

Evaluación de un entorno de rehabilitación cognitiva basado en tecnologías de Vídeo Interactivo y Eye-Tracking

N. Ballesteros¹, JM. Martínez-Moreno^{1,2}, J. López³, P. Sánchez-González^{1,2}, J. Solana^{1,2}
R. Sánchez-Carrión³, J.M. Tormos³, E.J. Gómez Aguilera^{1,2}

¹ Grupo de Bioingeniería y Telemedicina, ETSI Telecomunicación (UPM), Madrid, España
{nballesteros,jmartinez,psanchez,jsolana,egomez}@gbt.tfo.upm.es

² Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina, Madrid, España.

³ Instituto Universitario de Neurorrehabilitación Guttmann-UAB, Barcelona, España,
{jaumelopez,rsanchezcarrión,jmtormos}@guttmann.com

Resumen

La incorporación de las nuevas tecnologías al proceso de rehabilitación ha permitido incrementar la intensidad de los tratamientos, personalizándolos y prolongándolos en el tiempo de forma sostenible. Los Entornos Virtuales (EV) interactivos apoyados en esta tendencia permiten reproducir Actividades de Vida Diaria (AVD) controladas que incrementan el valor ecológico de las terapias. Por sus características, el Vídeo Interactivo (VI) es una tecnología idónea para el desarrollo de EV sobre los que el neuropsicólogo implemente estrategias de intervención terapéutica.

Este trabajo tiene por objetivo evaluar el entorno de rehabilitación cognitiva desarrollado mediante VI e integrado con un sistema de Eye-Tracking (ET), para ser utilizado por pacientes con un déficit cognitivo. Para ello, se ha diseñado y desarrollado un estudio experimental en el que se ha evaluado la madurez del sistema en términos de robustez y usabilidad, capacidad de monitorización, y capacidad para guiar a los sujetos a través del entorno.

El análisis de los datos resultantes de la monitorización durante el estudio realizado con 34 sujetos sanos demuestra que el entorno cumple los requisitos necesarios para ser incorporado en terapias de rehabilitación cognitiva.

1. Introducción

El Daño Cerebral Adquirido (DCA) se ha convertido en una de las principales causas de discapacidad neurológica de las sociedades desarrolladas [1][2]. Teniendo en cuenta que hasta la más simple de las Actividades de Vida Diaria (AVD) que realizamos se ven condicionadas por nuestras habilidades cognitivas, el trastorno derivado de un déficit cognitivo supone al paciente, y a todo su entorno familiar, una gran pérdida de independencia y de su calidad de vida.

La rehabilitación neuropsicológica y, dentro de ésta, la estimulación cognitiva, favorece la recuperación de las funciones alteradas aprovechando la naturaleza plástica del sistema nervioso, tratando así de reincorporar a los pacientes a sus AVD [3]. Los sistemas tradicionales se basan en sesiones presenciales de trabajo personal y sincrónico entre terapeuta y paciente lo que requiere una gran dedicación de recursos. Por ello, estos sistemas pueden limitar su expansión a la mayor parte de beneficiarios potenciales, dificulta la personalización de las intervenciones, así como la modulación de intensidad

y duración de los programas. Además, carecen de la validez ecológica que permite convertir un proceso rehabilitador en un tratamiento realmente efectivo para el día a día del paciente [4].

La incorporación al proceso de rehabilitación de las nuevas tecnologías durante los últimos años ha permitido evolucionar hacia nuevos sistemas que permitan realizar intervenciones clínicas adaptadas y monitorizadas sobre AVD. En esta línea, y centrados en incrementar el valor ecológico de los tratamientos [5], los Entornos Virtuales (EV) interactivos permiten simular situaciones reales situando al usuario dentro de un escenario enriquecido. Explorar las ventajas de los EV para el tratamiento neuropsicológico permite la exposición fuera de riesgo del paciente ante situaciones de la vida cotidiana y dentro de un entorno controlado, ya que permite graduar la dificultad de la situación en función de los estímulos, distractores y elementos de ayuda que se ofrezcan [6].

El Vídeo Interactivo (VI), entendido 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, es una de las tecnologías que permite desarrollar estos EV con fines terapéuticos [7]. Parte de su potencial se basa en entornos resultantes con interacciones sencillas, intuitivas y de fácil asimilación gracias a la utilización de imagen reales, lo que permite ajustar la carga cognitiva al interés de la sesión de rehabilitación.

El elevado número de estímulos que constituyen los entornos así como las diversas interacciones que el paciente puede realizar sobre ellos presentan numerosas oportunidades de intervención terapéutica sobre AVD. No obstante, aprovechar esta ventaja requiere de herramientas con alto potencial de monitorización que permitan al neuropsicólogo conocer con detalle no sólo el resultado de la sesión clínica sino las circunstancias en las que ésta fue desarrollada.

Analizar la información referente al comportamiento visual de un paciente puede ayudar a conocer la eficacia de las tareas de rehabilitación debido a la estrecha relación entre el sistema visual humano y la capacidad cognitiva del paciente [8][9]. Los dispositivos de Eye-Tracking (ET) [10] permiten realizar la monitorización

del comportamiento visual, ofreciendo al terapeuta información precisa y objetiva acerca de las fijaciones visuales realizadas por el paciente. Gracias a esta información, es posible conocer el foco de la atención de un paciente y su estado cognitivo en cada instante de la sesión clínica.

El objetivo de este trabajo es el de evaluar un entorno de rehabilitación cognitiva basado en la integración de las tecnologías de VI y ET, analizar su madurez de cara a ser utilizado por pacientes con deterioro cognitivo. Concretamente se pretende evaluar: (a) el potencial de estas tecnologías para realizar intervenciones terapéuticas sobre actividades de vida diaria; (b) la capacidad del sistema para monitorizar las sesiones en entornos complejos; y (c) la respuesta y experiencia de los usuarios ante el sistema.

2. Materiales y Métodos

2.1. El Entorno Virtual

En trabajos previos [7][11] se desarrolló un entorno de rehabilitación cognitiva basado en la integración de las tecnologías de VI y ET. En este entorno se diseñó y desarrolló la AVD “ir a comprar el pan”. En ella, el paciente recorre de forma virtual una serie de escenas que representan los diferentes pasos a seguir para alcanzar el objetivo final, desde que se encuentra sentado en el sofá de la casa hasta que compra el pan en la panadería. La AVD se divide en tres tareas secuenciales, correspondientes a los tres escenarios por los que transcurre la AVD: la casa, la calle y la panadería (Figura 1).

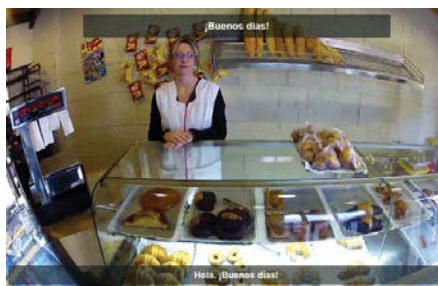


Figura 1 AVD "Ir a comprar el pan"

Para avanzar en la AVD, el paciente tiene que interactuar con los estímulos de cada escena, siendo de esta forma el propio paciente quien establece el flujo de la acción de la actividad.

El diseño de la AVD ha sido realizado por el equipo de neuropsicólogos del Institut Guttmann, siguiendo un modelo de definición de intervenciones terapéuticas en AVD [12]. Como resultado se obtiene una actividad definida a partir de una estrategia de intervención que permite guiar “virtualmente” al paciente durante la ejecución de la misma. A través de estímulos el sujeto recibirá la ayuda necesaria en cada momento como respuesta a sus interacciones. A esta versión de la actividad la llamaremos “AVD Guiada”

Con este sistema de ayuda se busca la creación de un entorno “errorless learning” [13], capaz de orientar al

paciente en la realización de la actividad de manera que la persona aprenda hábitos extrapolables a su día a día y se evite un aprendizaje negativo que pueda repercutir en su neurorrehabilitación.

Una segunda versión “No Guiada” de la AVD “ir a comprar el pan” ha sido desarrollada, en la que se ha suprimido la estrategia de intervención. Objetivos y estímulos son los mismos que en la primera versión, con la salvedad de que el sujeto no recibirá ningún tipo de ayuda durante la ejecución de la actividad. Las instrucciones y objetivos a cumplir durante la AVD serán proporcionados mediante una pantalla inicial previa al comienzo de la actividad.

2.2. Sistema de Monitorización

El EV cuenta con un sistema de monitorización que integra tres fuentes de datos presentes en cada tarea. Así, el entorno de rehabilitación cuenta con tres módulos de monitorización que registran la actividad del paciente atendiendo a:

- La ejecución de la AVD que permite seguir la huella del paciente en el flujo de la actividad, conociendo los errores, aciertos o tiempos de ejecución y reacción.
- La interacción del paciente con el entorno, que en este caso es la actividad del ratón del ordenador, tanto clics como movimientos realizados durante la ejecución de la AVD.
- La atención visual que, mediante la tecnología ET, deja constancia de la forma en la que el usuario explora visualmente la interfaz. De este modo, se puede establecer una relación entre dónde se ha dirigido el foco de la atención del visual del paciente y su estado cognitivo. En concreto, el dispositivo de ET utilizado en el entorno de rehabilitación es el Tobii 1750 [11], cuya integración en el EV se describe en el trabajo [11].

El conjunto de los tres registros posee parámetros comunes que permiten relacionarlos entre sí. La combinación de los datos aporta conocimiento objetivo sobre cómo se realizó la actividad, incluso enriqueciendo la información percibida por un observador presente durante la ejecución de la misma.

2.3. Métricas de evaluación

Para una evaluación de los resultados obtenidos, se han establecido una serie de métricas. Las más representativas se exponen a continuación:

- Tiempo de ejecución: tiempo total empleado para la realización la AVD completa.
- Número de errores: interacciones con estímulos inadecuados o ausencia de interacción.
- Número de clics: clics de ratón realizados por el usuario a lo largo de la actividad.
- Coordenadas de interacción: posición en la pantalla de cada uno de los clics realizados.

- Coordenadas de las fijaciones: posición del foco de la atención visual del usuario en cada instante de la actividad.

Otro punto importante en el estudio es la evaluación de la usabilidad del sistema. Para ello se ha adaptado una encuesta basada en el método estandarizado System Usability Scale (SUS) [15]. Cada usuario responderá a dicha encuesta tras la finalización de la sesión con el EV.

2.4. Estudio Experimental

En el estudio han participado un total de 34 sujetos sanos, con edades comprendidas entre los 17 y 34 años, y que no habían tenido contacto previo con el entorno de rehabilitación. Cada participante realizó una de las dos versiones de la AVD, por lo que quedaron establecidos dos grupos: 17 sujetos ejecutaron la AVD Guiada, y otros 17 que realizaron la AVD No Guiada. En cuanto al sexo de los participantes, el primer grupo “Guiado” compuesto por 8 hombres y 9 mujeres, siendo 10 y 7 respectivamente el balance dentro del grupo “No Guiado”.

3. Resultados

La Figura 5 refleja los resultados obtenidos en el estudio para las métricas de tiempo total, número de errores y número de interacciones. En cada figura se representan los resultados para ambos grupos de sujetos: AVD Guiada (izquierda) y AVD No Guiada (derecha). El análisis de estos datos muestra un aumento en los tres parámetros del grupo No Guiado frente al grupo Guiado.

Para el estudio de la interacción, además del número de clics realizados, se analiza el lugar de la pantalla donde fueron realizados. Los mapas de interacción (Figura 2) representan, para cada tarea, el valor acumulado para cada grupo de este parámetro. Se observa una mayor dispersión para el grupo que realiza la AVD No Guiada.

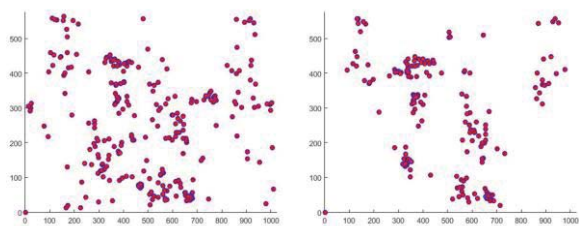


Figura 2. Mapas de interacción tarea 1 AVD Guiada (izquierda) y AVD No Guiada (derecha)

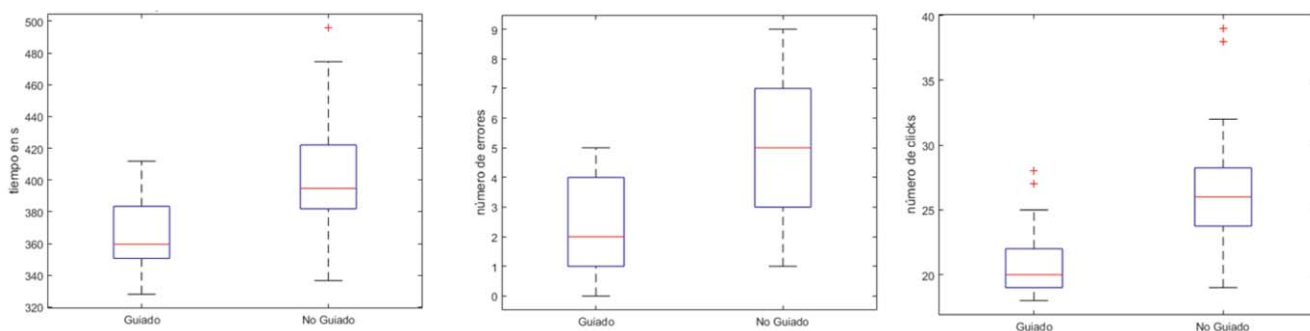


Figura 5 Representación de las métricas: tiempo total (izquierda), número de errores (centro), número de clics (derecha)

Los mapas de calor han sido utilizados para representar gráficamente los patrones de exploración visual de los sujetos. En la Figura 3 se muestra el acumulado de los datos de atención visual correspondientes a los sujetos de cada grupo para una escena de la primera Tarea de la AVD. En ellos se observa cómo ante una AVD Guiada aumenta la concentración de la atención visual del usuario en los estímulos clave para completar los objetivos.



Figura 3. Mapas de calor escena tarea 1 AVD Guiada (izquierda) y AVD No Guiada (derecha)

Finalmente la Figura 4 refleja los resultados relativos a la usabilidad del sistema. De las encuestas SUS analizadas se obtiene que el 79,4% superan el valor 68 (indicado con línea roja en el gráfico) en la escala SUS [15], predominando en el porcentaje restante los usuarios pertenecientes al grupo que ha realizado una AVD No Guiada.

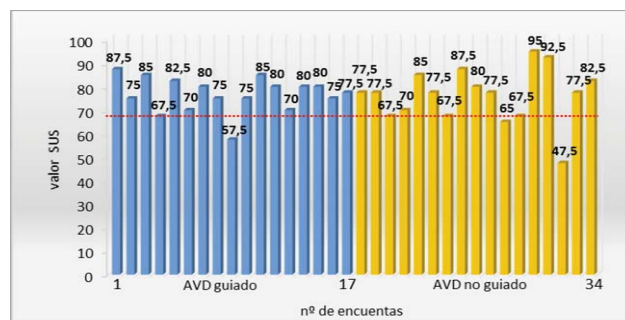


Figura 4. Resultados de la encuesta SUS

4. Discusión

El análisis de los resultados obtenidos en el estudio experimental permite confirmar que existen diferencias apreciables entre la ejecución de ambos grupos de sujetos. Se deduce que el comportamiento frente a la actividad es distinto entre los sujetos que han realizado la AVD Guiada y aquellos que han realizado la versión No Guiada.

Los resultados reflejados en los “*box plot*” (Figura 5) señalan que el aumento del número de errores está estrechamente ligado al número de clics y al tiempo empleado en la realización de la actividad. En cierto modo, esta relación se debe a la necesidad de corregir el error cometido con la interacción correcta, lo que incrementa el número de interacciones de ratón y el tiempo adicional en la ejecución.

Las diferencias encontradas entre los resultados de ambos grupos denotan una mejora de los tiempos de ejecución, reducción del número de errores y ratio de número de clics por acierto en aquel grupo que realizó la AVD Guiada. Algunos usuarios que realizaron esta versión han conseguido finalizar la actividad sin haber cometido ningún error, situación que no se da ante ninguno de los sujetos que se enfrentaron a una AVD No guiada.

En lo relativo a los mapas de interacción (Figura 2), patrones análogos se dibujan en ambos grupos debido a la necesidad de interactuar con los mismos estímulos para completar el objetivo de la actividad. Sin embargo, la AVD Guiada consigue focalizar las interacciones reduciendo la dispersión en la localización de los clics de ratón. Además, una AVD Guiada también reduce la dispersión en los patrones de fijaciones visuales (Figura 3), traducándose en una mayor concentración de la atención de los sujetos en los puntos de interés.

Como se puede observar en la Figura 4, un alto porcentaje de los participantes han otorgado al sistema una puntuación superior al valor 68. Este valor representa el umbral a partir del cual un sistema puede ser considerado como usable [15]. Por tanto, se puede afirmar que el entorno resulta fácil de usar, cualidad de gran importancia dado el usuario final al cual está dirigido.

5. Conclusiones

La integración de las nuevas tecnologías en el proceso de rehabilitación trata de generar terapias personalizadas, ubicuas, basadas en la evidencia y con alto valor ecológico. En este marco, se propone la evaluación de un EV basado en tecnologías de VI y ET como nueva herramienta de tratamiento que permita entrenar AVD.

El análisis de los datos obtenidos durante el estudio realizado demuestra, en primer lugar, la capacidad del entorno de rehabilitación para registrar los parámetros de monitorización que le den al neuropsicólogo la información necesaria sobre el comportamiento del paciente durante la actividad.

Como muestra de esta capacidad, durante el estudio realizado se ha detectado una diferencia en el patrón de comportamiento de los dos grupos de sujetos que denota la mayor eficacia del grupo Guiado frente al No Guiado. Por tanto, el EV permite a los neuropsicólogos realizar intervenciones sobre el comportamiento de los sujetos mediante los estímulos e interacciones planificadas en la AVD.

El potencial para realizar intervenciones terapéuticas sobre AVD, el alto nivel de monitorización sobre estas actividades, y la usabilidad demostrada, confirman que el

entorno de rehabilitación ha alcanzado la madurez buscada. Por tanto, podemos concluir que el sistema cumple los requisitos para ser utilizado por pacientes con DCA en proceso de rehabilitación cognitiva.

Agradecimientos

Este trabajo de investigación ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad en el marco del Proyecto de investigación COGNITIO (TIN2012-38450).

Referencias

- [1] C.J. Murray, A.D. Lopez. Alternative projections of mortality and disability by cause 1990-2020: Global Burden of Disease Study. *Lancet* 1997a; 349: 1498-504.
- [2] World Health Organization. Burden of Disease Statistics; Available online: <http://www.who.org/> (último acceso agosto de 2015).
- [3] Bernabeu, M.; Roig T. Unidad de daño cerebral en el Institut Guttmann. Hospital de Neurorrehabilitación. *Minusval*, 2, 76-81. 2002
- [4] Tormos JM et Al. REHABILITA: Tecnologías Disruptivas para la Rehabilitación del Futuro. *Actas CASEIB 2010: XXVIII Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica*.
- [5] García-Molina, A.; Tirapu-Ustárroz, J.; Roig, T. Validez ecológica en la exploración de las funciones ejecutivas. *Anales de psicología* 2007, vol 23, nº2, pp 289-299.
- [6] Gamito P. et al. A Review of the VR/AR Applications in the Neuroscience Domain. Andrew Yeh Ching Nee. *Augmented Reality-Some Emerging Application Areas*. 2011. pp 131 – 154. ISBN: 978-953-307-422-1
- [7] Martínez-Moreno JM, Sánchez-González P et Al. Entornos virtuales de vídeo interactivo para neurorrehabilitación cognitiva. *Actas XXIX Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica (CASEIB 2011)*. 2011.
- [8] Suh M, Basu S, Kolster R, Sarkar R, McCandliss B, Ghajar J. Increased oculomotor deficits during target blanking as an indicator of mild traumatic brain injury. *Neuroscience Letters*, 410(3), 203-207. 2006.
- [9] Suh M, et al. Degree of brain connectivity predicts eye-tracking variability. *Journal of Korean Physical Society*, 53, 3468-3473. 2008.
- [10] Duchowski A. *Eye tracking methodology: theory and practice*. 2nd edition. Springer. 2007
- [11] Martínez-Moreno, JM. et Al. Integración de tecnologías eye-tracking con vídeos interactivos para neurorrehabilitación cognitiva. *Actas XXX Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica (CASEIB 2012)*. 2012.
- [12] Martínez-Moreno, JM. et al. Modelling Ecological Cognitive Rehabilitation Therapies for Building Virtual Environments in Brain Injury. *Methods of Information in Medicine*. 2015. DOI: 10.3414/ME15-01-0050
- [13] Erica L. et al. Errorless Learning in Cognitive Rehabilitation: A Critical Review. *Neuropsychol Rehabil*. 2012 April; 22(2). pp 138–168.
- [14] Tobii, <http://www.tobii.com>. Último acceso, agosto 2015.
- [15] Sauro, J. Measuring Usability with the System Usability Scale (SUS) <http://www.measuringu.com/sus.php>