

# Audiojuego con sonidos envolventes: una experiencia preliminar con personas ciegas y con visión normal

*Audio game with surround sounds: a preliminary  
 experience with blind and sighted persons*

Fernando Bermejo<sup>\*,‡,II</sup> Lucas Guillermo Gilberto<sup>\*,§</sup> Valentín Lunati<sup>\*,II</sup> Claudia Arias<sup>\*,‡,II</sup>

\* Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), UTN-FRC, Unidad Asociada de CONICET, Córdoba, Argentina.

‡ Facultad de Psicología, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

§ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN-FRC), Córdoba, Argentina.

II Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

Dirección para correspondencia:  
 Fernando Bermejo  
 Universidad Tecnológica Nacional,  
 Facultad Regional Córdoba.  
 Maestro M. López, esq. Cruz Roja  
 Argentina,  
 Ciudad Universitaria, 5016,  
 Córdoba Capital, Argentina.  
 Teléfono: (+54) 03514686389  
 E-mail: fbermejo@psyche.unc.  
 edu.ar

Recibido: 20 de enero de 2016.  
 Aceptado: 4 de abril de 2016.

Este artículo puede ser consultado  
 en versión completa en:  
<http://www.medigraphic.com/rid>

**Palabras clave:** Estimulación  
 acústica, procesamiento  
 auditivo espacial, ceguera,  
 juegos computarizados,  
 interfaz usuario-computador.

**Key words:** Acoustic  
 stimulation, auditory spatial  
 processing, blindness,  
 computer games,  
 user-computer interface.

## Resumen

Los audiojuegos son juegos electrónicos que utilizan claves auditivas en lugar de las características interfaces visuales propias de los videojuegos. Existe evidencia que indica que las personas ciegas pueden mejorar sus habilidades de orientación y movilidad independiente al entrenarse con este tipo de juegos. A pesar de ello, el acceso a estas tecnologías es limitado debido a que existen escasos desarrollos de estas características en el mercado de juegos computarizados. En este trabajo se propone avanzar en el diseño de juegos orientados a personas ciegas y con visión disminuida mediante el uso de sonidos envolventes. Para ello, se realizó una serie de modificaciones técnicas en un audiojuego ya existente (AudioDoom) en pos de ofrecer a usuarios adultos una plataforma virtual realista y entretenida que posibilite el entrenamiento de habilidades de orientación. Se buscó aumentar las propiedades inmersivas e interactivas del juego original agregando sonidos envolventes y cambiando la historia y la interfaz de comando. Finalmente, se evaluó el nuevo diseño a través del rendimiento de participantes con y sin discapacidad visual en diferentes entornos sonoros. Los resultados mostraron que los participantes pudieron estructurar el espacio virtual provisto por el juego. Todos tuvieron un bajo nivel de errores. Los entornos sonoros resultaron adecuados para generar espacios virtuales realistas. Por otra parte, los participantes ciegos tuvieron un mejor rendimiento que los participantes con visión normal, demoraron significativamente menos tiempo en resolver la prueba. Ello apoya la hipótesis sobre el desarrollo de habilidades no visuales generado por el uso compensatorio de los sentidos restantes en la vida diaria.

## Abstract

Audio games are electronic games that use auditory cues instead of the typical visual interfaces of video games. Evidence indicates that blind people can improve their orientation and mobility skills due to training with these games. In spite of this, access to such technology is limited because there are few systems with these features in the market of computer games. In this work, we intended to advance in computer game design for blind and low vision people. A series of modifications to an existing audio game (AudioDoom) were conducted to provide to adult users a realistic and entertaining virtual platform to play and train orientation skills. We sought to increase the immersive and interactive properties of the game by adding surround sounds and changing the story and the game controller. We evaluated the new design through the performance of blind and sighted participants in different sound environments. The results showed that participants were able to structure the virtual spaces provided by the game. All of them achieved a low level of errors. The sound environments were adequate to generate realistic virtual spaces. Moreover, blind participants showed better performance than sighted ones in time duration tests. This supports the hypothesis about the development of non-visual skills generated by the increased use of other senses.

## Introducción

Cada vez toman mayor fortaleza postulados teóricos sobre la cognición que acentúan su naturaleza corporizada y ponen énfasis en el valor de la relación que tiene el individuo con su ambiente.<sup>1</sup> Cualquier acto perceptivo mantiene una conexión indisoluble con las acciones llevadas a cabo para conocer el entorno. La percepción se estructura a partir de la actividad exploratoria del individuo, que aprende cómo se relacionan los cambios que se producen en sus sensaciones a partir de las acciones que realiza.<sup>2,3</sup>

Avances en neurociencia y psicología sostienen que una herramienta utilizada por una persona no puede considerarse sólo como una parte de su entorno. El uso de una herramienta no se limita a aumentar su repertorio de acciones o permitirle obtener nueva información del ambiente, sino que transforma sus formas de actuar y percibir en muchos niveles. El uso de una herramienta está asociado con la generación de nuevas formas de experimentar el mundo.<sup>4</sup> En este sentido, emergen nuevas posturas en el diseño de herramientas, donde su objetivo ya no es el diseño de interfaces hombre-máquina que suplan o aumenten capacidades, sino de interfaces que sirvan de medio para dar lugar a nuevas formas de experimentar el mundo.<sup>5</sup>

En los últimos tiempos, el diseño de sistemas de realidad virtual (RV) se ha ido adecuando progresivamente a este tipo de propuestas. En su origen, estos sistemas se esforzaban por lograr una exacta reproducción de la realidad en pos de provocar en el usuario una experiencia realista. Sin embargo, actualmente se piensa que el intento por representar fielmente aspectos de la realidad no asegura la obtención de una vivencia realista e incluso puede implicar una redundancia de detalles.<sup>6</sup> Para lograr tal experiencia, la interfaz hombre-máquina debe posibilitar que el usuario pueda interactuar adecuadamente con el ambiente. Por ello, el diseño de plataformas de RV debe tener en cuenta las propiedades corporales y las experiencias que los usuarios ya poseen. Estos nuevos enfoques buscan adaptar la tecnología a las necesidades y estilos de vida de los usuarios, en lugar de exigir su atención e inmovilización.<sup>7-9</sup>

Los juegos electrónicos basados en RV se han convertido en un elemento esencial dentro del ámbito del entretenimiento y, a su vez, también se contempla su funcionalidad en otros ámbitos, como la educación y rehabilitación. Estos dispositivos presentan a los usuarios un desafío continuo, en donde se ponen en juego el aprendizaje y entrenamiento de variadas

habilidades cognitivas y psicomotrices.<sup>10,11</sup> En este marco, cobra especial interés el diseño de tecnologías accesibles que se adapten a las diferentes necesidades de las personas; tal es el caso de adaptaciones auditivas y táctiles de videojuegos electrónicos para personas que tienen alguna discapacidad sensorial (por ejemplo: Tampokme, Super Mario Bros Audio Edition, AudioQuake, Super Egg Hunt y Battle Chess). Los audiojuegos, particularmente, son aquellos dispositivos que prescinden de interfaces visuales y ofrecen al usuario realimentación mediante claves auditivas, lo que posibilita la participación de personas ciegas.<sup>12,13</sup>

Las restricciones en la movilidad independiente son una de las limitaciones más severas que impone la ceguera. El desarrollo de habilidades de orientación y movilidad (O&M) en individuos con discapacidad visual requiere de un cuidadoso y extensivo aprendizaje. El entrenamiento sistemático de habilidades auditivas espaciales es uno de los pilares de tales programas de aprendizaje. La audición entrenada permite que el individuo logre un estado de alerta altamente sensible para saber qué ocurre en el entorno y le posibilita desarrollar habilidades de orientación espacial para percibir y sortear obstáculos presentes en su camino.

Al respecto, existe evidencia experimental que indica que el uso de audiojuegos puede mejorar las habilidades de O&M de personas ciegas.<sup>14-16</sup> En este sentido, es destacable la labor conjunta que actualmente están llevando a cabo dos grupos de investigadores, uno del Harvard Medical School y otro de la Universidad de Chile. Sus trabajos apuntan a la realización de programas informáticos que contribuyan a entrenar la percepción espacial de las personas ciegas. Un desarrollo particular en el que están trabajando actualmente es el Audiosimulador de Ambientes (AbES, por sus siglas en inglés), un entorno de realidad virtual altamente interactivo basado en juegos computarizados con sonidos espacializados. Estudios con este dispositivo indican que personas ciegas logran adquirir adecuados perceptos espaciales y pueden transferir el aprendizaje de las habilidades de O&M que logran en la plataforma a situaciones de la vida real.<sup>17,18</sup> A su vez, consideran a este tipo de interfaces como una efectiva plataforma de pruebas para realizar evaluaciones de habilidades espaciales, monitorear el aprendizaje de los usuarios e investigar mecanismos cerebrales relacionados con el procesamiento sensorial en ausencia de la visión.<sup>19</sup>

Más allá de esta experiencia, el acceso que tiene una persona ciega a audiojuegos similares al AbES es muy limitado. En el mercado de juegos electrónicos accesibles, estos sistemas son prácticamente inexis-

tentes. Las empresas dedican muy pocos recursos al desarrollo de este tipo de sistemas debido a que el nicho económico es muy pequeño en comparación con el mercado global.<sup>20</sup>

El equipo de la Universidad de Chile mencionado anteriormente tiene una extensa experiencia en desarrollos computacionales para estimular habilidades cognitivas en niños ciegos. En este contexto, realizaron diferentes versiones de un audiojuego que llamaron AudioDoom, juego que sigue la línea del popular videojuego Doom. El AudioDoom utiliza sonidos estéreo para crear un ambiente acústico interactivo que le permite al usuario, sin claves visuales, navegar activamente a través del teclado de la PC. El jugador debe recorrer un mapa que simula los pasillos de una nave espacial y luchar contra extraterrestres con el objetivo de salvar al mundo de una amenaza alienígena.<sup>21,22</sup> Este audiojuego ha sido ampliamente probado en niños ciegos y con visión normal. Al cabo de un tiempo de práctica, la mayoría de los niños logra representar fielmente el espacio navegado. Los autores afirman que los niños ciegos, a través del AudioDoom, son capaces de formar adecuadas imágenes mentales espaciales.<sup>23</sup>

En el laboratorio del CINTRA se llevó a cabo un estudio preliminar con este juego computarizado para analizar su uso en personas adultas. Se evaluaron cinco participantes adultos con visión normal mientras resolvían la consigna del juego a través de recorridos virtuales de diferente dificultad (variando la longitud del recorrido y la cantidad de puertas y alienígenas que debían sortear). Al final del juego, debían dibujar un mapa del recorrido navegado y responder preguntas sobre su vivencia. Todos los participantes pudieron cumplir con la tarea sin mayores dificultades y lograron dibujar correctamente los mapas navegados. Los participantes comentaron que les resultó fácil jugar, que pocas veces se desorientaron y que rápidamente sentían que lograban dominar el juego. Por otra parte, mencionaron que el origen de las claves sonoras era claramente distinguible (izquierda o derecha), lo que les dificultaba tener la sensación de estar inmersos en un ambiente diferente. A la luz de estos resultados, se pudo determinar que el juego era demasiado sencillo para personas adultas. Incluso, que la dificultad de los mapas no alteraba su rendimiento y que los sonidos estéreo no lograban generar sensaciones inmersivas.<sup>24</sup> La inmersión hace referencia justamente a la sensación del usuario de encontrarse dentro de un mundo tridimensional, diferente al real en el que está en ese momento. En estos casos, el usuario deja de percibir el entorno que le

rodea y pasa a estar inmerso dentro del mundo virtual que recrea la plataforma en tiempo real.

En este trabajo se propone avanzar en el diseño de juegos orientados a personas ciegas y con visión disminuida. Se llevará a cabo una experiencia preliminar con una versión modificada del AudioDoom, en la que se evaluará el rendimiento y la experiencia de participantes con y sin visión normal navegando diferentes escenarios emulados por el juego. El propósito del trabajo, por una parte, es comprobar la capacidad inmersiva e interactiva del uso de sonidos envolventes en el AudioDoom. Por otra parte, se busca comparar el rendimiento de participantes ciegos y aquellos con visión normal para recorrer los escenarios virtuales. Modelos teóricos actuales sobre la privación sensorial sostienen que en el caso de la ceguera, puede existir una mejora de habilidades no visuales generada por el uso incrementado de las modalidades sensoriales restantes.<sup>25</sup> Por lo tanto, se espera que en tanto los escenarios del audiojuego se asemejen a situaciones cotidianas, las personas ciegas tengan un mejor rendimiento que las personas con visión normal.

## Material y métodos

**Participantes:** Se trabajó con 15 participantes, 10 personas adultas con visión normal (6 hombres y 4 mujeres, de edades entre 21 y 30 años, M: 26.1 años, DE: 4.3) y cinco participantes ciegos (ver detalles en el cuadro I) sin otra patología agregada, con buena movilidad independiente (todos hombres, de edades entre 19 y 26 años, M: 22.6 años, DE: 1.1).

En relación con la conformación de cada grupo, cabe aclarar que: a) los participantes contaban con equivalente nivel socioeconómico y educativo; b) el rango de edad elegido se considera óptimo en investigación auditiva, además de usarse para controlar el deterioro auditivo fisiológico que, en general, comienza después de los 35 años (presbiacusia); c) el sexo no tiene influencia sobre los fenómenos bajo estudio, por lo que no fue una variable controlada; d) se evaluó el estado auditivo de los participantes mediante una audiometría tonal vía aérea para frecuencias de 250 Hz, 500 Hz, 750 Hz, 1,000 Hz, 2,000 Hz, 3,000 Hz y 4,000 Hz. Se excluyeron todas las personas con umbrales auditivos > 15 dBHL. Todos los participantes dieron su consentimiento informado y recibieron retribución monetaria por participar en la prueba.

**Audiojuego:** Con base en los resultados comentados en la prueba preliminar con el AudioDoom,<sup>24</sup> se llevó a cabo una serie de modificaciones en el

juego con el fin de propiciar un ambiente virtual más inmersivo y aumentar la complejidad de la tarea. Para ello, se modificó la historia original del juego favoreciendo una consigna que se desarrollara en ambientes cotidianos. Se modificó la librería de sonidos del juego, originalmente estéreo, por pistas de cinco canales independientes. Se modificaron las propiedades espaciales de estos nuevos sonidos con el codificador de envolventes del programa Adobe Audition. También se añadió la posibilidad de reproducir simultáneamente diferentes entornos sonoros, esto es, sonidos ajenos a las claves del juego que emulan el paisaje sonoro de un ambiente determinado. Para esta experiencia, se generaron dos entornos sonoros diferentes: uno que fue llamado «entorno natural», que contenía ruidos espacializados de vientos y brisas, y otro llamado «entorno social», que tenía ruidos propios de un evento social (gente hablando, murmullos, risas, ruidos de botellas, aplausos, teléfonos, entre otros). Por último, se modificó la interfaz de comando del juego, que en su versión original era un teclado de PC, empleando un *joystick* con retroalimentación de fuerza (Logitech Force 3D Pro).

El juego se ejecutó desde una PC de escritorio. Para la reproducción de los sonidos se utilizó un amplificador y un sistema de parlantes 5.1 (Logitech 5.1 X-530) al que se le anuló la salida del canal de subgraves para mejorar la discriminación espacial de los estímulos. El posicionamiento de altavoces se hizo de acuerdo con los diagramas de colocación de parlantes recomendados por Dolby Surround. En la *figura 1* se

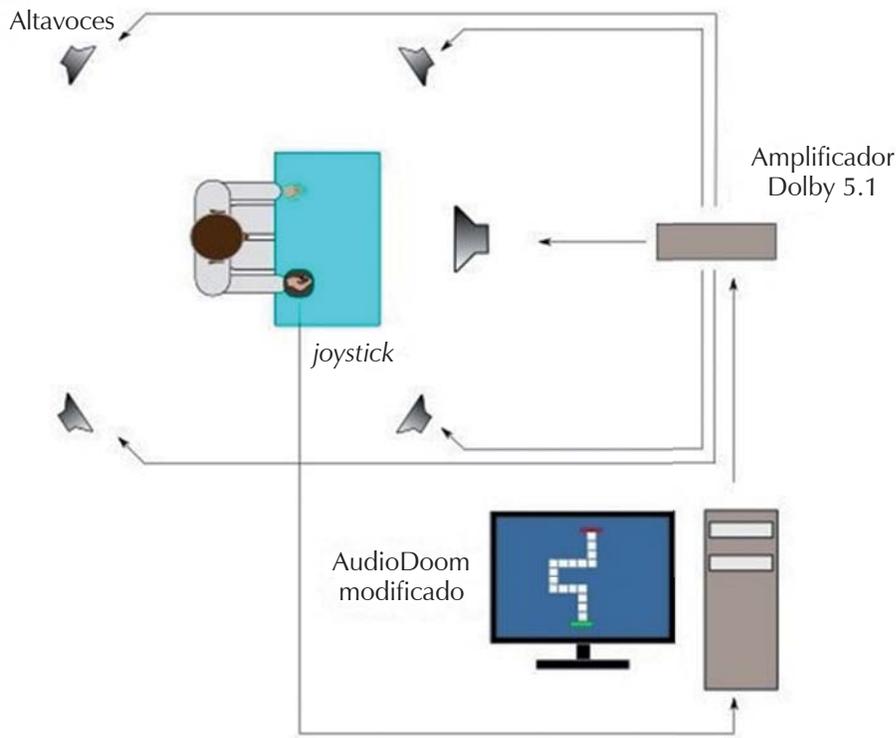
observa un esquema de la cadena instrumental de la prueba. El juego dispone de una interfaz gráfica que permite al experimentador observar el rendimiento del usuario. Se utilizó un programa de grabación de pantalla (CamStudio) para tener registro de esta interfaz y posteriormente analizar el desempeño de cada participante.

**Procedimiento:** La prueba se resolvió a oscuras en una cámara tratada acústicamente. El participante permanecía sentado en el centro del arreglo de parlantes, tomando con una mano la palanca del *joystick*. Su tarea consistía en cumplir la consigna del juego; esto es, llegar al final de una serie de pasillos navegando a través de ellos y realizando dos tipos de acciones: juntar la mayor cantidad de monedas posibles y abrir puertas para seguir avanzando. Para ello debía atender al lugar de donde provenían las claves sonoras propias de cada acción (derecha, centro o izquierda). Para realizar un paso hacia delante, el participante debía presionar un botón del *joystick*, en tanto que para juntar monedas y abrir puertas, debía mover la palanca en la dirección correspondiente. Mientras recorría por estos pasillos, el participante escuchaba también uno de los entornos sonoros.

Al final de cada juego, el participante debía identificar el mapa recorrido entre tres opciones posibles. Los mapas estaban impresos en un papel para los participantes con visión normal y dibujados en relieve para los participantes ciegos. Antes de comenzar la prueba, para familiarizarse con la tarea, los participantes resolvieron el juego en un escenario simplificado (sin entorno sonoro y con escasas acciones).

**Cuadro I.** Información de los participantes ciegos.

Participante	Edad	Causa de la ceguera	Aparición	Visión residual
1	26	Sin datos	Temprana	Ninguna
Observaciones: <i>Trabaja en oficina gubernamental, tiene estudios secundarios completos y juega fútbol para ciegos.</i>				
2	19	Retinoblastoma bilateral	Temprana	Ninguna
Observaciones: <i>Cursa estudios universitarios y juega fútbol para ciegos.</i>				
3	24	Accidente automovilístico	Tardía	Ninguna
Observaciones: <i>Trabaja en oficina gubernamental, tiene estudios secundarios completos y juega fútbol para ciegos.</i>				
4	27	Cataratas congénitas y complicaciones quirúrgicas	Temprana	Visión luz
Observaciones: <i>Cursa estudios universitarios y juega fútbol para ciegos.</i>				
5	23	Glaucoma congénito	Temprana	Visión luz
Observaciones: <i>Cursa estudios universitarios y juega fútbol para ciegos.</i>				



**Figura 1.**

Esquema de cadena instrumental de la prueba. Durante la prueba, el participante permanecía sentado en el centro del sistema de parlantes tomando con una mano el mando del *joystick*, asistido por el audiojuego computacional.

Las variables bajo estudio fueron condición visual (participantes ciegos versus participantes con visión normal) y entorno sonoro (natural versus social). La prueba contaba con seis recorridos en total (tres mapas por dos entornos sonoros). Todos los recorridos tenían la misma longitud y ofrecían al usuario la misma cantidad de acciones (12 aperturas de puertas y 12 recolecciones de monedas) distribuidas espacialmente en las posiciones derecha, centro e izquierda (ocho veces en cada una). Los participantes resolvían en primer lugar los ensayos en el entorno sonoro natural y luego en el entorno social; en cada caso, el orden de los recorridos era contrabalanceado entre los participantes. La prueba se llevó a cabo en una sola sesión que duraba aproximadamente 40 minutos. Todos los procedimientos cumplieron los principios éticos para la investigación con humanos estipulados en el CINTRA, UTN-FRC, Unidad Asociada de CONICET, Córdoba, Argentina y por la Declaración de Helsinki revisada en el año 2008.

Los parámetros del rendimiento del participante fueron cantidad de errores en las acciones del juego, duración de los ensayos y aciertos en el reconocimiento del mapa. Al finalizar la prueba, se realizó una entrevista semiestructurada para recabar datos sobre la experiencia de los participantes en el juego.

Se utilizaron como ejes de la entrevista las siguientes preguntas: a- ¿Le resultó fácil o difícil comenzar a jugar?; b- ¿Con qué sentido (por ejemplo, auditivo, visual, táctil) podría comparar la experiencia que sintió al jugar con este juego? ¿Podría imaginar alguna situación análoga o parecida?; c- ¿Qué ensayo le resultó más difícil? ¿Por qué?; d- Mientras jugaba, ¿adoptó alguna estrategia en particular? ¿Cuál?

**Análisis de datos:** Se obtuvieron medias y desvíos estándar de cada valor del rendimiento para cada grupo. Para probar la igualdad en el desempeño entre y dentro de los grupos en las variables duración de los ensayos y cantidad de errores, se efectuaron un ANOVAs univariado y bifactorial de medidas repetidas. Para probar la igualdad del rendimiento entre y dentro de los grupos para los aciertos en el reconocimiento de mapas, se realizó la prueba de Wilcoxon para dos muestras relacionadas. Se realizó un análisis cualitativo de las respuestas de los participantes a las preguntas realizadas al final de la prueba. Por un lado, se identificaron datos metacognitivos, expresiones referidas a modos de exploración que utilizaba el participante durante la prueba; por el otro, se identificaron datos fenoménicos, expresiones sobre la vivencia y las sensaciones que tuvo el participante en la prueba.

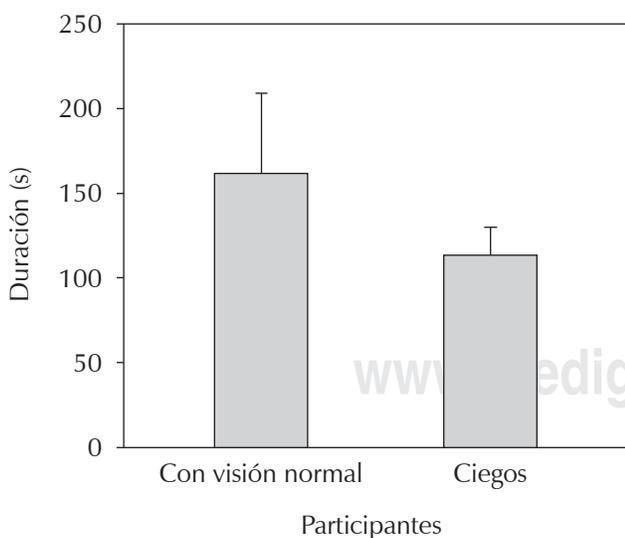
## Resultados

### Análisis del rendimiento de los participantes

**Cantidad de errores:** La cantidad promedio de errores en las acciones del juego de los participantes de ambos grupos fue de 1.68 (DE: 1.34) por mapa recorrido. Si bien no hubo diferencias significativas entre los entornos sonoros, todos los participantes cometieron más errores recorriendo los mapas con el entorno social (M: 2.2; DE: 1.44) que con el entorno natural (M: 1.17; DE: 1.05). En ambas condiciones, pero especialmente con el entorno social, el rendimiento de los participantes tuvo una considerable variabilidad. Con respecto a la condición visual, los participantes ciegos cometieron en promedio menos errores (M: 1.56; DE: 1.33) que los participantes con visión normal (M: 1.75; DE: 1.18). Esta diferencia tampoco alcanzó niveles de significación estadística.

**Duración de los ensayos:** La duración total promedio de todos los participantes fue de 145.74 seg. (DE 53.01). Los participantes demoraron un tiempo similar en resolver la tarea en ambos entornos sonoros: natural (M: 153.9; DE: 48.27) y social (141.40; DE: 54.14). En relación con la variable de agrupamiento, los participantes ciegos demoraron menos tiempo en resolver la tarea que los participantes con visión normal ( $F_{1,13} = 4,849; p < .046$ ) (Figura 2).

**Reconocimiento de mapas recorridos:** Cuando se compararon los aciertos en el reconocimiento de mapas obtenidos por los participantes, no se observa-



**Figura 2.** Duración total promedio (en segundos) obtenida por los participantes según la condición sensorial.

ron diferencias en el rendimiento en función de la serie de escenarios ni entre ambos grupos. El porcentaje de aciertos de reconocimiento total de ambos grupos alcanzó el 44.4%. Ambos grupos superaron levemente el nivel de azar (33.33%, ya que debían elegir una opción de tres que les ofrecía el experimentador).

### Análisis de la experiencia de los participantes

**Dato metacognitivo:** Los participantes comentaron que en función de las demandas del juego tuvieron que adoptar estrategias particulares. Algunos individuos buscaban enfocar su atención solamente en las claves sonoras. Otros, controlaban sus movimientos en función de la escena auditiva, de manera tal que cuando se presentaban muchos ruidos en el entorno sonoro que los distraían, se mantenían quietos y avanzaban recién cuando éstos terminaban. Un sujeto también comentó que movía la cabeza para localizar mejor las fuentes sonoras. Muchos participantes manifestaron tener la sensación de que fueron aprendiendo a resolver la tarea a lo largo de la prueba (Cuadro II).

Para reconocer el mapa recorrido, algunos participantes principalmente trataban de ir recordando la trayectoria y armar un mapa mental. Sin embargo, otros lo reconocían de manera intuitiva (Cuadro II). Es interesante señalar que los individuos con mejor rendimiento en la tarea de reconocimiento de mapas fueron un participante ciego y otro con visión normal, cada uno identificó correctamente el 83% de los recorridos; no obstante, los relatos de sus experiencias fueron completamente diferentes. El participante con visión normal mencionó que mientras recorría el mapa se esforzaba por memorizar la cantidad de pasos y la dirección de los giros que daba, mientras que el participante ciego afirmó que «no sabía» como lograba identificar el mapa, ya que para él era «imposible» memorizar la forma y que utilizaba un método «intuitivo».

**Dato fenoménico:** Todos los participantes podían describir fácilmente las características de los ambientes propuestos con cada entorno sonoro, que el natural correspondía a «un lugar ventoso» y el social era propio de «una fiesta». En varios de los relatos de los participantes se identificaron sensaciones de inmersión en el ambiente virtual. En estos casos, comentaban directamente cómo era su interacción en el ambiente virtual del juego; por ejemplo, «cuando avanzaba sentía a la gente a mis costados». Por último, muchos participantes también manifestaron su agrado al resolver la prueba. Les parecía un juego «entretenido», «divertido» y «desafiante», entre otros calificativos positivos. En todos los casos, los comen-

**Cuadro II.** Datos metacognitivos y fenoménicos de participantes con visión normal (VN) y ciegos (C).

**Datos metacognitivos**

*Estrategias para navegar en un escenario virtual*

Para saltar las dificultades del juego, prestaban especial atención a las claves sonoras significativas; por ejemplo:

Participante VN N° 5: *En la segunda parte me confundía más con el murmullo. Es más distractor; entonces, cerré los ojos y escuché bien.*

Participante C N° 5: *Si no estás concentrado, te podés confundir.*

Controlaban los movimientos en función de la escena auditiva, de manera tal que cuando había ruidos distractores, el usuario se mantenía quieto y avanzaba recién cuando éstos terminaban:

Participante VN N° 1: *Cuando conocía el ambiente era más fácil. Me frenaba para escuchar, para que se fueran los ruidos. Lo regulaba cuando podía.*

Participante C N° 2: *Cuando había un ruido, frenaba para que terminara y escuchaba las puertas.*

Un participante movía la cabeza para localizar mejor las fuentes sonoras:

Participante VN N° 4: *Cuando necesitaba orientarme, giraba la cabeza.*

*Estrategias para reconocer los mapas recorridos*

Recordar la trayectoria y armar un mapa mental:

Participante VN N° 3: *Sentía que el mapa tenía un norte. Me daba cuenta cuando me alejaba. Intuitivamente sabía. Caminaba despacio para tener más orientación espacial.*

Participante C N° 4: *Para el mapa, me acordaba cómo empezaba y cómo terminaba.*

Reconocerlo de manera intuitiva:

Participante VN N° 9: *Lo de los mapas era intuitivo.*

Participante VN N° 8: *No me concentraba en los mapas. No me acordaba cómo eran.*

**Datos fenoménicos**

*Sensaciones de inmersión*

Participante C N° 5 en relación con los recorridos en el entorno natural: *Sentía que iba por un pasillo techado, el piso era de mosaicos, por los ruidos de los tacos del zapato.*

Participante VN No 9 en relación con el entorno natural: *El sonido de fondo era frío ventoso. Estaba encerrado, todo era blanco.*

Participante VN No 8: *Va más allá de un juego, era muy realista, muy preciso. [En relación con los recorridos en el entorno natural.] En el tema de las monedas, los pasos tienen que ver. Me imaginaba un pasillo lúgubre, de madera (...). [En relación con los recorridos del entorno social.] En el segundo, me desorienté, no me dejaba hacer nada. Me puse nervioso. Era una fiesta muy llena de gente indiferente, era una fiesta de gala.*

Participante VN No 4 en relación con el entorno social: *Estaba en un lugar con mucha gente. Yo esquivaba gente, me sentía como si fuera ciego.*

*Apropiación del dispositivo*

Sensación de aprendizaje a lo largo de la prueba:

Participante C N° 1: *Le vas agarrando la mano [al juego].*

Participante VN N° 9: *Sentía que tenía el control, no había dificultad. Cada vez me sentía con más control, más habituado.*

tarios de las personas ciegas fueron similares a los comentarios de las personas con visión normal. En el *cuadro II* se presentan citas textuales de las vivencias experimentadas por algunos de los participantes.

## Discusión

Los avances logrados en este trabajo apuntan a generar aportes teóricos y técnicos para el desarrollo de plataformas virtuales de entrenamiento de habilidades espaciales no visuales, las cuales son cruciales para la O&M eficiente de la persona ciega. En este estudio, se buscó aumentar las propiedades inmersivas e interactivas de un audiojuego modificando sus propiedades sonoras, su historia y el comando de juego. En las pruebas realizadas, se evaluó la capacidad de participantes con y sin visión normal para recorrer escenarios virtuales sin claves visuales valiéndose solamente de sonidos envolventes. Los resultados mostraron que todos los participantes pudieron estructurar dinámicamente el espacio virtual provisto por el juego utilizando sólo información sonora acoplada a las acciones que realizaban.

Los entornos sonoros del juego resultaron adecuados para generar espacios virtuales realistas. No hubo diferencias significativas en el rendimiento de los participantes en función de los entornos sonoros; no obstante, tanto las tendencias de los resultados como los comentarios de los participantes indicaron que el entorno social era más dificultoso que el entorno natural. Ello estaría señalando que, tal como sucede en la vida cotidiana, desplazarse sin claves visuales por ambientes ruidosos, con una amplia variedad de sonidos impulsivos (aplausos, risas, copas), es más dificultoso que hacerlo en un entorno con sonidos menos variables, más paulatinos y persistentes (vientos y brisas). Todos los individuos pudieron describir ambientes similares para cada clase de entorno. Asimismo, varios sujetos manifestaron tener sensaciones inmersivas; esto es, sentir que se encontraban en un «mundo tridimensional» diferente al real. Björk y Holopainen<sup>26</sup> describieron dos tipos de inmersión en ambientes virtuales que se refieren a las descripciones que los participantes hicieron aquí: a) inmersión sensoriomotora, que es resultado de varios ciclos de retroalimentación entre el usuario con el ambiente virtual; la inmersión se manifiesta en tanto el usuario puede ejecutar una tarea y mejorarla, con lo cual su interacción con el ambiente se vuelve más exitosa; b) inmersión espacial, que ocurre cuando el usuario siente que el mundo simulado es perceptualmente convincente, siente plausible su presencia «allí». En contraste, en las pruebas previas, con sonidos

estéreo, los participantes discriminaban notoriamente el origen de los sonidos.

El grupo de personas ciegas evidenció un mejor rendimiento promedio con respecto a los individuos con visión normal. Los sujetos ciegos demoraron significativamente menos tiempo en recorrer los laberintos virtuales y cometieron menos errores, aunque estas diferencias no alcanzaron significación estadística. Se piensa, en línea con otros autores,<sup>27-29</sup> que esta tendencia a favor de las personas ciegas puede explicarse por efecto del aprendizaje implícito de habilidades de audición espacial. Este tipo de aprendizaje hace referencia a cambios relativamente permanentes en el comportamiento a raíz de una práctica sostenida y cotidiana de habilidades a la que algunas personas, por razones laborales o vitales, están sometidas aun sin ser conscientes de ello. Tal es el caso del desarrollo de habilidades espaciales no visuales en individuos ciegos con buena movilidad independiente. Lo cual, a su vez, es acompañado de cambios neurofisiológicos en la corteza cerebral; las tareas de audición espacial comienzan a reclutar áreas típicamente asociadas con otras modalidades sensoriales.<sup>30</sup> En relación con los participantes ciegos, más allá de contar con una muestra pequeña, no se observaron mayores diferencias dentro del grupo. Probablemente, el hecho de que todos los sujetos hayan tenido buena movilidad independiente implicó un nivel de entrenamiento semejante de sus habilidades espaciales. Futuros trabajos deberían explorar en profundidad la relación entre la aparición de la ceguera, sus actividades cotidianas y la experticia en estas clases de tareas espaciales.

Por otra parte, la tarea de reconocer el mapa recorrido resultó dificultosa para todos los participantes. A diferencia de la experiencia previa con adultos<sup>25</sup> y la experiencia del grupo de la Universidad de Chile con niños,<sup>24</sup> los individuos en esta prueba mostraron un rendimiento regular. Probablemente esto se deba a que los recorridos utilizados aquí requerían cumplir una mayor cantidad de acciones (juntar monedas y abrir puertas) y a que se navegaba con la presencia de ruidos de fondo, lo que pudo perturbar la atención del sujeto y dificultar la tarea de reconocimiento del mapa.

Vale destacar que varios participantes expresaron sentir que el juego era desafiante y la mayoría manifestó haberse divertido. Esta faceta de entretenimiento resulta crucial para mantener la motivación del usuario y también da cuenta de la adecuada adaptación del juego original. Las plataformas de este tipo son desarrollos pioneros en modalidades de entretenimiento electrónico que igualan las habilidades de personas con y sin discapacidad sensorial. La posibilidad de

acceder a estas experiencias tiene efectos positivos tanto en la salud física y cognitiva de los usuarios como en su vida social.<sup>31</sup>

El uso de sonidos envolventes resultó una estrategia relativamente sencilla de implementar y exitosa para generar ambientes sonoros. La utilización de sonidos multicanal y la disposición de los altavoces alrededor del usuario favorecen la sensación de estar inmerso en un ambiente sonoro complejo. Además, permiten que el usuario pueda moverse (girar el torso y la cabeza, por ejemplo) y que las fuentes sonoras mantengan una posición estable, tal como sucede en la realidad. En su lugar, la mayoría de los audiojuegos existentes logran la espacialidad sonora a través de pistas estéreo que se reproducen a través de auriculares. La utilización de este método, de no contar con un apropiado procesamiento de las señales, no asegura una adecuada externalización del sonido; esto es, que se escuche la fuente sonora «allí afuera». En este sentido, la utilización de sonidos envolventes resulta una alternativa accesible al uso de técnicas avanzadas de realidad acústica virtual que requieren información de los movimientos que realiza la persona y sofisticadas técnicas de procesamiento de algoritmos espaciales, como las que incluyen a las HRTFs (funciones de transferencia relativa a la cabeza y el torso).

Para finalizar, vale destacar que en este trabajo se presentó un estudio preliminar sobre la usabilidad de un audiojuego con sonidos envolventes. El abordaje propuesto resulta innovador en el desarrollo de juegos electrónicos existentes en el mercado. Este tipo de plataformas tiene grandes potencialidades en su aplicación clínica-rehabilitante<sup>32</sup> y, asimismo, pueden ser consideradas como herramientas de investigación para estudiar habilidades perceptuales con mayor validez ecológica que la de los estudios psicofísicos tradicionales.<sup>19</sup> En este caso, se obtuvo evidencia del aprendizaje implícito de habilidades espaciales que conlleva la discapacidad visual. Futuros trabajos deberán orientarse a mejorar la interacción del usuario con el juego. La posibilidad de que el jugador realice libremente movimientos más naturales le proveerá un mayor grado de inmersión en el espacio virtual. Asimismo, es preciso estudiar en profundidad los efectos del entrenamiento sostenido en esta plataforma para el desarrollo de habilidades espaciales no visuales en una mayor muestra de participantes.

### Agradecimiento

Este estudio fue llevado a cabo con el financiamiento de los subsidios PID UTN (1711) y PID SECyT UNC

(05/P130 y 05/P167). El primer y tercer autor agradecen al CONICET por el financiamiento de sus becas postdoctoral y doctoral, respectivamente. Los autores agradecen a Aldo Ortiz Skarp y Facundo Barrera por su ayuda técnica y a Pablo Kogan por sus comentarios de versiones preliminares de este manuscrito.

### Bibliografía

1. McGann M, De Jaegher H, Di Paolo EA. Enaction and psychology. *Rev Gen Psychol.* 2013; 17: 203-209.
2. Varela F, Thompson E, Rosch E. *The embodied mind.* Cambridge: MIT Press; 1991.
3. O'Regan JK, Noë A. A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behav Brain Sci.* 2001; 24 (5): 939-973; discussion 973-1031.
4. Auvray M, Myin E. Perception with compensatory devices. From sensory substitution to sensorimotor extension. *Cogn Sci.* 2009; 33 (6): 1036-1058.
5. Froese T, McGann M, Bigge W, Spiers A, Seth A K. The enactive torch: a new tool for the science of perception. *IEEE Transactions on Haptics.* 2012; 5: 365-375.
6. Brown E, Cairns P. A grounded investigation of game immersion. In: *CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems.* New York: ACM; 2004. pp. 1297-1300.
7. Riva G. From virtual to real body: virtual reality as embodied technology. *J Cyber Ther Rehabil.* 2008; 1: 7-22.
8. Dima M, Hurcombe L, Wright M. Touching the past: haptic augmented reality for museum artefacts. *Proceedings of HCI International 2014, Lecture Notes In Computer Science.* Springer-Verlag; 2014.
9. Whitson J, Eaket C, Greenspan B, Tran MQ, King N. Neo-immersion: awareness and engagement in game-play. In: *Kapralos B, Katchabaw M, Rajnovich J. Future play.* New York: Association for Computing Machinery; 2008. pp. 220-223.
10. Marqués-Graells P. Nuevos entornos, nuevos modelos didácticos. *Cuadernos Pedagogía.* 2006; 363: 80-89.
11. Marín-Díaz V. Los videojuegos y los juegos digitales como materiales educativos. Madrid: Síntesis. Pixel-Bit; 2013.
12. Archambault D, Ossmann R, Gaudy T, Miesenberger K. Computer games and visually impaired people. *UP-GRADE.* 2007; 8: 43-53.
13. Szabo D. Pautas de usabilidad de entornos acústicos 3D con asistencia táctil para usuarios con discapacidad visual. *Memorias del trabajo de investigación.* Madrid: Universidad Politécnica de Madrid; 2006. [Acceso 10 de enero de 2015] Recuperado de: [http://www.dlsiis.fi.upm.es/docto\\_Isiis/Trabajos20052006/Szabo.pdf](http://www.dlsiis.fi.upm.es/docto_Isiis/Trabajos20052006/Szabo.pdf)
14. Ohuchi M, Iwaya Y, Suzuki Y, Munekata T. Cognitive-map formation of blind persons in a virtual sound environment. *Proceedings of the 12th International Conference on Auditory Display.* London, UK: 2006.
15. Riehle TH, Lichter P, Giudice NA. An indoor navigation system to support the visually impaired. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2008; 2008: 4435-4438.

16. Lahav O, Schloerb DW, Srinivasan MA. Newly blind persons using virtual environment system in a traditional orientation and mobility rehabilitation program: a case study. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2012; 7 (5): 420-435.
17. Merabet LB, Connors EC, Halko MA, Sánchez J. Teaching the blind to find their way by playing video games. *PLoS One*. 2012; 7 (9): e44958.
18. Connors E, Chrastil E, Sanchez J, Merabet LB. Action video game play and transfer of navigation and spatial cognition skills in adolescents who are blind. *Front Hum Neurosci*. 2014; 8: 133.
19. Merabet L B, Sánchez J. Audio-based navigation using virtual environments: combining technology and neuroscience. *AER Journal: Research and Practice in Visual Impairment and Blindness*. 2009; 2: 128-137.
20. Mangiron C, Orero P, O'Hagan M. Fun for all: translation and accessibility practices in video games. Berna: Peter Lang; 2014.
21. Sánchez J, Lumbreras M. Virtual environment interaction through 3D audio by blind children. *Cyberpsychol Behav*. 1999; 2 (2): 101-111.
22. Sánchez J, Sáenz M. Three-dimensional virtual environments for blind children. *Cyberpsychol Behav*. 2006; 9 (2): 200-206.
23. Sánchez J, Zuñiga M. Evaluating the interaction of blind learners with audio-based virtual environments. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine. Virtual Healing: Designing Reality*. 2006; 4: 167-173.
24. Arias C. Actividad exploratoria durante la estructuración de perceptos espaciales y reconocimiento de objetos en niños y adultos con visión normal equipados y no equipados con Sistemas de Sustitución Sensorial. *Memorias del Trabajo de Investigación. PID SECyT. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*; 2009.
25. Emerson RW, Ashmead D. Visual experience and the concept of compensatory spatial hearing abilities. In: Rieser JJ, Ashmead DH, Ebner FF, Corn AL. *Blindness and brain plasticity in navigation and object perception*. New York: Lawrence Erlbaum Associates; 2008. pp. 367-380.
26. Björk S, Holopainen J. *Patterns in game design*. Massachusetts: Charles River Media; 2004.
27. Lerens E, Renier L. Does visual experience influence the spatial distribution of auditory attention? *Acta Psychol (Amst)*. 2014; 146: 58-62.
28. Röder B, Teder-Sälejärvi W, Sterr A, Rösler F, Hillyard S, Neville H. Improved auditory spatial tuning in blind humans. *Nature*. 1999; 400: 162-166.
29. Vercillo T, Milne JL, Gori M, Goodale MA. Enhanced auditory spatial localization in blind echolocators. *Neuropsychologia*. 2015; 67: 35-40.
30. Collignon O, Vandewalle G, Voss P, Albouy G, Charbonneau G, Lassonde M et al. Functional specialization for auditory-spatial processing in the occipital cortex of congenitally blind humans. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2011; 108 (11): 4435-4440.
31. Höysniemi J. International survey on the Dance Dance Revolution game. *ACM Computers in Entertainment*. 2006; 4: 8.
32. Riva G. Medical clinical uses of virtual worlds. In: Grimshaw M (Ed.) *The Oxford handbook of virtuality*. New York: Oxford University Press; 2014. pp. 649-665.