM Martínez-Moreno, J Solana, R Sánchez, S González, P Sánchez-González, C Gómez, M Morell, C Cáceres, T Roig-Rovira, JM Tormos, EJ Gómez. Cognitive neurorehabilitation based on interactive video technology. In ICIMTH 2013. Informatics, Management and Technology in Healthcare. Vol 190 (pp. 27-29). Studies in Health Technology and Informatics. doi: 10.3233/978-1-61499-276-9-27

Actualmente existe un trabajo en proceso de redacción para ser enviado a una revista indexada presentando los resultados y análisis de los estudios de evaluación (Fase 1 y Fase 2) realizados para la evaluación del entorno de rehabilitación basado en vídeo interactivo y eye-tracking.

6.2.2.2. Nacionales

- J.M. Martínez-Moreno, P. Sánchez-González, J.L.García, R. Sánchez-Carrión, J.M. Tormos, E.J. Gómez Aguilera. Estudio de validación preclínica de un entorno de rehabilitación cognitiva basado en vídeo interactivo y eye-tracking. Actas del XXXIII Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica. CASEIB 2015. pp 212-215. ISBN: 978-84-608-3354-3
- N. Ballesteros, J.M. Martínez-Moreno, J. López, P. Sánchez-González, R. Sánchez-Carrión, J.M. Tormos, E.J. Gómez Aguilera. Estudio de validación preclínica de un entorno de rehabilitación cognitiva basado en vídeo interactivo y eye-tracking. Actas del XXXIII Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica. CASEIB 2015. pp 435-438. ISBN: 978-84-608-3354-3
- JM. Martínez-Moreno, J. Solana Sánchez, C. Gómez Pérez, C. Cáceres Taladriz, S. González Palmero, M. Morell Vilaseca, T. Roig Rovira, J.M. Tormos Muñoz, E.J. Gómez Aguilera. "Integración de tecnologías eye-tracking con vídeos interactivos para neurorrehabilitación cognitiva". Actas del XXX Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica, Noviembre, 2012.

- J.M. Martínez-Moreno, P. Sánchez-González, M. Morell Vilaseca, A. García Rudolph, S. González Palmero, A. García-Molina, T. Roig Rovira, C. Cáceres Taladriz, J.M. Tormos Muñoz, E.J. Gómez Aguilera. “Entornos virtuales de vídeo interactivo para neurorrehabilitación cognitiva”. Actas del XXIX Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica, Noviembre, 2011

6.3. Trabajo futuros

6.3.1. Metodología de diseño de AVD

Los principales trabajos futuros que se pretenden llevar a cabo en relación al diseño y definición de estrategias de intervención terapéuticas basadas en AVD son los siguientes:

1. Desarrollar en profundidad la versión preliminar de la ontología e integrarla con otras taxonomías y ontologías del dominio de conocimiento de la rehabilitación cognitiva, tales como Rehabilitation Treatment Taxonomy [Dijkers:2014] o Traumatic Brain Injury Ontology [Grove:2013b]. El objetivo es trabajar formalizar el proceso de intervención, terminología compartida dentro de la comunidad científica para potenciar la diseminación y compartición de nuevos tratamientos y resultados, que permitan por ejemplo comparar resultados y sentar las bases para evaluar la eficacia de los mismos.
2. Continuar con el desarrollo de la herramienta de edición de guiones terapéuticos. Incluir nuevas funcionalidades que faciliten el diseño de las AVD y asistan al neuropsicólogo en la creación y configuración de las actividades. Por ejemplo, mediante la creación de bibliotecas asociadas a temáticas (personajes, supermercado, casa, etc.) donde se encuentren esquemas de estructuras de Estados y Estímulos, para de esta forma agilizar la creación de nuevos diseños.
3. Como evolución de estas funcionalidades se podría pensar en la herramienta desde un punto de vista de asistente al diseño de intervenciones terapéuticas. A partir del conocimiento generado mediante las hipótesis terapéuticas realizadas en diseños previos y de sus consiguientes evaluaciones, proponer al neuropsicólogo aquellas intervenciones que la experiencia clínica han resultado más eficaces para el perfil cognitivo determinado.
4. Investigación en la evaluación de la metodología propuesta, tanto nivel de formalización del proceso de diseño de AVD, como en los diferentes módulos descritos: ontología y herramienta software.

6.3.2. Entorno virtual de video interactivo

1. Diseño y desarrollo de nuevos estudios experimentales que permitan evaluar la eficacia de los entornos virtuales propuestos sobre pacientes. En una primera etapa podría centrarse en adaptar la AVD propuesta en esta Tesis a distintos perfiles cognitivos, de forma que se trate de incrementar la eficacia de la ejecución de cada paciente con las intervenciones adecuadas a las características del déficit que presentan. Esto permitiría evaluar cómo de eficaz es la intervención realizada sobre el paciente.
2. Trabajar en agilizar el proceso de creación de VI. Potenciar el desarrollo de entornos flexibles que permitan reutilizar recursos multimedia. Aumentando de esta forma las posibilidades de configuración, y al mismo tiempo potenciando la sostenibilidad de la tecnología. Para ello es necesario abordar el proceso completo de la creación del entorno virtual:
 - Desarrollo de una herramienta permita la gestión automática de los recursos multimedia a partir de los descriptores generados por la herramienta de edición de guiones terapéuticos. Así como otras utilidades como la edición del vídeo, selección de zonas calientes o el empleo de algoritmos de seguimiento que ayuden a mejorar la experiencia de interacción.
 - Reproductor de VI capaz de integrar y soportar en vídeo interactivo formado a partir de la composición digital de diferentes recurso audiovisuales. Uso de técnicas de composición digital multicapa.
3. Integración con el VI desarrollado nuevos dispositivos de interacción que hagan más accesible el entorno virtual para pacientes con limitaciones funcionales. El uso del eye-tracker como dispositivo de interacción, la incorporación de dispositivos de captación de movimiento (Kinect, Leap Motion), o incluso el uso de interfaces cerebro-computador (BCI en inglés) basadas en transformar la actividad cerebral en acciones reales en nuestro entorno.

6.3.3. Sistema de monitorización avanzado

1. Investigación de la utilidad clínica de las métricas avanzadas registradas por el sistema de monitorización propuesto en entornos virtuales de rehabilitación. Un primer paso podría pasar por el análisis de patrones de las métricas monitorizadas y su relación con los diferentes perfiles cognitivos. Basados en la atención visual (trayectoria de exploración visual o distribución de fijaciones), interacción (movimientos de ratón o frecuencia e intención de los clics realizados), o métricas de ejecución de

la actividad (tiempos o errores realizados para los diferentes objetivos). Así como la distintas combinaciones entre cada una métricas.

2. Incorporación de técnicas de clustering para la detección automática de nuevas regiones de interés. Como se ha destacado a lo largo del Capítulo 5, es muy importante el papel de la monitorización para la evaluación del propio diseño de la actividad. El uso de estas técnicas podría ayudar a mejorar el diseño de las AVD en base a las ejecuciones de los propios pacientes, sugiriendo posibles distractores a tener en cuenta en la estrategia de intervención.
3. Incluir nuevas técnicas de monitorización al sistema. Por ejemplo monitorización de la actividad cerebral (EEG) para el estudio de patrones atencionales integrados con el eye-tracking; detección de emociones, para analizar el estado de ánimo y motivación; o incluso parámetros fisiológicos como el pulso cardíaco que permitieran revelar situaciones de ansiedad o estrés del paciente ante las escenas de vida diaria reproducidas en el entorno virtual.

Bibliografía

- [Alice:2015] “Alice: An educational software that teaches students computer programming in a 3D environment.”, <http://www.alice.org/index.php>, Última fecha de consulta: diciembre 2015.
- [Biausa:2015] “Brain Injury Association of America (BIAUSA).”, <http://www.biausa.org>, Última fecha de consulta: septiembre 2015.
- [GNPT:2015] “Guttmann NeuroPersonalTrainer.”, <https://www.gnpt.es/>, Última fecha de consulta: diciembre 2015.
- [NINDS:2009] “National Institute for Neurological Conditions and Stroke (NINDS) Common Data Elements (CDE) project overview.”, <https://commondataelements.ninds.nih.gov/ProjReview.aspx#tab=Introduction>, Última fecha de consulta: diciembre 2015.
- [NeuroVR:2015] “NeuroVR 2.0.”, <http://www.neurovr2.org/>, Última fecha de consulta: diciembre 2015.
- [Tobii:2015] “Sistema de eye-tracking Tobii.”, <http://www.tobii.com/en/>, Última fecha de consulta: diciembre 2015.
- [SEIS:2015] “Sociedad Española de Informática Médica. Índice SEIS 2014.”, <http://www.seis.es/documentos/SEISINDICE%202014.pdf>, Última fecha de consulta: diciembre 2015.
- [Guttmann:2008] “Instituto Guttmann Hospital de neurorrehabilitación.” *Boletín del Real Patronato sobre Discapacidad*, (63), 4–13, 2008.

- [Ramiro-González:2012] *El equipo de trabajo en neurorrehabilitación. In Neurorrehabilitación: Métodos específicos de valoración y tratamiento*, Editorial Médica Panamericana, 2012.
- [Aghajan:2015] Z. M. Aghajan, L. Acharya, J. J. Moore, J. D. Cushman, C. Vuong, y M. R. Mehta, "Impaired spatial selectivity and intact phase precession in two-dimensional virtual reality." *Nature Neuroscienc*, 18, 121–128, 2015.
- [Alves:2016] J. Alves, A. Vourvopoulos, A. Bernardino, S. B. i Badia, et al., "Eye Gaze Correlates of Motor Impairment in VR Observation of Motor Actions." *Methods of information in medicine*, 2016.
- [Anselme:2013] P. Anselme, M. Poncelet, S. Bouwens, S. Knips, F. Lekeu, C. Olivier, A. Quittre, C. Van Heugten, S. Warginaire, V. Wojtasik, F. Verhey, E. Salmon, y S. Majerus, "Profinteg: a tool for real-life assessment of activities of daily living in patients with cognitive impairment." *Psychologica Belgica*, Year = 2013, Volume = 53, Number = 1, Pages = 3-22,.
- [Ardila:2012] A. Ardila y F. Ostrosky, "Guía para el diagnóstico neuropsicológico." *Florida: American Board of Professional Neuropsychology*, 2012.
- [Ardila:2007] A. Ardila y M. Rosselli, *Neuropsicología clínica*, Editorial El Manual Moderno, 2007.
- [Aresti:2015] N. Aresti-Bartolome y B. Garcia-Zapirain, "Cognitive rehabilitation system for children with autism spectrum disorder using serious games: A pilot study." *Bio-Medical Materials and Engineering*, 26 (s1), 811–824, 2015.
- [Bernards:2010] B. J. Baars y N. M. Gage, *Cognition, brain, and consciousness: Introduction to cognitive neuroscience*, Academic Press, 2010.
- [Bangor:2009] A. Bangor, P. Kortum, y J. Miller, "Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale." *Journal of usability studies*, 4 (3), 114–123, 2009.

- [Bejot:2007] Y. Bejot, I. Benatru, O. Rouaud, A. Fromont, J. P. Besancenot, T. Moreau, y M. Giroud, "Epidemiology of stroke in Europe: geographic and environmental differences." *Journal of the neurological sciences*, 262 (1), 85–88, 2007.
- [Bernabeu:1999] M. Bernabeu y T. Roig, *La rehabilitación del traumatismo craneoencefálico: un enfoque interdisciplinar*, Fundació Institut Guttmann, 1999.
- [Bernabeu:2002] M. Bernabeu y T. Roig, "Unidad de daño cerebral en el Instituto Guttmann." *Hospital de neurorrehabilitación. Minusval Especial Rehabilitación del Daño Cerebral*, 76–81, 2002.
- [Berry:2007] E. Berry, N. Kapur, L. Williams, S. Hodges, P. Watson, G. Smyth, J. Srinivasan, R. Smith, B. Wilson, y K. Wood, "The use of a wearable camera, SenseCam, as a pictorial diary to improve autobiographical memory in a patient with limbic encephalitis: A preliminary report." *Neuropsychological Rehabilitation*, 17 (4-5), 582–601, 2007.
- [Bisio:2015] A. Bisio, L. Avanzino, N. Gueugneau, T. Pozzo, P. Ruggeri, y M. Bove, "Observing and perceiving: a combined approach to induce plasticity in human motor cortex." *Clinical Neurophysiology*, 126 (6), 1212–1220, 2015.
- [Blázquez-Alisente:2009] Z. A. Blázquez Alisente, José Luis, *Estimulación cognitiva y rehabilitación neuropsicológica de la percepción*. In *Estimulación cognitiva y rehabilitación neuropsicológica*, Editorial UOC, 2011.
- [Brown:2010] D. M. Brown, *Communicating design: developing web site documentation for design and planning*, New Riders, 2010.
- [Browning:1994] D. R. Browning, C. Cruz-Neira, D. J. Sandin, y T. A. DeFanti, "Projection-based virtual environments and disability.", en *Virtual Reality Conference*, 1994.
- [Buccino:2014] G. Buccino, "Action observation treatment: a novel tool in neurorehabilitation." *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369 (1644), 20130.185, 2014.

- [Calvo-Merino:2005] B. Calvo-Merino, D. E. Glaser, J. Grèzes, R. E. Passingham, y P. Haggard, "Action observation and acquired motor skills: an FMRI study with expert dancers." *Cerebral cortex*, 15 (8), 1243–1249, 2005.
- [Cao:2010] X. Cao, A. Douguet, P. Fuchs, y E. Klinger, "Designing an ecological virtual task in the context of executive functions: preliminary study.", en *Proc. 8 th Intl Conf. on Disability, Virtual Reality and Assoc. Technologies. PM Sharkey, J Sanchez (Eds)*, 71–77, 2010.
- [Carnicero:2014] J. Carnicero, A. Fernández, D. Rojas de la Escalera, et al., "Manual de salud electrónica para directivos de servicios y sistemas de salud. Volumen II: Aplicaciones de las TIC a la atención primaria de salud.", 2014.
- [Casas:2008] C. Casas, "Traumatismos craneoencefálicos." *Asociación Española de Pediatría*, 2008.
- [Casile:2011] A. Casile, V. Caggiano, y P. F. Ferrari, "The mirror neuron system: a fresh view." *The Neuroscientist*, 1073858410392239, 2011.
- [Castelnuovo:2003] G. Castelnuovo, C. L. Priore, D. Liccione, y G. Cioffi, "Virtual Reality based tools for the rehabilitation of cognitive and executive functions: the V-STORE." *PsychNology Journal*, 1 (3), 310–325, 2003.
- [Woodward:2008] B. W. L. P. E. Center, "Understanding brain injury: A guide for the family." *Rochester, Minn.: Mayo Foundation for Medical Education and Research*, 2008.
- [Cicerone:2006] K. Cicerone, H. Levin, J. Malec, D. Stuss, y J. Whyte, "Cognitive rehabilitation interventions for executive function: moving from bench to bedside in patients with traumatic brain injury." *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18 (7), 1212–1222, 2006.
- [Cicerone:2011] K. D. Cicerone, D. M. Langenbahn, C. Braden, J. F. Malec, K. Kalmar, M. Fraas, T. Felicetti, L. Laatsch, J. P. Harley, T. Bergquist, et al., "Evidence-based cognitive rehabilitation: updated review of the literature from 2003 through 2008." *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 92 (4), 519–530, 2011.

- [Clark:2012] D. L. Clark, N. N. Boutros, y M. F. Méndez, *El cerebro y la conducta: neuroanatomía para psicólogos*, Editorial El Manual Moderno, 2012.
- [GestureTek:2015] G. Company, “Gesture Tek.”, <http://www.gesturetek.com>, Última fecha de consulta: diciembre 2015.
- [Correa:2007] A. G. D. Correa, G. A. de Assis, M. d. Nascimento, I. Ficheman, y R. d. D. Lopes, “Genvirtual: An augmented reality musical game for cognitive and motor rehabilitation.”, en *Virtual Rehabilitation, 2007*, 1–6, IEEE, 2007.
- [daCosta:2000] R. da Costa, L. A. V. de Carvalho, y D. F. de Aragon, “Virtual city for cognitive rehabilitation.”, en *Proceedings of the 3rd International Conference on Disability Virtual Reality and Associated Technologies. Alghero, Sardinia*, 299–304, 2000.
- [RED:2014] S. de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información, “Observatorio nacional de las telecomunicaciones y de la SI. La Sociedad en Red. Informe Anual 2013.”, <http://www.ontsi.red.es/ontsi/es/estudios-informes/informe-del-sector-tic-y-los-contenidos-en-espa%C3%B1a-2013-edici%C3%B3n-2014>, Última fecha de consulta: diciembre 2015.
- [AMETIC:2015] A. de la e-Salud en España 2014, “AMETIC.”, <http://ametic.es/es/publicaciones/an%C3%A1lisis-de-la-e-salud-en-espa%C3%B1a-2014>, Última fecha de consulta: diciembre 2015.
- [Noreña:2010] D. De Noreña, M. Ríos-Lago, I. Bombín-González, I. Sánchez-Cubillo, A. García-Molina, y J. Tirapu-Ustárriz, “Efectividad de la rehabilitación neuropsicológica en el daño cerebral adquirido (I): atención, velocidad de procesamiento, memoria y lenguaje.” *Rev Neurol*, 51 (11), 687–98, 2010.
- [DeSanti:2011] L. De Santi, P. Lanzafame, B. Spanò, G. D’Aleo, A. Bramanti, P. Bramanti, y S. Marino, “Pursuit ocular movements in multiple sclerosis: a video-based eye-tracking study.” *Neurological Sciences*, 32 (1), 67–71, 2011.

- [Díaz-Guzmán:2008] J. Díaz-Guzmán, J. Egido-Herrero, R. Gabriel-Sánchez, G. Barberá, B. Fuentes, C. Fernández-Pérez, y S. Abilleira, “Incidencia de ictus en España. Bases metodológicas del estudio Iberictus.” *Rev Neurol*, 47 (12), 617–623, 2008.
- [Dijkers:2014] M. P. Dijkers, T. Hart, T. Tsaousides, J. Whyte, y J. M. Zanca, “Treatment taxonomy for rehabilitation: past, present, and prospects.” *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 95 (1), S6–S16, 2014.
- [Dores:2012] A. R. Dores, M. J. Miranda, I. P. Carvalho, L. Mendes, F. Barbosa, A. Coelho, L. De Sousa, y A. C. Caldas, “Virtual City: Neurocognitive rehabilitation of Acquired Brain Injury.”, en *Information Systems and Technologies (CISTI), 2012 7th Iberian Conference on*, 1–4, IEEE, 2012.
- [Duc:2008] A. H. Duc, P. Bays, y M. Husain, “.5-Eye movements as a probe of attention.” *Progress in brain research*, 171, 403–411, 2008.
- [Duchowski:2007] A. Duchowski, *Eye tracking methodology: Theory and practice*, tomo 373, Springer Science & Business Media, 2007.
- [Díaz-Guzmán:2013] J. Díaz-Guzmán, “Estudios Nedices e IBERICTUS. Grupo de Estudio en estas patologías de la Sociedad Española de Neurología (SEN).”, www.ictussen.org/files3/numero6nedices.pdf, 2013, Última fecha de consulta: julio 2015.
- [eAdventure:2015] e-UCM. Universidad Complutense de Madrid, “eAdventure - eLearning Games.”, <http://e-adventure.e-ucm.es/>, Última fecha de consulta: julio 2015.
- [Edmans:2007] J. Edmans, J. Gladman, M. Walker, A. Sunderland, A. Porter, y D. S. Fraser, “Mixed reality environments in stroke rehabilitation: development as rehabilitation tools.” *International Journal on Disability and Human Development*, 6 (1), 39–46, 2007.
- [Edmans:2009] J. Edmans, J. Gladman, D. Hilton, M. Walker, A. Sunderland, S. Cobb, T. Pridmore, y S. Thomas, “Clinical evaluation of a non-immersive virtual

- environment in stroke rehabilitation.” *Clinical Rehabilitation*, 23 (2), 106–116, 2009.
- [Efron:1994] B. Efron y R. J. Tibshirani, *An introduction to the bootstrap*, CRC press, 1994.
- [Elbaum:2007] J. Elbaum y D. Benson, *Acquired brain injury: An integrative neuro-rehabilitation approach*, Springer Science & Business Media, 2007.
- [Elbaum:2007b] J. Elbaum y D. Benson, *Acquired Brain Injury and the Family: Challenges and Interventions. In Acquired brain injury: An integrative neuro-rehabilitation approach*, Springer Science & Business Media, 2007.
- [Ellis:1994] S. R. Ellis, “What are virtual environments?” *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 14 (1), 17–22, 1994.
- [Faria:2015] A. Faria, A. Andrade, L. Soares, y S. Bermúdez i Badia, “Cognitive rehabilitation through interactive technologies: a randomized controlled trial with stroke patients.”, en *I International Congress of Neuropsychological Rehabilitation in Acquired Brain Injury*, 2015.
- [Fidopiastis:2006] C. M. Fidopiastis, C. B. Stapleton, J. D. Whiteside, C. E. Hughes, S. M. Fiore, G. A. Martin, J. P. Rolland, y E. M. Smith, “Human experience modeler: Context-driven cognitive retraining to facilitate transfer of learning.” *CyberPsychology & Behavior*, 9 (2), 183–187, 2006.
- [Field:1996] M. Field, “Telemedicine, a guide to assessing telecommunications.”, 1996.
- [Figuerola:2013] E. Figuerola, “Neuronas Espejo: un nuevo camino dentro de las Neurociencias. Aportes y aplicaciones, en el área de la reeducación y la rehabilitación.”, <http://hdl.handle.net/10915/38139>, Última fecha de consulta: diciembre 2015.
- [Fisher:2010] A. Fisher y K. Bray Jones, “Assessment of motor and process skills volume 1: Development, standardisation, and administration manual. Fort Collins.”, 2010.

- [Fitts:2005] P. M. Fitts, R. E. Jones, y J. L. Milton, "Eye movements of aircraft pilots during instrument-landing approaches." *Ergonomics: Psychological mechanisms and models in ergonomics*, 3, 56, 2005.
- [Franceschini:2010] M. Franceschini, M. Agosti, A. Cantagallo, P. Sale, M. Mancuso, y G. Buccino, "Mirror neurons: action observation treatment as a tool in stroke rehabilitation." *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 46 (4), 517–523, 2010.
- [García-Molina:2014] A. García-Molina, T. Roig-Rovira, A. Enseñat-Cantalops, y R. Sánchez-Carrión, "Neuropsicoterapia en la rehabilitación del daño cerebral." *Revista de neurología*, 2014.
- [García-Molina:2011] A. García Molina, *Validez ecológica de la telerehabilitación cognitiva para el tratamiento de la disfunción ejecutiva en el tratamiento craneoencefálico moderado y grave*, Tesis Doctoral, Departament de Biologia Cel·lular, Fisiologia i Immunologia. Facultat de Medicina. Universitat Autònoma de Barcelona, 2011.
- [Garrett:2010] J. J. Garrett, *Elements of user experience, the: user-centered design for the web and beyond*, Pearson Education, 2010.
- [Gennaro:2011] A. Gennaro, "The building of models as pathway to understand the therapeutic process." *Integrative Psychological and Behavioral Science*, 45 (3), 355–365, 2011.
- [Gibbons:2011] J. D. Gibbons y S. Chakraborti, *Nonparametric statistical inference*, Springer, 2011.
- [Giustini:2014] A. Giustini, E. Varela, M. Franceschini, J. Votava, M. Zampolini, M. Berteau, y N. Christodoulou, "UEMS-Position Paper. New technologies designed to improve functioning: the role of the physical and rehabilitation medicine physician." *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 50 (5), 579–583, 2014.
- [Glegg:2014] S. M. Glegg, S. K. Tatla, y L. Holsti, "The GestureTek virtual reality system in rehabilitation: a

- scoping review.” *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 9 (2), 89–111, 2014.
- [Jiménez:2009] F. J. Gómez, *Evaluación psicológica forense*, 2009.
- [Grady:2001] K. S. Grady C.L., *The use of neuroimaging in neurorehabilitative research. In Cognitive neurorehabilitation*, Cambridge University Press, 2001.
- [Green:2008] C. S. Green y D. Bavelier, “Exercising your brain: a review of human brain plasticity and training-induced learning.” *Psychology and aging*, 23 (4), 692, 2008.
- [Grewe:2013] P. Grewe, A. Kohsik, D. Flentge, E. Dyck, C. Bien, Y. Winter, M. BOTSCH, H. MARKOWITSCH, y M. Piefke, “Learning real-life cognitive abilities in a novel 360-virtual reality supermarket: a neuropsychological study of healthy participants and patients with epilepsy.” *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 10 (1), 42, 2013.
- [Grove:2013b] M. Grove, *Development of an Ontology for Rehabilitation: Traumatic Brain Injury*, Tesis Doctoral, University of Minnesota (USA), 2013.
- [Grove:2012] M. J. Grove, G. J. Lamberty, L. C. Gatewood, y L. M. Johnson, “Traumatic brain injury rehabilitation: analysis of common data elements.” *Studies in health technology and informatics*, 192, 1186–1186, 2012.
- [Gómez-Soriano:2012] J. Gómez-Soriano y T. J., *Neuroplasticidad. In Neurorrehabilitación: Métodos específicos de valoración y tratamiento*, Editorial Médica Panamericana, 2012.
- [Hansen:2010] D. W. Hansen y Q. Ji, “In the eye of the beholder: A survey of models for eyes and gaze.” *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 32 (3), 478–500, 2010.
- [Hodges:2011] S. Hodges, E. Berry, y K. Wood, “SenseCam: A wearable camera that stimulates and rehabilitates autobiographical memory.” *Memory*, 19 (7), 685–696, 2011.

- [Iacoboni:2007] M. Iacoboni y J. C. Mazziotta, "Mirror neuron system: basic findings and clinical applications." *Annals of neurology*, 62 (3), 213–218, 2007.
- [LeapMotion:2015] L. M. Inc, "Leap Motion.", <https://www.leapmotion.com/>, Última fecha de consulta: diciembre 2015.
- [MinSanCon:2006] M. d. S. y. C. Informes, estudios e investigación 2007, "Análisis del estado actual de los servicios de telemedicina enfocado a evaluar la viabilidad de un programa de telerrehabilitación en pacientes con una gran discapacidad de origen neurológico (2006).", http://www.gencat.cat/salut/depsan/units/aatrm/pdf/in_analisis_telerrehabilitacion_aatrm_06.pdf, 2006, Última fecha de consulta: septiembre 2014.
- [Isaacson:2013] B. M. Isaacson, T. M. Swanson, y P. F. Pasquina, "The use of a computer-assisted rehabilitation environment (CAREN) for enhancing wounded warrior rehabilitation regimens." *The journal of spinal cord medicine*, 36 (4), 296–299, 2013.
- [Jacoby:2013] M. Jacoby, S. Averbuch, Y. Sacher, N. Katz, P. L. Weiss, y R. Kizony, "Effectiveness of executive functions training within a virtual supermarket for adults with traumatic brain injury: a pilot study." *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*, 21 (2), 182–190, 2013.
- [Just:1976] M. A. Just y P. A. Carpenter, "Eye fixations and cognitive processes." *Cognitive psychology*, 8 (4), 441–480, 1976.
- [Karol:2003] R. L. Karol, *Neuropsychosocial intervention: The practical treatment of severe behavioral dyscontrol after acquired brain injury*, CRC press, 2003.
- [Katz:2005] N. Katz, H. Ring, Y. Naveh, R. Kizony, U. Feintuch, y P. Weiss, "Interactive virtual environment training for safe street crossing of right hemisphere stroke patients with unilateral spatial neglect." *Disability and rehabilitation*, 27 (20), 1235–1244, 2005.

- [kay:2011] M. Kay, J. Santos, y M. Takane, “mHealth: New horizons for health through mobile technologies.” *World Health Organization*, 66–71, 2011.
- [Klinger:2010] E. Klinger, P. L. Weiss, y P.-A. Joseph, “Virtual reality for learning and rehabilitation.”, en *Rethinking physical and rehabilitation medicine*, 203–221, Springer, 2010.
- [Klinger:2013] E. Klinger, A. Kadri, E. Sorita, J.-L. Le Guiet, P. Coignard, P. Fuchs, L. Leroy, N. Du Lac, F. Servant, y P.-A. Joseph, “AGATHE: A tool for personalized rehabilitation of cognitive functions based on simulated activities of daily living.” *IRBM*, 34 (2), 113–118, 2013.
- [Kolb:2002] B. Kolb y I. Q. Whishaw, *Cerebro y conducta: una introducción*, McGraw-Hill Interamericana de España, 2002.
- [Kolb:2009] B. Kolb y I. Q. Whishaw, *Fundamentals of human neuropsychology*, Macmillan, 2009.
- [Krch:2013] D. Krch, O. Nikelshpur, S. Lavrador, N. D. Chiara-valloti, S. Koenig, y A. Rizzo, “Pilot results from a virtual reality executive function task.”, en *Virtual Rehabilitation (ICVR), 2013 International Conference on*, 15–21, IEEE, 2013.
- [Kueider:2012] A. M. Kueider, J. M. Parisi, A. L. Gross, y G. W. Rebok, “Computerized cognitive training with older adults: a systematic review.” *PloS one*, 7 (7), e40.588, 2012.
- [Lange:2012] B. Lange, S. Koenig, C.-Y. Chang, E. McConnell, E. Suma, M. Bolas, y A. Rizzo, “Designing informed game-based rehabilitation tasks leveraging advances in virtual reality.” *Disability and rehabilitation*, 34 (22), 1863–1870, 2012.
- [Lee:2003] J. H. Lee, J. Ku, W. Cho, W. Y. Hahn, I. Y. Kim, S.-M. Lee, Y. Kang, D. Y. Kim, T. Yu, B. K. Wiederhold, et al., “A virtual reality system for the assessment and rehabilitation of the activities of daily living.” *CyberPsychology & Behavior*, 6 (4), 383–388, 2003.

- [Pascual-Leone:2010] A. P. Leoné y J. M. T. Muñoz, "Caracterización y modulación de la plasticidad del cerebro humano." *Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 2010.
- [Levin:1979] H. S. LEVIN, V. M. O'DONNELL, y R. G. GROSSMAN, "The Galveston Orientation and Amnesia Test: A Practical Scale to Assess Cognition after Head Injury." *The Journal of nervous and mental disease*, 167 (11), 675–684, 1979.
- [Lewis:1997] C. H. Lewis y M. J. Griffin, "Human factors consideration in clinical applications of virtual reality." *Studies in health technology and informatics*, 35–58, 1997.
- [Lewis:2009] J. R. Lewis y J. Sauro, "The factor structure of the system usability scale.", en *Human Centered Design*, 94–103, Springer, 2009.
- [Lezak:1982] M. D. Lezak, "The problem of assessing executive functions." *International Journal of Psychology*, 17 (1-4), 281–297, 1982.
- [Lillie:2010] R. Lillie, *Everyday Impact of traumatic Brain Injury. In Neuropsychology of everyday functioning*, Guilford Press, 2010.
- [López:2009] E. A. López, S. B. Aznárez, y M. C. Fernández, "Actualizaciones en el manejo del traumatismo craneoencefálico grave." *Medicina intensiva*, 33 (1), 16–30, 2009.
- [Lubrini:2009] G. Lubrini, J. Periañez, y M. Rios-Lago, "Introducción a la estimulación cognitiva y la rehabilitación neuropsicológica." *Estimulación Cognitiva y rehabilitación neuropsicológica*, 13–16, 2009.
- [Luria:1973] A. R. Luria, "The working brain: An introduction to neuropsychology Basic Books." *New York*, 1973.
- [WHO:2004] J. Mackay, G. A. Mensah, S. Mendis, y K. Greenlund, *The atlas of heart disease and stroke*, World Health Organization, 2004.
- [Marcano-Cerdeno:2013] A. Marcano-Cedeño, P. Chausa, A. García, C. Cáceres, J. M. Tormos, y E. J. Gómez, "Data mining

- applied to the cognitive rehabilitation of patients with acquired brain injury.” *Expert Systems with Applications*, 40 (4), 1054–1060, 2013.
- [Marcotte:2009] T. D. Marcotte y I. Grant, *Neuropsychology and the Prediction of the Prediction of Everyday Functioning. In Neuropsychology of everyday functioning*, Guilford Press, 2009.
- [Muñoz-Marrón:2009] E. M. Marrón, J. L. B. Alisente, N. G. Izaguirre, y B. G. Rodríguez, Editorial UOC, 2011.
- [McGuinness:2004] D. L. McGuinness y F. van Harmelen, “OWL web ontology language overview, 2004.” *W3C Recommendation* <http://www.w3.org/TR/owl-features>, 2004.
- [Medina:2005] J. Medina, *Efectes de l’entrenament assistit sobre la funcionalitat i el patró de marxa en persones amb gran discapacitat física d’origen neurològic*, Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, 2005.
- [Menon:2010] D. K. Menon, K. Schwab, D. W. Wright, A. I. Maas, et al., “Position statement: definition of traumatic brain injury.” *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 91 (11), 1637–1640, 2010.
- [Merkt:2011] M. Merkt, S. Weigand, A. Heier, y S. Schwan, “Learning with videos vs. learning with print: The role of interactive features.” *Learning and Instruction*, 21 (6), 687–704, 2011.
- [Kinect:2015] Microsoft, “Kinect.”, <http://www.xbox.com/en-US/xbox-one/accessories/kinect-for-xbox-one/>, Última fecha de consulta: diciembre 2015.
- [Milgram:1994] P. Milgram y F. Kishino, “A taxonomy of mixed reality visual displays.” *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77 (12), 1321–1329, 1994.
- [Mimentza:2011] N. Mimentza y J. I. Quemada, *Tratamiento de los trastornos emocionales y de la conducta en pacientes con daño cerebral. In Rehabilitación neuropsicológica. Intervención y práctica clínica*, Elsevier España, 2011.

- [Molina:2011] F. Molina-Nájera, *Entornos de monitorización de la atención visual para rehabilitación cognitiva*, Proyecto Fin de Carrera, Grupo de Bioingeniería y Telemedicina. Universidad Politécnica de Madrid, 2011.
- [Navarro:2013] M.-D. Navarro, R. Lloréns, E. Noé, J. Ferri, y M. Alcañiz, "Validation of a low-cost virtual reality system for training street-crossing. A comparative study in healthy, neglected and non-neglected stroke individuals." *Neuropsychological rehabilitation*, 23 (4), 597–618, 2013.
- [WHO:2006] W. H. Organization, *Neurological disorders: public health challenges*, World Health Organization, 2006.
- [WHO:1983] W. H. Organization et al., "Neuroplasticity and repair in the central nervous system: implications for health care.", 1983.
- [Paganelli:2011] F. Paganelli y D. Giuli, "An ontology-based system for context-aware and configurable services to support home-based continuous care." *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 15 (2), 324–333, 2011.
- [Parsons:2013] T. D. Parsons, S. McPherson, y V. Interrante, "Enhancing neurocognitive assessment using immersive virtual reality.", en *Virtual and Augmented Assistive Technology (VAAT), 2013 1st Workshop on*, 27–34, IEEE, 2013.
- [Pascual-Leone:2005] A. Pascual-Leone, A. Amedi, F. Fregni, y L. B. Merabet, "The plastic human brain cortex." *Annu. Rev. Neurosci.*, 28, 377–401, 2005.
- [Pietrzak:2014] E. Pietrzak, S. Pullman, y A. McGuire, "Using virtual reality and videogames for traumatic brain injury rehabilitation: A structured literature review." *GAMES FOR HEALTH: Research, Development, and Clinical Applications*, 3 (4), 202–214, 2014.
- [Posner:1980] M. I. Posner, "Orienting of attention." *Quarterly journal of experimental psychology*, 32 (1), 3–25, 1980.

- [Preziosa:2014] P. Preziosa, M. Rocca, R. Gatti, M. Petrolini, R. Messina, G. Salini, S. Fumagalli, A. Falini, G. Comi, y M. Filippi, "Action Observation Therapy Modifies Structural Brain Plasticity in Healthy Adult Individuals (P3. 058)." *Neurology*, 82 (10 Supplement), P3-058, 2014.
- [Proffitt:2012] R. Proffitt, C. Kelleher, M. C. Baum, y J. Engsberg, "Using Alice 2.0 to Design Games for People with Stroke." *GAMES FOR HEALTH: Research, Development, and Clinical Applications*, 1 (4), 303-307, 2012.
- [Pérez:2013] J. Pérez, "Nuevas tecnologías en rehabilitación neuropsicológica. La telerrehabilitación cognitiva.", http://www.aedem.org/portal/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=1069, 2013, Última fecha de consulta: septiembre 2014.
- [Quemada:2007] J. I. Quemada, M. J. Ruiz, I. Bori, L. Gangoiti, y J. Marin, *Modelo de atención a las personas con daño cerebral*, 21007, Imsero, 2007.
- [Quintanar:2014] L. Quintanar Rojas, Y. Solovieva, y A. López Cortes, *Tratamiento neuropsicológico de un paciente con daño cerebral. In Rehabilitación neuropsicológica: Estrategias en trastornos de la infancia y del adulto*, Editorial El Manual Moderno, 2014.
- [Rains:2001] G. D. Rains, *Principles of human neuropsychology*, McGraw-Hill Humanities/Social Sciences/Languages, 2001.
- [Rand:2009] D. Rand, S. B.-A. Rukan, P. L. Weiss, y N. Katz, "Validation of the Virtual MET as an assessment tool for executive functions." *Neuropsychological rehabilitation*, 19 (4), 583-602, 2009.
- [Rayner:1998] K. Rayner, "Eye movements in reading and information processing: 20 years of research." *Psychological bulletin*, 124 (3), 372, 1998.
- [Renison:2012] B. Renison, J. Ponsford, R. Testa, B. Richardson, y K. Brownfield, "The ecological and construct validity of a newly developed measure of executive function: the Virtual Library Task." *Journal of the*

- International Neuropsychological Society*, 18 (03), 440–450, 2012.
- [Richard:2007] E. Richard, V. Billaudeau, P. Richard, y G. Gaudin, “Augmented reality for rehabilitation of cognitive disabled children: A preliminary study.”, en *Virtual Rehabilitation*, 2007, 102–108, IEEE, 2007.
- [Riva:2009] G. Riva, “Transforming VR into a Reality for Behavioral Health Care: The NeuroVR Project.”, <http://www.cybertherapyandrehabilitation.com/2014/06/transforming-vr-reality-behavioral-health-care-neurovr-project/>, Última fecha de consulta: diciembre 2015.
- [Riva:2005] G. Riva, “Virtual reality in psychotherapy: review.” *Cyberpsychology & behavior*, 8 (3), 220–230, 2005.
- [Riva:2011] G. Riva, A. Gaggioli, A. Grassi, S. Raspelli, P. Cipresso, F. Pallavicini, C. Vigna, A. Gagliati, S. Gasco, y G. Donvito, “NeuroVR 2-A free virtual reality platform for the assessment and treatment in behavioral health care.”, en *MMVR*, 493–495, 2011.
- [Rizzo:2001] A. A. Rizzo, J. G. Buckwalter, T. Bowerly, L. Humphrey, U. Neumann, A. v. Rooyen, et al., “The virtual classroom: a virtual reality environment for the assessment and rehabilitation of attention deficits.” *Revista Española de neuropsicología*, 3 (3), 11–37, 2001.
- [Rizzo:2004] A. A. Rizzo, M. Schultheis, K. A. Kerns, y C. Mateer, “Analysis of assets for virtual reality applications in neuropsychology.” *Neuropsychological Rehabilitation*, 14 (1-2), 207–239, 2004.
- [Rizzo:2006] A. A. Rizzo, T. Bowerly, J. G. Buckwalter, D. Klimchuk, R. Mitura, y T. D. Parsons, “A virtual reality scenario for all seasons: the virtual classroom.” *Cns Spectrums*, 11 (01), 35–44, 2006.
- [Rizzolatti:2004] G. Rizzolatti y L. Craighero, “The mirror-neuron system.” *Annu. Rev. Neurosci.*, 27, 169–192, 2004.
- [Rizzolatti:2001] G. Rizzolatti, L. Fogassi, y V. Gallese, “Neurophysiological mechanisms underlying the understanding

- and imitation of action.” *Nature Reviews Neuroscience*, 2 (9), 661–670, 2001.
- [Robert:1908] M. Y. Robert y D. John, “The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation.” *Journal of comparative neurology and psychology*, 18, 459–482, 1908.
- [Roig:2011] T. Roig, *Traumatismos craneoencefálicos. In Rehabilitación neuropsicológica. Intervención y práctica clínica*, Elsevier España, 2011.
- [Roozenbeek:2013] B. Roozenbeek, A. I. Maas, y D. K. Menon, “Changing patterns in the epidemiology of traumatic brain injury.” *Nature Reviews Neurology*, 9 (4), 231–236, 2013.
- [Ropper:2007] A. H. Ropper, R. H. Brown, J. R. B. Pinto, y J. O. Samperio, *Principios de neurología de Adams y Victor*, McGraw-Hill, 2007.
- [Saénz:1995] D. Sáenz Campos, M. Bayés, S. Martín, y M. Barbanj, “El ensayo clínico: investigación experimental, fases de investigación clínica y diseño experimental: I parte.” *Rev. costarric. cienc. méd*, 16 (4), 49–58, 1995.
- [Saiano:2015] M. Saiano, L. Pellegrino, M. Casadio, S. Summa, E. Garbarino, V. Rossi, D. Dall’Agata, y V. Sanguinetti, “Natural interfaces and virtual environments for the acquisition of street crossing and path following skills in adults with Autism Spectrum Disorders: a feasibility study.” *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 12 (1), 17, 2015.
- [Sale:2012] P. Sale y M. Franceschini, “Action observation and mirror neuron network: a tool for motor stroke rehabilitation.” *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 48 (2), 313–318, 2012.
- [Samadani:2015] U. Samadani, R. Ritlop, M. Reyes, E. Nehrbass, M. Li, E. Lamm, J. Schneider, D. Shimunov, M. Sava, R. Kolecki, et al., “Eye tracking detects disconjugate eye movements associated with structural traumatic brain injury and concussion.” *Journal of neurotrauma*, 32 (8), 548–556, 2015.

- [Schroeder:2008] R. Schroeder, "Defining Virtual Worlds and Virtual Environments." *Journal For Virtual Worlds Research*, 1 (1), 2008, ISSN 1941-8477.
- [Schultheis:2001] M. T. Schultheis y A. A. Rizzo, "The application of virtual reality technology in rehabilitation." *Rehabilitation Psychology*, 46 (3), 296, 2001.
- [Schwan:2004] S. Schwan y R. Riempp, "The cognitive benefits of interactive videos: Learning to tie nautical knots." *Learning and Instruction*, 14 (3), 293–305, 2004.
- [Skopp:2014] N. A. Skopp, D. J. Smolenski, M. J. Metzger-Abamukong, A. A. Rizzo, y G. M. Reger, "A Pilot Study of the VirtuSphere as a Virtual Reality Enhancement." *International Journal of Human-Computer Interaction*, 30 (1), 24–31, 2014.
- [Solana:2014] J. Solana, C. Cáceres, A. García-Molina, P. Chausa, E. Opisso, T. Roig-Rovira, E. Menasalvas, J. M. Tormos-Muñoz, y E. J. Gómez, "Intelligent Therapy Assistant (ITA) for cognitive rehabilitation in patients with acquired brain injury." *BMC medical informatics and decision making*, 14 (1), 58, 2014.
- [Solana:2015] J. Solana, C. Cáceres, A. García-Molina, E. Opisso, T. Roig, J. M. Tormos, y E. J. Gomez, "Improving Brain Injury Cognitive Rehabilitation by Personalized Telerehabilitation Services: Guttman Neuropersonal Trainer." *Biomedical and Health Informatics, IEEE Journal of*, 19 (1), 124–131, 2015.
- [Solana:2014b] J. Solana Sánchez, *Monitorización y optimización de terapias de tele-neurorrehabilitación cognitiva*, Tesis Doctoral, Grupo de Bioingeniería y Telemedicina. Universidad Politécnica de Madrid, 2014.
- [Sorita:2013] E. Sorita, B. N’Kaoua, F. Larrue, J. Criquillon, A. Simion, H. Sauzéon, P.-A. Joseph, y J.-M. Mazaux, "Do patients with traumatic brain injury learn a route in the same way in real and virtual environments?" *Disability and rehabilitation*, 35 (16), 1371–1379, 2013.
- [Sánchez-Carrión:2011] R. Sánchez-Carrión, *Tecnologías aplicadas a la rehabilitación neuropsicológica. In Rehabilitación neuro-*

- psicológica. Intervención y práctica clínica*, Elsevier España, 2011.
- [Sánchez-Cubillo:2009] I. Sánchez Cubillo y N. Galparsorro, *Estimulación cognitiva y rehabilitación neuropsicológica del lenguaje. In Estimulación cognitiva y rehabilitación neuropsicológica*, Editorial UOC, 2011.
- [Tagliaferri:2006] F. Tagliaferri, C. Compagnone, M. Korsic, F. Servadei, y J. Kraus, "A systematic review of brain injury epidemiology in Europe." *Acta neurochirurgica*, 148 (3), 255–268, 2006.
- [Teasdale:1974] G. Teasdale y B. Jennett, "Assessment of coma and impaired consciousness: a practical scale." *The Lancet*, 304 (7872), 81–84, 1974.
- [Torrente:2012] J. Torrente, Á. Del Blanco, P. Moreno-Ger, y B. Fernández-Manjón, "Designing serious games for adult students with cognitive disabilities.", en *Neural Information Processing*, 603–610, Springer, 2012.
- [Vogt:2014] W. P. Vogt, D. C. Gardner, L. M. Haeffele, y E. R. Vogt, *Selecting the right analyses for your data: quantitative, qualitative, and mixed methods*, Guilford Publications, 2014.
- [Vourvopoulos:2014] A. Vourvopoulos, A. L. Faria, K. Ponnamm, y S. Bermudez i Badia, "RehabCity: design and validation of a cognitive assessment and rehabilitation tool through gamified simulations of activities of daily living.", en *Proceedings of the 11th Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, 26, ACM, 2014.
- [Weiss:2004] P. L. Weiss, D. Rand, N. Katz, y R. Kizony, "Video capture virtual reality as a flexible and effective rehabilitation tool." *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 1 (1), 12, 2004.
- [Werner:2009] P. Werner, S. Rabinowitz, E. Klinger, A. D. Korczyn, y N. Josman, "Use of the virtual action planning supermarket for the diagnosis of mild cognitive impairment." *Dementia and geriatric cognitive disorders*, 27 (4), 301–309, 2009.

- [Whyte:2003] J. Whyte y T. Hart, "It's more than a black box; it's a Russian doll: defining rehabilitation treatments." *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 82 (8), 639–652, 2003.
- [Whyte:2014] J. Whyte, M. P. Dijkers, T. Hart, J. M. Zanca, A. Packel, M. Ferraro, y T. Tsaousides, "Development of a theory-driven rehabilitation treatment taxonomy: conceptual issues." *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 95 (1), S24–S32, 2014.
- [Wilson:1997] B. A. Wilson, "Cognitive rehabilitation: How it is and how it might be." *Journal of the International Neuropsychological Society*, 3 (05), 487–496, 1997.
- [Wilson:2011] B. A. Wilson, *Memoria. In Rehabilitación neuropsicológica. Intervención y práctica clínica*, Elsevier España, 2011.
- [Wilson:2004] B. A. Wilson, C. M. Herbert, y A. Shiel, *Behavioural approaches in neuropsychological rehabilitation: Optimising rehabilitation procedures*, Psychology Press, 2004.
- [Wilson:2009] B. A. Wilson, F. Gracey, y J. J. Evans, *Neuropsychological rehabilitation: Theory, models, therapy and outcome*, Cambridge University Press, 2009.
- [Yi:2013] L. Yi, Y. Fan, P. C. Quinn, C. Feng, D. Huang, J. Li, G. Mao, y K. Lee, "Abnormality in face scanning by children with autism spectrum disorder is limited to the eye region: Evidence from multi-method analyses of eye tracking data." *Journal of vision*, 13 (10), 5, 2013.