

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE INFORMÁTICA



TESIS DOCTORAL

**Aplicación de analíticas en la sistematización del diseño y
validación de juegos serios para usuarios con discapacidad
intelectual**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Ana Rus Cano Moreno

Directores

Baltasar Fernández Manjón
Álvaro José García Tejedor

Madrid

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE INFORMÁTICA

**APLICACIÓN DE ANALÍTICAS EN LA
SISTEMATIZACIÓN DEL DISEÑO Y
VALIDACIÓN DE JUEGOS SERIOS PARA
USUARIOS CON DISCAPACIDAD INTELECTUAL**



MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR PRESENTADA POR

Ana Rus Cano Moreno

Bajo la dirección de los doctores:
Baltasar Fernández Manjón
Álvaro José García Tejedor

Madrid, Septiembre de 2019



U N I V E R S I D A D
COMPLUTENSE
M A D R I D

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS
PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR**

Dña. **Ana Rus Cano Moreno**, estudiante en el **Programa de Doctorado en Ingeniería Informática**, de la Facultad de Informática de la Universidad Complutense de Madrid, como autora de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor y titulada:

Aplicación de analíticas en la sistematización del diseño y validación de Juegos Serios para usuarios con discapacidad intelectual

y dirigida por Baltasar Fernández Manjón y Álvaro José García Tejedor

DECLARO QUE:

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

En Madrid, a 20 de Julio de 2019

Fdo.:

Agradecimientos

A Balta y a Álvaro, que no sólo son mis directores de tesis, sino que se han convertido en amigos. Habéis sabido sacar lo mejor de mí y guiarme en este largo proceso, que ni siquiera me veía capaz de terminar cuando empezamos esta aventura.

Estoy orgullosa de tener dos directores que siempre han tenido su puerta abierta, me han escuchado y han sabido entenderme y presionarme cuando hacía falta.

De estos cinco años, o incluso diez, me llevo vuestras charlas a distancia y vuestras reuniones en las cafeterías de Madrid en donde le dábamos una y mil vueltas a cada artículo. Gracias.

A Iván, a Cristina y a Toni, por estar siempre dispuestos a echar una mano a esa chica que aparece una vez al año por el departamento. Nos hemos visto muy poco, pero os siento como compañeros.

A María Luisa Berdud, de la Fundación Síndrome de Down de Madrid, por ponernos todas las facilidades del mundo para hacer posible este proyecto. No conozco a una persona más luchadora y comprometida con su trabajo, que siempre tiene una sonrisa y una palabra amable, aunque las circunstancias no acompañen. Gracias de corazón.

A los chicos y chicas de la Fundación Síndrome de Down de Madrid. Me acuerdo de todos vosotros, de esas tardes que hemos pasado jugando juntos. Espero que sigáis usando Downtown con las mismas ganas con las que jugasteis conmigo y que nada se interponga en vuestro camino.

A Alberto Muñoz del Servicio de Responsabilidad Corporativa del Metro de Madrid, por su entusiasmo con el proyecto. Ha sido toda una experiencia bajar al Metro con vosotros, estropear las máquinas a propósito y parar los trenes para que pudiéramos bajar sin prisa. Sin vuestra ayuda, el proyecto hubiera sido mucho menos divertido.

A Marisa, Jose Luis y Sara, que siempre están. Para todo. Habéis sabido ser abuelos, padres, cuidadores y ayudantes para facilitarme la vida. No puedo ser más afortunada.

A Diego, la pieza fundamental en todo este puzle que me ha apoyado desde el principio. Sabes que sin ti no hubiera conseguido terminar la tesis, porque siempre me das la dosis de confianza y cariño que necesito para seguir adelante.

A Dani y a Clara. Llegasteis después de empezar la tesis y en un país extraño. No sabéis la cantidad de cosas que he aprendido de vosotros gracias a vuestra energía, vuestro carácter y vuestras ganas

de vivirlo todo intensamente. Escribir esta tesis e intentar dedicaros todo el tiempo del mundo ha sido un reto que repetiría sin dudar, porque nos ha hecho a los tres más fuertes. Sé que vais a estar muy orgullosos de mi cuando seáis más mayores. Espero poder transmitirlos las ganas de aprender, la constancia y, cómo no, mi pasión por los videojuegos (aunque viendo cuáles son vuestros libros favoritos veo que vamos por buen camino).

Sobre este documento

Este trabajo de tesis doctoral es una recopilación de publicaciones de acuerdo con lo expuesto en la Normativa de Desarrollo del Real Decreto 99/2011, del 28 de Enero (BOE 10/02/2011), por el que se regulan las enseñanzas oficiales de doctorado en la Universidad Complutense de Madrid^{1,2}.

A continuación, se enumeran los artículos presentados:

- Cano, A. R., García-Tejedor, A. & Fernández-Manjón, B. (2015) **A Literature Review of Serious Games for Intellectual Disabilities**. In: Conole G., Klobučar T., Rensing C., Konert J., Lavoué E. (eds) *Design for Teaching and Learning in a Networked World. Lecture Notes in Computer Science*, vol 9307, pp 560-563. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-24258-3_59. ISBN: 978-3-319-24257-6
- Cano, A. R., García-Tejedor, A. & Fernández-Manjón, B. (2015) **Highlights in the Literature Available in Serious Games for Intellectual Disabilities**. In: Li F., Klamma R., Laanpere M., Zhang J., Manjón B., Lau R. (eds) *Advances in Web-Based Learning - ICWL 2015. ICWL 2015. Lecture Notes in Computer Science*, vol 9412, pp 95-108. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-25515-6_9. ISBN: 978-3-319-25514-9
- Cano, A. R., García-Tejedor, A. & Fernández-Manjón, B. (2017) **GLAID: Designing a Game Learning Analytics Model to Analyze the Learning Process in Users with Intellectual Disabilities**. In: Vaz de Carvalho C., Escudeiro P., Coelho A. (eds) *Serious Games, Interaction and Simulation. SGAMES 2016. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol 176, pp 45-52. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-51055-2_7. ISBN: 978-3-319-51054-5
- Cano, A. R., García-Tejedor, A. & Fernández-Manjón, B. (2016). **Downtown, A Subway Adventure: Using Learning Analytics to Improve the Development of a Learning Game for People with Intellectual Disabilities**. In: *ICALT 2016 - 16th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. CPS (Conference Publishing Services). DOI: 10.1109/ICALT.2016.46. ISBN: 978-1-4673-9042-2
- Cano, A. R., García-Tejedor, A. & Fernández-Manjón, B. (2018). **Using game learning analytics for validating the design of a learning game for adults with intellectual**

¹ <https://www.boe.es/eli/es/rd/2011/01/28/99/con>

² <https://edoctorado.ucm.es/normativa>

disabilities. British Journal of Educational Technology, 49(4), 659-672. <http://doi.org/10.1111/bjet.12632>. ISBN: 1467-8535. Impact factor (2018): 2.588. Ranking 2018 Education & Educational Research: 31/243.

- Cano, A. R., García-Tejedor, A, Alonso-Fernández, C. & Fernández-Manjón, B. (2019) (Aceptado, en proceso de publicación). **Game Analytics evidence-based evaluation of a learning game for intellectual disabled users.** IEEE Access. <http://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2938365>. ISBN: 2169-3536. Impact factor (2018): 4.098. Ranking 2018 Computer Science and Information Systems: 23/151.

De acuerdo a la normativa, este documento incluye un índice con los títulos de los capítulos, un estudio del estado del arte, una descripción de los objetivos propuestos para esta tesis y una discusión sobre el contenido incluido en los artículos presentados.

Adicionalmente se presenta un capítulo con conclusiones y posibles líneas futuras de investigación relacionada con el tema.

Finalmente, se incluye una bibliografía con las referencias de los artículos mencionados en esta tesis doctoral.

Tabla de contenido

Resumen	1
Abstract	3
Glosario de términos	5
Estructura de la tesis	8
Capítulo 1: Introducción y Motivación	9
1.1 La discapacidad intelectual en España - Fundación Síndrome de Down de Madrid	9
1.2 Motivación de la investigación	10
1.3 Objetivos de la línea de investigación.....	13
Capítulo 2: Estado del arte	15
2.1 Los videojuegos como herramienta educativa	16
2.1.1 Definición y clasificación de los Serious Games y Videojuegos Educativos.....	16
2.1.2 Game-Based Learning: el aprendizaje basado en juegos y sus características.....	18
2.1.3 Beneficios de los videojuegos educativos.....	21
2.2 Discapacidad intelectual y aprendizaje	22
2.2.1 ¿Qué es la discapacidad intelectual?	22
2.2.2 Tipos de discapacidades intelectuales	23
2.2.3 Aprendizaje en personas con discapacidad intelectual.....	26
2.3 Desarrollando videojuegos para usuarios con discapacidad intelectual.....	29
2.3.1 Estándares de desarrollo de videojuegos para personas con discapacidad intelectual.....	31
2.3.2 Estrategias de desarrollo basadas en estándares.....	35
2.3.3 Algunos ejemplos de videojuegos para para personas con discapacidad intelectual	39
2.4 Game Learning Analytics: Evaluando videojuegos educativos a través de la captura de datos	43
2.5 A modo de conclusión.....	47
Capítulo 3: Objetivos y planteamiento del trabajo	49
3.1 Objetivos de la tesis	49

3.2	Planteamiento del trabajo.....	52
Capítulo 4: Discusión y contribuciones.....		54
Capítulo 5: Conclusiones y trabajo futuro.....		69
5.1	Conclusiones y principales aportaciones.....	699
5.2	Trabajo futuro	71
Capítulo 6: Artículos presentados.....		74
6.1	A literature review of Serious Games for intellectual disabilities.....	74
6.1.1	Cita completa	74
6.1.2	Resumen original de la publicación	74
6.1.3	Referencias de citas bibliográficas.....	74
6.2	Highlights in the Literature Available in Serious Games for Intellectual Disabilities.....	79
6.2.1	Cita completa	79
6.2.2	Resumen original de la publicación	79
6.2.3	Referencias de citas bibliográficas de la publicación.....	79
6.2.4	Referencias de citas bibliográficas analizadas	79
6.3	GLAID: Designing a Game Learning Analytics Model to Analyze the Learning Process in Users with Intellectual Disabilities	95
6.3.1	Cita completa	95
6.3.2	Resumen original de la publicación	95
6.3.3	Referencias de citas bibliográficas de la publicación.....	95
6.4	Downtown, a Subway Adventure: Using Learning Analytics to Improve the Development of a Learning Game for People with Intellectual Disabilities	104
6.4.1	Cita completa	104
6.4.2	Resumen original de la publicación	104
6.4.3	Referencias de citas bibliográficas de la publicación.....	104
6.5	Using game learning analytics for validating the design of a learning game for adults with intellectual disabilities.....	110
6.5.1	Cita completa	110
6.5.2	Resumen original de la publicación	110

6.5.3	Referencias de citas bibliográficas de la publicación.....	110
6.6	Game Analytics Evidence-Based Evaluation of a Learning Game for Intellectual Disabled Users	126
6.6.1	Cita completa	126
6.6.2	Resumen original de la publicación	126
6.6.3	Referencias de citas bibliográficas de la publicación.....	126
	Referencias bibliográficas.....	138

Índice de imágenes

Ilustración 1: Modelo de clasificación G/P/S (Gameplay, Purpose, Scope) propuesto por Djaouti	16
Ilustración 2: Distribución del mercado de Serious Games desarrollados a partir de 2002	17
Ilustración 3: Imagen del videojuego educativo Oregon Trail en su versión gráfica (1978)	20
Ilustración 4: Imagen fotorrealista del videojuego educativo Flight Simulator X de Microsoft	20
Ilustración 5: Primera página del libro de J. Langdon H. Down	24
Ilustración 6: Enlaces en la web de Game Accessibility Guidelines a las buenas prácticas de desarrollo divididas por tipo de discapacidad	32
Ilustración 7: Resumen del discurso del narrador en una pantalla de carga en Final Fantasy XIII	33
Ilustración 8: Ejemplo de una de las recomendaciones de la WCAG 2.1 para cumplir el primer principio (perceptible). Esta recomendación sugiere proveer alternativas de texto para el contenido visual. Además, también incluye el nivel de la escala a la que pertenece (A), así como una serie de casos en los que no es necesario cumplir el principio. Se puede obtener más información en: https://www.w3.org/TR/WCAG21/#perceivable	34
Ilustración 9: Ejemplo de pautas de redacción de la guía de lectura fácil	38
Ilustración 10: Imagen de CITI, en su versión para dispositivo móvil	39
Ilustración 11: Imagen de la aventura gráfica 'Lucas y el caso del cuadro robado', diseñado para jóvenes con Síndrome de Down (izquierda). Jugadores de DOWN MADRID probando el videojuego (derecha)	40
Ilustración 12: Imágenes de la interfaz de JECRIPE	41
Ilustración 13: Niños interactuando con la pantalla de ECHOES	42
Ilustración 14: Jestimule tiene como objetivo enseñar emociones a individuos con TEA	43
Ilustración 15: Modelo de aplicación de LA desarrollado por Chatti	45
Ilustración 16: Modelo de Learning Analytics descrito por Pérez-Colado	47
Ilustración 17: Imagen de un vestíbulo de la línea 3 en el videojuego Downtown (izquierda) e imagen real (derecha)	54
Ilustración 18: Opciones de textos y velocidad de juego en el menú de accesibilidad	56
Ilustración 19: Menú de selección de modo de juego y nivel de dificultad	57
Ilustración 20: Ejemplo de una traza recopilada por Downtown en la que se recoge información sobre el grado de avance (interacción) de un minijuego de búsqueda (objeto) llamado 'Mission_1_Ex_ElMaletinMarron'	59
Ilustración 21: Menú de selección de avatar	60

Ilustración 22: El usuario puede consultar el teléfono móvil y el mapa de Metro en cualquier momento durante el desarrollo de una misión.	62
Ilustración 23: Formulario de caracterización del usuario	63
Ilustración 24: Etapas del modelo GLAID (Game Learning Analytics for Intellectual Disabilities)	66
Ilustración 25: Proceso de validación de diseño del videojuego Downtown	67
Ilustración 26: Alumnos de Down Madrid realizando el entrenamiento en el Metro de Madrid.....	72

Resumen

En los últimos años, los Serious Games (juegos serios), también conocidos por otros muchos nombres como *Learning Games* o *Educational Games* (juegos educativos), se han convertido en herramientas de aprendizaje ampliamente utilizadas, de modo que hay muchos proyectos de desarrollo y de aplicación relacionados con este tipo de juegos. Sin embargo, se necesita más investigación sobre cómo crear diseños efectivos que optimicen el proceso de desarrollo y garanticen la adecuación de estos juegos a las habilidades cognitivas de los usuarios.

Este problema es especialmente relevante cuando se quiere desarrollar un juego educativo para personas con discapacidad intelectual. Dado que este tipo de usuarios cuentan típicamente con problemas de comunicación, la utilización de métodos observacionales es muy complejo, costoso e incluso poco fiable para evaluar y validar el diseño de los juegos.

La principal aportación de esta tesis es la propuesta de un proceso de validación del diseño de videojuegos educativos creados para personas con discapacidad intelectual usando un ciclo que abarca las fases de diseño, desarrollo, pruebas, captura de datos y su posterior análisis. Este método se ha probado en un caso concreto con un videojuego complejo, pero consideramos que es generalizable y aplicable a otros desarrollos dirigidos a este tipo de usuarios. Las principales ventajas del proceso son:

1. Desde el punto de vista del educador, asegurar la adecuación del juego y sus mecánicas a las características cognitivas y a las habilidades de los usuarios con discapacidad intelectual
2. Desde el punto de vista del desarrollador, asegurar la jugabilidad y la accesibilidad, así como optimizar el tiempo y reducir el coste de desarrollo de este tipo de videojuegos

Para la consecución del objetivo de esta tesis se ha realizado la reingeniería de un videojuego denominado *Downtown, Aventura en el Metro* que sirve como prueba de concepto, en la que se ha integrado un sistema de Game Learning Analytics que captura y analiza los datos de juego de los usuarios. Para la validación del videojuego, se ha realizado un amplio experimento en un entorno real en el que se ha probado con cincuenta y un alumnos de la Fundación Síndrome de Down de Madrid (Down Madrid) durante tres sesiones de prueba. El análisis sistemático completo de los datos recogidos permite estudiar cómo juegan los usuarios, su comportamiento dentro del juego y cómo aprenden con él.

Este ciclo completo se describe en los capítulos de este proyecto de tesis y ha sido la base para proponer un proceso generalizable de validación de diseño de videojuegos educativos que consideramos aplicable al desarrollo de otros juegos serios para usuarios con discapacidad intelectual.

Palabras Clave: Game Learning Analytics, juegos serios, videojuegos educativos, discapacidad intelectual, diseño videojuegos, validación de juegos serios

Abstract

Recently, Serious Games also known as many other terms like Learning Games or Educational Games, became popular learning tools so there are many research and application projects based on this type of games. Nevertheless, more research about how to create effective designs that optimize the development process and grant the adequacy of the game mechanics to the users' cognitive abilities is needed.

This problem is particularly severe when developing an educational game for people with cognitive disabilities. As this type of users typically struggle with communication problems, the application of observational methods is complex, expensive and even not fully reliable when evaluating and validating the game design of the educational videogames.

The main contribution of this thesis is the proposal of a design validation process for learning games specifically designed for intellectual disabled users that encompass the phases of design, development, testing, data gathering, and its later analysis. The method proposed has been tested using a complex game, but we consider that it can be applied to other game developments created for this type of users. The application of the process has two benefits:

1. From an educator perspective, to assure the adequacy of the game and its mechanics to the disabled users' cognitive features and abilities
2. From a developer perspective, to assure the playability and accessibility, optimize the time and reduce the development cost of this type of games

To accomplish the main objective of this PhD thesis we did the reengineering of a learning game called *Downtown, A Subway Adventure* that works as a proof of concept, where a Game Learning Analytics system was embedded. This system gathers and analyzes the users' game data. To validate the game, we performed an experiment in a real environment where the game was tested by fifty-one students from Fundación Síndrome de Down de Madrid (Down Madrid) in three different one-hour game sessions. In these sessions the system captured all the analytical data that allowed a complete systematic analysis of how these players play, how they behave inside the game and how they learn with it.

This complete cycle is described in the chapters of this thesis project and serves as a basis to propose a design-validation process that can be applied to other serious games' developments created for intellectual disabled users.

Keywords: Game Learning Analytics, serious games, learning games, intellectual disability, game design, serious game validation

Glosario de Términos

Aprendizaje basado en juegos o Game-Based Learning: es un método utilizado en entornos educativos, como colegios, centros de estudios o universidades, que incluye el uso de juegos serios en el proceso formativo de los alumnos (Prensky, 2007).

Comportamiento adaptativo: es la colección de habilidades conceptuales, sociales y prácticas que las personas aprenden durante su infancia y aplican en su vida cotidiana. Algunos de los conceptos asociados al comportamiento adaptativo son: el lenguaje y la alfabetización, el concepto del dinero, tiempo, números, habilidades interpersonales, responsabilidad social, autoestima, capacidad de seguir reglas, cuidado personal y un amplio espectro de asociaciones mentales que aseguran la suficiente integración de los individuos en la sociedad en la que viven (Shalock & et al., 2010).

Dinámica: Es el fenómeno por el cual los mecanismos de juego interactúan entre sí durante el juego (Hunicke, 2004), o lo que es lo mismo, el comportamiento de las mecánicas en tiempo de ejecución. Viene determinada por la manera de jugar de cada jugador.

Diseño de videojuegos: El diseño es el primer paso del proceso de desarrollo de un videojuego. En esta fase es necesario detallar, desde un punto de vista teórico, todos los elementos que van a componer el juego, como la historia, los escenarios, personajes, objetivos del juego, mecánicas de juego, etc (Rogers, 2014). Como resultado de esta etapa se obtendrán el *Documento de Diseño* o *GDD* y la *Biblia* del juego, que van a servir de referencia para todas las partes implicadas en el desarrollo (programadores, artistas, animadores).

Discapacidad: Según la Real Academia Española de la lengua, son personas con discapacidad aquellas que presentan deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales, previsiblemente permanentes que, al interactuar con diversas barreras, puedan impedir su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con los demás.

Discapacidad intelectual: La AAIDD (American Association on Intellectual and Developmental Disabilities (Shalock & et al., 2010) define discapacidad intelectual como cualquier discapacidad caracterizada por una limitación significativa del funcionamiento intelectual y/o del comportamiento adaptativo, que cubre una gran variedad de habilidades sociales y funciones cognitivas necesarias para realizar tareas de forma autónoma. La forma más extendida de medir el grado de discapacidad intelectual es a través de una prueba de cociente intelectual, también denominado *IQ* o *Intelligence Quotient* (American Psychiatric Association, 2013).

Documento de Diseño o Game Design Document: Es el documento que se genera una vez concluye la etapa de diseño. Es un documento “vivo” que va cambiando según se van probando versiones parciales del videojuego (Rogers, 2014). En el documento de diseño se describen todos los elementos necesarios para que todos los agentes involucrados en el proceso de desarrollo estén alineados. Es un documento no formal, es decir, cada diseñador incluye las ideas que considera oportunas. Entre los apartados comúnmente incluidos se encuentran: historia, personajes, escenarios/niveles, jugabilidad, mecánicas, arte, sonido y música, interfaz de usuario, controles, accesibilidad, motor gráfico, cámaras, iluminación, etc.

Estética: Es la capa externa del videojuego, la experiencia interactiva (Hunicke, 2004). No se refiere al aspecto visual del videojuego sino a las sensaciones y emociones que evoca en el jugador. Hunicke define 8 estéticas que pueden ser producidas por un videojuego: sensación, fantasía, narrativa, desafío, compañerismo, descubrimiento, expresión y sumisión. Cada videojuego puede enfocarse en transmitir una o varias de las estéticas anteriores.

Game Learning Analytics o GLA: es el término utilizado para definir la captura de datos en juegos serios, con el propósito de mejorar el proceso de aprendizaje y utilizando las técnicas y tecnologías aplicadas en Game Analytics (Freire, 2015).

Juego Serio o Serious Game: Son videojuegos cuyo propósito va más allá del mero entretenimiento (Abt, 1970). Zyda actualizó el término en 2005 redefiniéndolo como una prueba mental, de acuerdo con unas reglas específicas, que usa la diversión como modo de formación gubernamental o corporativo, con objetivos en el ámbito de la educación, sanidad, política pública y comunicación estratégica (Zyda, 2005).

Jugabilidad o Gameplay: es el conjunto de reglas que definen los objetivos de un videojuego y que ofrecen medios y limitaciones para conseguirlos (Salen & Zimmerman, 2003). Definir la jugabilidad es la tarea principal del proceso de diseño, ya que va a determinar cómo van a interactuar el usuario y el sistema. Por este motivo, es la parte del desarrollo que necesita más refinamiento.

Learning Analytics o LA: Existen múltiples definiciones de Learning Analytics. Baker & Inventado describen LA cómo la explotación de datos relativos a la educación y las ciencias del aprendizaje (Baker & Inventado, 2014). Elias define el término como la recolección de datos en LMS (Learning Management Systems) y/o CMS (Content Management Systems), y tiene como finalidad la mejora de la enseñanza y el aprendizaje (Elias, 2011). La definición más completa la encontramos en (Long & Siemens, 2011) que describe Learning Analytics como “la medición,

recopilación, análisis y visualización de datos sobre los alumnos y su contexto, con el propósito de entender y optimizar el proceso de aprendizaje y los entornos en los que se produce”.

Mecánica: Es el conjunto de reglas y acciones básicas que puede realizar el jugador y las reacciones resultantes en el juego (Hunicke, 2004). Normalmente se estudia a nivel de estructura de datos y algoritmos básicos que lanza el motor de juego. Las mecánicas están definidas por el diseñador del videojuego y están limitadas por la capacidad técnica del desarrollo y el motor del videojuego.

Videojuego AAA: Son los videojuegos producidos y distribuidos por las grandes distribuidoras, con presupuestos de desarrollo y marketing muy elevados.

Videojuego Educativo o Learning/Educational Game: los videojuegos educativos son aquellos específicamente diseñados para entrenamiento o educación, y cuentan con objetivos educativos concretos (Kato, 2010). Muchas veces, se utiliza el término juego serio o videojuego educativo indistintamente para definir un videojuego destinado a formación, como es el caso de este trabajo de tesis. Entre los beneficios con los que cuentan los videojuegos educativos se encuentran: su componente lúdica que favorece la adquisición de conocimientos de forma activa, la motivación y/o la realimentación inmediata.

Estructura de la tesis

Esta tesis doctoral utiliza el formato de recopilación de publicaciones previamente publicadas que se incluyen en el capítulo 6. Los capítulos previos proporcionan los antecedentes y el estado de la cuestión en juegos educativos que permiten hilar y poner en contexto las contribuciones de cada uno de los artículos incluidos.

La tesis tiene la siguiente estructura:

- Capítulo 1. Introducción y motivación
- Capítulo 2. Estado del arte
- Capítulo 3. Objetivos y planteamiento del trabajo
- Capítulo 4. Discusión y contribuciones
- Capítulo 5. Conclusiones y trabajo futuro
- Capítulo 6. Artículos presentados

Por último, se incluyen las referencias bibliográficas completas.

Capítulo 1: Introducción y Motivación

En este primer capítulo se presenta un resumen de la situación actual de la discapacidad intelectual en España, lo que sirve para contextualizar el trabajo de tesis. También se explica la motivación subyacente para realizar el proyecto *Downtown, Aventura en el Metro*, un videojuego desarrollado para fomentar la movilidad en transporte de las personas con discapacidad y que es la base para elaborar el proceso de validación que describimos en los capítulos posteriores.

1.1 La discapacidad intelectual en España - Fundación Síndrome de Down de Madrid

Se calcula que aproximadamente el 1% de la población española cuenta con algún tipo de discapacidad intelectual o de desarrollo. Según el Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre³, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social, en su Artículo 4, se establece que:

- 1 Son personas con discapacidad aquellas que presentan deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales, previsiblemente permanentes que, al interactuar con diversas barreras, puedan impedir su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con los demás.
- 2 Además de lo establecido en el apartado anterior, y a todos los efectos, tendrán la consideración de personas con discapacidad aquellas a quienes se les haya reconocido un grado de discapacidad igual o superior al 33 por ciento.

Según los datos recogidos por el IMSERSO en las distintas Comunidades Autónomas, a finales de 2016 España contaba con un total de 277.472 personas con algún tipo de discapacidad intelectual reconocida, lo que representa un 16% del total de personas con discapacidad⁴.

Estos datos recogidos por las administraciones públicas no son del todo precisos, ya que sólo contabilizan a aquellas personas que disponen de un certificado de discapacidad reconocido oficialmente y no consideran otros posibles trastornos relacionados con el desarrollo.

³ <https://www.boe.es/boe/dias/2013/12/03/pdfs/BOE-A-2013-12632.pdf>

⁴ http://imserso.es/InterPresent2/groups/imserso/documents/binario/bdepcd_2016.pdf

Las asociaciones de discapacidad intelectual que operan actualmente en España insisten en que existen muchos más casos que los registrados oficialmente y trabajan activamente para ofrecer servicios y programas que fomenten la integración de sus usuarios. Además, tienen como objetivo el sensibilizar a la sociedad sobre las barreras con las que cuentan las personas con este tipo de discapacidad.

Para la realización de este trabajo de tesis, se ha colaborado muy estrechamente con la Fundación Síndrome de Down de Madrid (Down Madrid), una entidad sin ánimo de lucro fundada en 1989, declarada de Utilidad Pública, cuya misión consiste en promover, desarrollar y potenciar todo tipo de actividades encaminadas a lograr la plena integración familiar, escolar y social de las personas con Síndrome de Down y otras discapacidades intelectuales. Su principal objetivo es mejorar su calidad de vida, contando siempre con su participación activa y la de sus familias. Actualmente, más de 1.500 personas con Síndrome de Down u otra discapacidad intelectual reciben apoyo y/o formación desde Down Madrid, ofreciendo más de 2.800 plazas en diferentes programas y servicios, que no sólo van dirigidos a los usuarios, sino también a su entorno cercano (e.g. familia).

Nuestro proyecto fue coordinado en Down Madrid con el Servicio de Tecnologías de la Información y la Comunicación, o Servicio TIC, que tiene como objetivo acercar las tecnologías de la información y la comunicación a este colectivo en riesgo de *infoexclusión*. El servicio se creó en 1999 y desde entonces Down Madrid sigue impulsando la integración de las TIC en la vida de las personas con discapacidad intelectual con diversos programas y actividades. La idea es mejorar su capacidad de ser independientes en tareas de la vida diaria.

Uno de los programas más relevantes por su impacto en la vida diaria es el entrenamiento en transporte, que tiene como objetivo el potenciar los procesos cognitivos implicados en el aprendizaje de la orientación en el transporte público de la ciudad de Madrid y su uso de manera autónoma. Tras una evaluación previa de las necesidades de cada participante, se realiza una planificación individual de actividades, aprendizaje de recorridos, capacidad de toma de decisiones y solución de imprevistos. Este servicio está dirigido a personas con Síndrome de Down u otras discapacidades intelectuales, que cuenten con más de 18 años y sean suficientemente autónomos para moverse de forma independiente.

1.2 Motivación de la investigación

La principal motivación para realizar este proyecto de tesis surgió a raíz de una conversación casual con la directora del servicio TIC de Down Madrid. En aquella época, la doctoranda

pertenecía al CEIEC, Centro de Estudios e Innovación en Gestión del Conocimiento de la Universidad Francisco de Vitoria, cuya principal línea de investigación era el desarrollo de juegos serios (en inglés, *Serious Games*) en el ámbito educativo y de sensibilización social. Sus principales aportaciones hasta el momento fueron: *Iredia: el secreto de Atram*⁵, que tiene como objetivo la sensibilización a niños normoyentes sobre el mundo de la sordera, y *El códex del peregrino*⁶, que introduce a los jóvenes el arte, la música y la cultura del Camino de Santiago.

Tras hablar con Down Madrid, propusimos el desarrollo de un videojuego que permitiera a los jóvenes con discapacidad intelectual aprender a desenvolverse con autonomía y seguridad en la red del metro de Madrid, como parte del programa de entrenamiento en transporte que se lleva a cabo en la Fundación.

Hasta entonces, el proceso de aprendizaje se realizaba únicamente de forma tutorizada por el personal de la Fundación, que acompañaba a los jóvenes y los instruía in situ respecto a cómo comportarse y moverse por el metro. Sin embargo, el problema surge cuando se dan cuenta de que es muy complejo cubrir adecuadamente todas las situaciones potencialmente conflictivas a las que los usuarios se pueden enfrentar cuando viajan de forma autónoma, sin el entrenador.

El videojuego debía ser una herramienta de aprendizaje para utilizar en el aula, que complementara la formación tradicional y pusiera al usuario en todas aquellas situaciones que no tenían porqué ocurrir al viajar en el metro acompañado, enseñándole estrategias para resolverlas sin incidentes. Esto permitiría aumentar tanto el número de situaciones consideradas como la sistematización sobre cómo se propone a los usuarios la forma de abordarlas.

El primer paso en la investigación fue reunirnos con los entrenadores y psicólogos responsables del programa, que identificaron los problemas y situaciones relevantes que debían aparecer en el videojuego:

- Me he pasado de parada
- He cogido la línea en sentido contrario
- No llego al botón para abrir las puertas
- Me bajo en una parada y no sé dónde estoy
- No funciona el abono de transportes
- Pierdo el abono de transporte y no tengo dinero para comprar otro billete

⁵ <http://www.iredia.es/iredia.html>

⁶ <http://www.elcodexdelperegrino.es/es/index.php>

- Me equivoco de línea al hacer un transbordo
- No hay cobertura en el móvil
- Un desconocido viene a hablarme
- Necesito ayuda y no sé a quién acudir
- He perdido mi mapa del metro

Una vez claro el propósito del juego co-diseñamos, en un trabajo conjunto entre psicólogos y expertos de Down Madrid y expertos en juegos e interacción del CEIEC, el videojuego *Downtown, Aventura en el Metro*⁷. Este videojuego es una aventura gráfica en 3D que pone al jugador en una trama de policías y ladrones en la que tiene que recorrer la red de metro de Madrid cumpliendo diferentes misiones y enfrentándose a situaciones conflictivas reales (especificadas por los entrenadores) e imaginarias (derivadas de la trama del juego). La doctoranda fue la responsable de diseñar el videojuego y de la realización del documento de diseño, que es la principal referencia para guiar y dirigir la implementación final del juego para los desarrolladores y los grafistas.

Desde el primer momento se aplicó un procedimiento de evaluación formativa temprana con expertos y usuarios finales. No obstante, la principal barrera que nos encontramos fue la limitación en la capacidad verbal de los jugadores, una característica común en los individuos con trastornos cognitivos. Cada vez que hacíamos pruebas no obteníamos el feedback esperado: mientras los usuarios jugaban, observábamos dificultades en el manejo de ciertas mecánicas y, sin embargo, no nos transmitían que fueran complejas para ellos. Además, la mayoría de los jugadores no eran capaces de contestar las encuestas de manera autónoma, sin la ayuda del monitor, por lo que obteníamos respuestas sesgadas.

Al darnos cuenta de la complejidad que supuso el proceso de diseño y desarrollo del juego, decidimos tratar de abordar la sistematización del proceso lo que finalmente dio origen a esta tesis doctoral. Para ello, no sólo debíamos crear un juego para personas con discapacidad intelectual, sino que también tendríamos que probar que el videojuego era efectivo y que podría ser utilizado en el aula como una herramienta de aprendizaje. Este proceso debía ser sistemático y reutilizable de modo que pueda aplicarse en un amplio rango de juegos educativos cuyos usuarios potenciales fueran personas con discapacidad intelectual.

La sistematización del trabajo requería experiencia previa en analíticas de juego aplicadas a juegos serios (en particular, en el campo médico y/o educativo) y para cubrirla planteamos la colaboración

⁷ <http://downtown.ceiec.es/>

del grupo e-UCM de la Universidad Complutense del Madrid, cuya línea de investigación encajaba con el proyecto de *Downtown*. Cuando la doctoranda entró a formar parte del grupo e-UCM, comenzamos a incorporar al juego técnicas de Game Learning Analytics, que nos permitieron testar la usabilidad de las mecánicas del juego, además de aplicar técnicas más sistemáticas de validación de juegos que permitieron una mejor fundamentación científica de la investigación.

Tras más de cuatro años de trabajo técnico y de investigación conjunta, hemos diseñado y desarrollado un videojuego completo (que incluye además 5 minijuegos), incorporado técnicas de Game Learning Analytics, recopilado más de ciento sesenta mil trazas de datos de usuario y publicado los resultados en artículos científicos relevantes en el área. Estas contribuciones resumen nuestra experiencia sobre la validación de Serious Games como herramientas de aprendizaje para personas con discapacidad intelectual.

1.3 Objetivos de la línea de investigación

Esta tesis y la línea de investigación en la que se enmarca tiene como objetivo principal la propuesta de un proceso de aplicación de analíticas de aprendizaje (Learning Analytics) para sistematizar el diseño y la validación de videojuegos educativos dirigidos a personas con discapacidad intelectual. El principal beneficio de crear un modelo que sea aplicable a cualquier desarrollo de videojuegos educativos es validar la adecuación del diseño general y de las mecánicas de juego a las características cognitivas de los usuarios, disminuyendo el número de iteraciones de pruebas con los usuarios y mejorando la realimentación de la información obtenida. Este proceso requiere la inclusión de las analíticas, pero mejora la producción del juego, incrementa su utilidad a la vez que mejora la evaluación formativa y permite simplificar la evaluación con usuarios y, por tanto, el tiempo de desarrollo.

El objetivo principal de la tesis se puede dividir en cuatro sub-objetivos, desarrollados en el capítulo 3:

1. Desarrollar un videojuego que sirva como una herramienta de aprendizaje efectiva para entrenar a personas con discapacidad intelectual en el uso independiente de la red de Metro de Madrid
2. Integrar técnicas de analíticas de aprendizaje con juegos (Game Learning Analytics) para obtener realimentación sobre la experiencia de aprendizaje de los usuarios y evaluar los conocimientos adquiridos por cada jugador

3. Validar las decisiones de diseño (mecánicas, dinámicas y estéticas), incluidas en *Downtown* a través del uso de GLA, asegurando la adecuación de las tareas del juego a las capacidades cognitivas de los usuarios desde fases tempranas del desarrollo
4. Proponer un proceso de validación que permita replicar el modelo de desarrollo de *Downtown* en otros videojuegos educativos cuyo público objetivo sean usuarios con discapacidad intelectual y/o presenten deficiencias en el proceso de comunicación.

Capítulo 2: Estado del arte

En este capítulo proporcionaremos el contexto general de la tesis doctoral, analizando el estado del arte sobre juegos serios en general, y abordaremos aspectos de la discapacidad intelectual y como afectan a estos juegos en particular. En primer lugar, explicaremos qué son los juegos serios, los videojuegos educativos, sus orígenes, taxonomía y su aplicación en el ámbito educativo (sección 2.1).

A continuación, describiremos brevemente qué es la discapacidad intelectual, los tipos de discapacidades intelectuales que existen y sus peculiaridades. El objetivo no es otro que proporcionar el contexto sobre su impacto en el manejo de la tecnología y los videojuegos y, por último, como afectan en su proceso de aprendizaje. Esta discusión es relevante porque pone en antecedentes al lector sobre la utilidad de los juegos como herramientas educativas para este tipo de usuarios (sección 2.2).

La parte central de este capítulo es la sección 2.3, en la que se detalla el estado del arte de los videojuegos desarrollados para personas con discapacidad intelectual. En esta sección se realiza un análisis general sobre su utilidad (siempre desde el punto de vista de la investigación) y los resultados obtenidos sobre el proceso de aprendizaje de los usuarios.

En el siguiente apartado (sección 2.4) se describe el concepto de analíticas de aprendizaje o en inglés Learning Analytics y su aplicación en videojuegos serios, Game Learning Analytics. También se detalla su importancia y utilidad, ya que es la clave para evaluar de una forma más científica y basada en datos de la adecuación del diseño de los videojuegos a las capacidades cognitivas de los usuarios. Se presentan también dos modelos de análisis que pueden ser aplicables a videojuegos para usuarios con discapacidad intelectual.

Por último, cabe destacar que con este estado del arte no pretendemos realizar un estudio exhaustivo de todos los videojuegos educativos para personas con discapacidad intelectual que existen, sino que hemos seleccionado las propuestas disponibles en la literatura que consideramos más relevantes para nuestro trabajo. Otras revisiones de este tipo de juegos con distintos criterios y puntos de vista se pueden encontrar en (Girard, Ecalle, & Magnan, 2013) (Tsikinas, Xinogalos, & Satratzemi, 2014) (Connolly, Boyle, MacArthur, Hailey, & Boyle, 2012).

2.1 Los videojuegos como herramienta educativa

El primer paso para contextualizar este trabajo de tesis es repasar los conceptos básicos que se irán introduciendo a lo largo de las secciones, como la definición de los términos: *Serious Games*, *videojuego educativo* o *Game-Based Learning*.

2.1.1 Definición y clasificación de los Serious Games y Videojuegos Educativos

El término *Serious Game* o *Juego Serio* nace en los años setenta, como una forma de referirse a aquellos juegos ‘cuyo propósito va más allá del mero entretenimiento’ (Abt, 1970). En este trabajo la acepción de juegos serios engloba aquellos videojuegos de carácter digital, a pesar de que el término tiene un origen histórico más general que también incluye juegos tradicionales no digitales, e incluso los basados en la teoría de juegos (Wilkinson, 2016).

Según el último informe *Global Entertainment & Media Outlook 2018-2022* (PwC, 2018), que analiza y predice la evolución de los sectores más importantes en el mundo del entretenimiento, el mercado de los videojuegos es el segundo que presentará mayor crecimiento en los próximos cinco años solo por detrás del mercado de las comunicaciones (27,8% CAGR⁸). Esto es debido principalmente a la distribución digital de los juegos, al auge de las microtransacciones y la moneda digital y a la proliferación de los dispositivos móviles. De los 106 millardos (billones americanos) de dólares que generó la industria en 2017, únicamente el 3,01% fueron ingresos

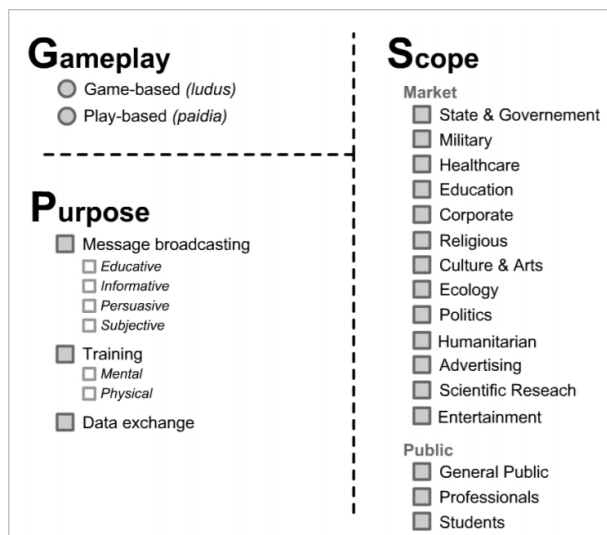


Ilustración 1: Modelo de clasificación G/P/S (Gameplay, Purpose, Scope) propuesto por Djaouti (Djaouti, Álvarez, & Jessel, 2011)

⁸ El CAGR es el acrónimo para la tasa anual compuesta de crecimiento, que mide la evolución anual de un mercado o producto concreto

generados por juegos serios (3,2 billardos de dólares)⁹, lo que sugiere que, a pesar de su utilidad y aplicación en múltiples sectores, el desarrollo de juegos serios está todavía lejos de los desarrollos y negocios multimillonarios de los videojuegos AAA¹⁰.

Existen multitud de clasificaciones ‘formales’ de juegos serios, sin embargo, no hay una única clasificación aceptada de forma unánime por el sector.

Una de las más populares es la clasificación según el ámbito de aplicación del videojuego, es decir, por sectores o mercados, pero también se utilizan otras basadas en el propósito del juego, el público objetivo o el *gameplay*¹¹ (Sawyer & Smith, 2008) (Djaouti, Álvarez, & Jessel, 2011).

Siguiendo la clasificación por ámbito de aplicación que propone Djaouti, y que es la más común (ver Ilustración 1), podemos observar que los mercados con mayor aplicación son, por un lado, la educación y por otro la publicidad. Entre ambos, suman más del 50% de los desarrollos, siendo el

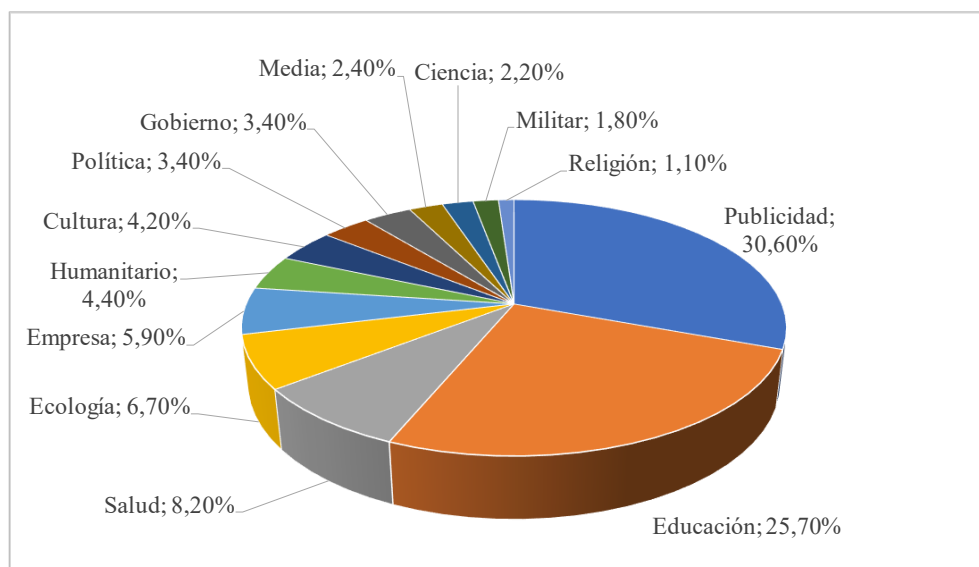


Ilustración 2: Distribución del mercado de Serious Games desarrollados a partir de 2002

⁹ Datos obtenidos del informe presentado en la Serious Play Conference en Buffalo, NY: http://seriousplayconf.com/wp-content/uploads/2017/07/Metaari_2017-2022_Global_Game-based_Learning_Market_Executive_Overview.pdf

¹⁰ El término Triple A se utiliza en la industria del videojuego para referirse a aquellos desarrollos producidos por grandes estudios y/o distribuidores y con elevados presupuestos de desarrollo y marketing.

¹¹ Entendemos Gameplay por ‘el conjunto de reglas que definen los objetivos de un videojuego y que ofrecen medios y limitaciones para conseguirlos’ (Salen & Zimmerman, 2003)

resto de sectores prácticamente marginales¹² (aunque el campo de salud está creciendo rápidamente) (ver Ilustración 2).

En la literatura podemos encontrar el término *Videojuego Educativo* o *Educational Game* básicamente como sinónimos para referirse a los juegos serios. Algunos autores no hacen distinción entre los juegos serios y los videojuegos educativos, ya que los segundos ‘son juegos específicamente diseñados para entrenamiento o educación con objetivos educativos concretos’ (Kato, 2010), lo que sugiere que dicho objetivo es independiente de la industria en la que se utilice el juego. Otros, sin embargo, consideran los videojuegos educativos aquellos juegos serios aplicados exclusivamente en el campo de la educación. Sin embargo, la línea que separa los dos términos es muy difusa. Hoy en día la mayoría de la literatura disponible los denomina indistintamente debido principalmente a que en muchos casos tienen carácter formativo (Michael & Chen, 2005). No obstante, hay otros autores que consideran que los juegos serios también incluyen otra variedad de usos y propósitos como, por ejemplo, los simuladores, los de crítica política o los publicitarios (e.g., advergames)

En las secciones siguientes, nos centraremos en los juegos serios cuyo propósito o finalidad es el aprendizaje del jugador, y en concreto, en el ámbito educativo. En este trabajo de tesis nos referiremos a los videojuegos presentados como juegos serios o videojuegos educativos indistintamente, ya que su principal propósito es el aprendizaje de conceptos y habilidades a través del juego.

2.1.2 Game-Based Learning: el aprendizaje basado en juegos y sus características

Game-Based Learning o *aprendizaje basado en juegos* es un método utilizado en entornos educativos, como colegios, centros de estudios o universidades, que incluye el uso de juegos serios en el proceso formativo de los alumnos (Prensky, 2007).

En los últimos años, la incursión de los videojuegos educativos en las aulas es cada vez mayor. Según la información publicada por la *Serious Game Society*¹³, el número de videojuegos lanzados cada año aumenta de manera regular desde 2002. Entre 2002 y 2010 (8 años) se lanzaron al mercado 1.265 videojuegos educativos, comparados con los 926 que se lanzaron entre 1980 y 2001

¹² La información sobre la distribución de mercados de aplicación está disponible en <http://serious.gameclassification.com/>, una base de datos que analiza más de 3.327 Serious Games publicados.

¹³ La Serious Game Society publica información sobre el mercado de los Serious Games en su página web: <https://seriousgamessociety.org/>

(21 años). Este hecho sugiere que, poco a poco, la educación basada en juegos va siendo considerada como una alternativa real a las propuestas educativas tradicionales.

Así, mientras que en el informe NMC Horizon Report (NMC/ CoSN Horizon Report 2014 K-12 Edition, 2014) de 2014 se incluía la adopción a corto plazo de videojuegos educativos como una de las estrategias educativas con mayor potencial, en la edición del informe de 2017 se incluyen más de 20 ejemplos de cómo se han ido adoptando estrategias de Game-Based Learning o GBL en la educación primaria alrededor del mundo. Desde plataformas para llevar la educación a niños en campos de refugiados hasta proyectos del gobierno de Reino Unido que incluyen el uso de ciertos videojuegos como parte del currículum escolar reglado (Freeman, Adams Becker, Cummins, Davis, & Hall Giesinger, 2017).

Según varios autores, los juegos educativos tienen la peculiaridad de poner al alumno como centro del proceso de aprendizaje con un rol activo, a la vez que ofrecen un entorno divertido, interesante y estimulante. Estas características, en comparación con otros métodos de enseñanza como las clases magistrales, hacen que la adquisición de conocimientos sea más efectiva y motivadora (Prensky, 2007) (Kafai, 2001). Para que un videojuego sea considerado educativo no basta simplemente con incorporar el contenido de una asignatura o un curso a un videojuego cualquiera, sino que el diseño original y el *gameplay* tienen que estar pensados específicamente para conseguir los objetivos de aprendizaje que se quieran obtener. Existen tres elementos que tendrían que formar parte del diseño de un videojuego para poder definirlo como educativo:

1. Logros: Cada tarea o actividad propuesta por el juego tiene que tener un objetivo académico concreto que promueva la comprensión de una nueva habilidad y desafíe al estudiante.
2. Motivación: El juego tiene que tener una componente lúdica e interesante que motive al estudiante a seguir jugando y aprendiendo con el juego
3. Evaluación: El juego debería proporcionar herramientas de evaluación a los profesores/entrenadores sobre las interacciones del alumno con el juego

El primer videojuego educativo de distribución amplia del que se tiene constancia fue el Oregon Trail (MECC, 1971), un videojuego creado por tres profesores de historia americana que se controlaba mediante comandos de texto y que posteriormente fue adaptado gráficamente.



Ilustración 3: Imagen del videojuego educativo Oregon Trail en su versión gráfica (1978)

Oregon Trail (ver Ilustración 3) se utilizó en las aulas americanas durante más de tres décadas, demostrando así que los videojuegos educativos también podían ser rentables para la industria. A raíz de su éxito aparecieron otros ejemplos en distintos campos como Captain Novolin (Sculptured Software, 1992) en medicina, Versailles 1685 (Cryo Interactive, 1996) en el mundo de la cultura



Ilustración 4: Imagen fotorrealista del videojuego educativo Flight Simulator X de Microsoft

o el famoso Flight Simulator (Microsoft, 1982) en aviónica y defensa, con el que aún hoy en día, siguen entrenando los pilotos de las fuerzas aéreas americanas antes de subirse a un avión por primera vez (ver Ilustración 4).

2.1.3 Beneficios de los videojuegos educativos

Existen numerosos ejemplos en la literatura sobre los beneficios de los videojuegos educativos y su impacto, en comparación con otros métodos de enseñanza tradicionales.

Algunos de los hallazgos que más se repiten en la bibliografía analizada son:

- El uso de videojuegos con propósito educativo permite a los usuarios adaptar el proceso de aprendizaje a sus necesidades e intereses y, además, proporciona motivación a los usuarios. Como consecuencia, los videojuegos tienen una componente lúdica que atrae a los jugadores en el proceso de adquirir conocimientos de una forma activa en comparación con los métodos tradicionales de enseñanza, que suelen ser pasivos para los alumnos (Annetta, Minogue, Holmes, & Cheng, 2009).
- Favorecen la activación y el recuerdo de conocimientos previos, dado que los jugadores tienen que utilizar información que han aprendido previamente para poder avanzar en las tareas que plantea el juego (Oblinger, 2004)
- Ofrecen un medio ‘poco amenazante y barato de experimentación’ sobre un tema concreto (Abt, 1970). La sensación que produce en el jugador de ser el dueño de su propio proceso de aprendizaje es un elemento motivador fundamental que hace que el alumno se implique activamente en las tareas que propone el juego (Pavlas, Heyne, Bedwell, Lazzara, & Salas, 2010).
- Potencian la comunicación, al convertirse en entornos sociales de aprendizaje que involucran no solo a un jugador, sino a una comunidad de jugadores (Squire, 2008). Además, en muchos casos, cuentan con herramientas como blogs, foros de discusión, conexiones con redes sociales, etc. que favorecen la interacción social y fomentan la discusión sobre los temas.
- Ofrecen una realimentación inmediata o *feedback* sobre las acciones del jugador, que permite a los estudiantes probar diferentes hipótesis en el juego y aprender de sus acciones (Oblinger, 2004). Ya en los años 70, Abt introdujo de una manera muy breve la importancia de obtener informes sobre el comportamiento de los usuarios con el juego, o lo que llamó ‘análisis posterior al juego’. Con el tiempo, la aparición de técnicas de captura e

interpretación de información como Learning Analytics, ha permitido refinar este proceso y ofrecer más información sobre el aprendizaje del alumno. En el apartado 2.4 de este trabajo de tesis analizaremos en profundidad el origen y aplicación del concepto de Learning Analytics.

- Favorecen la autoevaluación a través de sistemas de puntuación o *gamificación*¹⁴ (como por ejemplo la superación de niveles, rankings, etc.) (Squire, 2008).
- Apoyan el aprendizaje activo, multisensorial y experimental a través de la resolución de problemas (Oblinger, 2004).

A pesar de que el número de publicaciones sobre el aprendizaje basado en juegos es cada vez mayor y que parece haber consenso sobre su potencial, la principal barrera para su adopción en contextos educativos es la falta de estudios con resultados empíricos, basados en datos, que demuestren la efectividad de este método. Algunos autores como De Freitas (De Freitas, 2006) también señalan que el principal reto para los defensores de la educación basada en juegos es, primero que los docentes entiendan cómo utilizar los videojuegos y los vean como una herramienta de trabajo útil y, segundo, que los alumnos tengan acceso a los equipos necesarios para jugar en los propios entornos educativos.

2.2 Discapacidad intelectual y aprendizaje

2.2.1 ¿Qué es la discapacidad intelectual?

La AAIDD, American Association on Intellectual and Developmental Disabilities, describe *Discapacidad Intelectual* como cualquier discapacidad caracterizada por una limitación significativa del funcionamiento intelectual y/o del comportamiento adaptativo, que cubre una gran variedad de habilidades sociales y funciones cognitivas necesarias para realizar tareas cotidianas de forma autónoma (Shalock & et al., 2010).

Cuando hablamos de funcionamiento intelectual, nos estamos refiriendo a la inteligencia general de una persona, y engloba tanto la capacidad mental general como el aprendizaje, el razonamiento o la resolución de problemas.

Una forma de medir el funcionamiento intelectual es a través de una prueba de cociente intelectual, también denominado IQ o *Intelligence Quotient*. (American Psychiatric Association, 2013).

¹⁴ La gamificación, entendida dentro del contexto de Game-Based Learning, es el uso de estrategias y mecánicas de juego que tienen como finalidad el involucrar a los usuarios en la resolución de las tareas que plantea el juego. Para que la gamificación sea efectiva los usuarios tienen que sentirse recompensados cuando consiguen los objetivos del juego.

El comportamiento adaptativo es la colección de habilidades conceptuales, sociales y prácticas que las personas aprenden durante su infancia y aplican en su vida cotidiana. Algunos de los conceptos asociados al comportamiento adaptativo son: el lenguaje y la alfabetización, el concepto del dinero, tiempo, números, habilidades interpersonales, responsabilidad social, autoestima, capacidad de seguir reglas, cuidado personal y un amplio espectro de asociaciones mentales que aseguran la suficiente integración de los individuos en la sociedad en la que viven.

Según la AAIDD, se considera que un individuo tiene discapacidad intelectual si:

- a) Su puntuación en la prueba de IQ es igual o menor a 70-75
- b) Posee limitaciones significativas en dos o más habilidades adaptativas, como las mencionadas anteriormente
- c) Dichos problemas están presentes desde la infancia.

Más de doscientos millones de personas poseen algún tipo de discapacidad intelectual, lo que supone un 2-4% de la población mundial. Según recoge la Organización Mundial de la Salud en su informe mundial sobre discapacidad, el número de personas diagnosticadas con discapacidad intelectual está creciendo. Esto es debido principalmente al envejecimiento de la población, cuyos problemas crónicos de salud están asociados a la discapacidad, como las enfermedades mentales o los problemas cardiovasculares (World Health Organization & The World Bank, 2011).

Según esta definición, existen multitud de problemas mentales que pueden ser consideradas como discapacidades intelectuales dependiendo de sus causas y síntomas, Pero al definir y evaluar dichas condiciones, la AAIDD enfatiza que se deben tener en cuenta factores adicionales, como el entorno cultural del individuo, la diversidad lingüística de su geografía o la evolución de su desarrollo desde la infancia.

2.2.2 Tipos de discapacidades intelectuales

El principal problema para el diagnóstico de las discapacidades intelectuales es su heterogeneidad. Es interesante analizar como en el siglo XIX comienzan a aparecer las primeras clasificaciones de discapacidad intelectual, dependiendo del aspecto físico del individuo y/o su capacidad cognitiva general. Como nota curiosa, en estas primeras clasificaciones se introdujeron las palabras ‘descuidado’, ‘bobo’, ‘imbécil’ o ‘idiota’ como términos clínicos para referirse al grado de

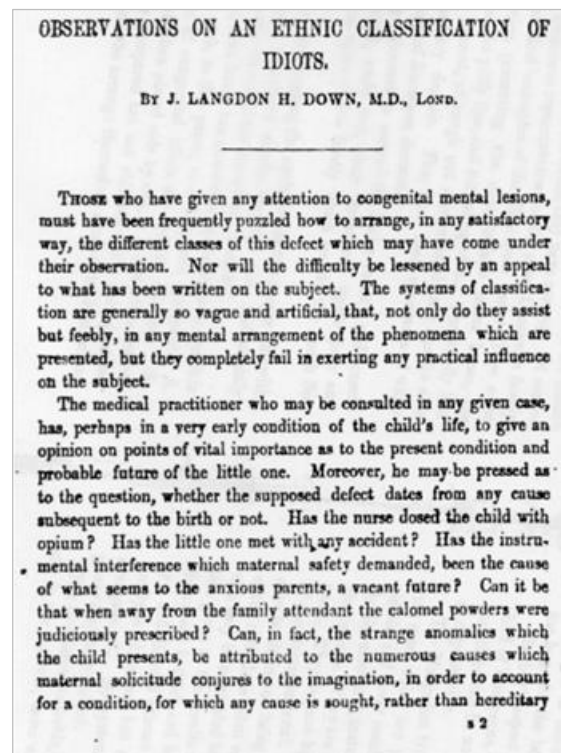


Ilustración 5: Primera página del libro de J. Langdon H. Down sobre discapacidad intelectual

madurez del intelecto del paciente (ver Ilustración 5) (Down, 1866). Posteriormente comenzaron a incluirse otras variables para clasificar este tipo de discapacidad, como la capacidad de lectoescritura y lenguaje, hasta que en los años 60 se estandarizaron los tests de inteligencia general y funcionalidad cognitiva que fueron adoptados universalmente, como el test de IQ (Greenspan & Switzky, 2003).

En la actualidad, no existe una clasificación oficial de las discapacidades cognitivas respaldada y ampliamente aceptada por todos los expertos en el campo. Su evaluación y diagnóstico se realiza de forma individualizada, teniendo en cuenta no sólo las habilidades cognitivas del individuo, sino también los test de inteligencia mencionados anteriormente, sus capacidades funcionales, su necesidad de atención médica/sanitaria o su capacidad de relacionarse socialmente y con el entorno (Field & Sanchez, 1999) (World Health Organization & The World Bank, 2011) (American Psychiatric Association, 2013). Además, tampoco existe un consenso sobre qué enfermedades deberían ser consideradas discapacidades intelectuales. Condiciones como el síndrome X frágil, parálisis cerebral, trastornos del espectro alcohólico fetal, retrasos del desarrollo o incluso demencia senil son aceptadas por algunos autores mientras que otros no las consideran como tales (Harris, 2006).

A pesar de este problema, existen dos tipos de condiciones en las que parece que hay un amplio consenso sobre su pertenencia al mundo de la discapacidad intelectual, debido principalmente a su prevalencia a nivel mundial: Síndrome de Down y TEA o Trastornos del Espectro Autista (Wehmeyer, Brown, Percy, Fung, & Shogren, 2017). Ambas discapacidades tienen distintas causas: mientras que el Síndrome de Down es una alteración genética, el TEA o Trastorno del Espectro Autista (en adelante Autismo) es una alteración del comportamiento adaptativo, definido en el apartado anterior. Ambas discapacidades pueden estar asociadas con mayor o menor grado de capacidad intelectual, por lo que cabe destacar que el espectro de funcionalidad e independencia de cada individuo puede ser muy amplio (Verdugo Alonso & Schalock, 2011).

A continuación, describiremos ambas discapacidades, ya que la gran mayoría de los usuarios de Down Madrid a los que va dirigido el videojuego *Downtown* poseen una o ambas discapacidades y es importante para la comprensión de la tesis entender las limitaciones que caracterizan cada discapacidad. Nótese que el Síndrome de Down puede incluir ciertas características asociadas al autismo, pero no al contrario, dada la condición genética del Síndrome de Down (Warner, Howlin, Salomone, Moss, & Charman, 2017). No obstante, cabe destacar que tanto Down como TEA están descritas de forma muy breve ya que el propósito de este apartado es mostrar las discapacidades con las que trabajamos durante el proyecto de *Downtown, Aventura en el Metro* para entender mejor las barreras y dificultades que influyen en el proceso de aprendizaje con videojuegos.

El Síndrome de Down es un trastorno cromosómico caracterizado por la presencia de un cromosoma extra en el par 21 que aparece en el mapa genético de las personas que lo padecen, y que es el responsable de las alteraciones de tipo morfológico, bioquímico y funcional que se producen en diversos órganos y especialmente en el cerebro (National Down Syndrome Society, 2018). Las anomalías en la estructura y función del cerebro y del sistema nervioso impactan directamente en el aprendizaje, lenguaje y la conducta de las personas con Síndrome de Down.

En cuanto a los problemas fisiológicos derivados de la discapacidad, entre el 60% y el 80% de niños con Síndrome de Down presentan problemas de audición y del 40% al 45% tienen enfermedades coronarias congénitas. Otras anomalías frecuentes son los problemas intestinales y nutricionales y deficiencias en la visión¹⁵. La prevalencia a nivel mundial de esta discapacidad es de 1 por cada 1.000 niños nacidos vivos.

¹⁵ Datos publicados por la Organización Mundial de la Salud en <http://www.who.int/genomics/public/geneticdiseases/en/index1.html>

El TEA o Trastorno del Espectro Autista se define como un síndrome del neurodesarrollo definido por las deficiencias que presenta el individuo en la comunicación y en la reciprocidad social. Se suele caracterizar por la presencia de comportamientos inusuales y repetitivos (American Psychiatric Association, 2013). Normalmente se detecta en la infancia, durante los tres primeros años de vida y suele ser descubierto por una aparente ausencia de emociones en el individuo y por problemas para relacionarse con otras personas (Lord, Cook, & Leventhal, 2000). Según la AAIDD, la prevalencia del trastorno está en torno al 1% a nivel mundial, afectando tanto a la población infantil como a la población adulta.

El autismo es una discapacidad muy heterogénea, pero presenta una serie de síntomas comunes en todos los individuos que lo padecen: retraso en el desarrollo del lenguaje, repetición constante de palabras o frases, falta de empatía hacia otras personas, dificultad para cambiar rutinas y/o espacios conocidos, intereses muy limitados y restrictivos y/o reacción intensa a estímulos exteriores como sonidos, olores, texturas o colores.¹⁶

Actualmente se desconoce la causa por las que se produce el autismo. Las investigaciones más recientes vinculan la aparición del trastorno a una mezcla entre la interacción anormal de varios genes y ciertos factores ambientales (como la ingesta de fármacos durante el embarazo o el desarrollo anormal de ciertas partes del cerebro del embrión). Dado el desconocimiento de su origen, únicamente es posible diagnosticar el 5% de los casos utilizando pruebas de análisis genético con la tecnología que existe actualmente (De La Torre-Ubieta, Won, Stein, & Geschwind, 2016).

2.2.3 Aprendizaje en personas con discapacidad intelectual

El informe de la OMS advierte sobre la vulnerabilidad de los individuos con discapacidad intelectual en cuanto al acceso a la educación. Los niños con discapacidad intelectual tienen menos probabilidades que sus homólogos no discapacitados de asistir a clase regularmente, permanecer en el sistema educativo y superar los cursos año tras año, haciéndoles más propensos al fracaso escolar¹⁷. Para evitar este desequilibrio, la UNESCO puso en marcha una serie de medidas para concienciar a los gobiernos sobre la importancia de la educación inclusiva.

¹⁶ Información obtenida a través de la web de Autism Speaks, una organización no gubernamental dedicada a la investigación del TEA y a la concienciación social del mismo: <https://www.autismspeaks.org/what-autism/from-first-concern-to-action/learn-signs>

¹⁷http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/199544/9789241509619_eng.pdf;jsessionid=9A3EC51F7E1530DCF228BE0B0A8AE01D?sequence=1

Entendemos por educación inclusiva el *‘proceso de abordar y responder a la diversidad de las necesidades de todos los alumnos a través de prácticas inclusivas en entornos de aprendizaje, culturales y comunitarios, reduciendo la exclusión en y desde la educación’*. Esto implica una serie de cambios y modificaciones en el contenido, enfoques, estructuras y estrategias educacionales, con una visión común que cubra las necesidades de todos los niños y con la convicción de que es responsabilidad del sistema el educar a todos los individuos (UNESCO United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, 2005).

Según esta definición, el verdadero reto no es simplemente el dar formación a las personas con discapacidades intelectuales, sino que es necesario crear nuevos modelos y estrategias educativas que aseguren la integración de todos los alumnos en el sistema educativo ordinario (colegios, escuelas, centros de estudios, etc.). Para ello, en la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, se establecieron siete principios de inclusión efectiva en la educación¹⁸. Estas siete cláusulas establecen que el sistema escolar tiene que respetar los principios de:

- No discriminación
- Accesibilidad, tanto intelectual como de cualquier otro tipo
- Adecuación a las necesidades específicas de los alumnos utilizando enfoques alternativos para el aprendizaje y la enseñanza
- Igualdad de estándares
- Participación
- Apoyo para satisfacer las necesidades relacionadas con cada discapacidad
- Preparación para el mercado laboral

En la práctica, existe un problema para adoptar las medidas propuestas por la UNESCO: las necesidades de cada individuo pueden ser muy diferentes, incluso aunque tengan la misma discapacidad, ya que una misma discapacidad puede tener múltiples manifestaciones. Por ejemplo, dentro del mundo de la discapacidad intelectual ya hemos visto como existen distintos tipos, que a su vez tienen diferentes grados de severidad y funcionalidad generando una serie de dificultades o barreras que ralentizan el aprendizaje. Esto no significa que no puedan adquirir conocimientos como otros individuos, sino que sus necesidades educativas son diferentes y la adquisición de conocimientos será, por lo general, más lenta (Perera Mezquida, 2009).

Para desarrollar nuestro proyecto, el primer paso no fue tanto técnico como conceptual, al tener que identificar las capacidades y características comunes pertenecientes a los procesos mentales y

¹⁸ El informe completo sobre los temas tratados en la Convención de los Derechos para las Personas con Discapacidad está disponible en el enlace: http://ii.gmalik.com/pdfs/Better_Education_for_All_Global_Report_October_2009.pdf

de aprendizaje de los dos tipos de discapacidades definidos en el apartado anterior: Down y TEA. Para ello, nos basamos tanto en la literatura disponible como en entrevistas con los psicólogos y entrenadores o educadores de Down Madrid que participaron en el proyecto.

Dada la heterogeneidad de ambas condiciones, buscamos características comunes que pudieran ser llevadas al diseño del videojuego. A continuación, se resumen las barreras de aprendizaje más comunes encontradas en la literatura (Rowe, Lavender, & Turk, 2006) (Vicari, 2006)(Lott & Dierssen, 2010), confirmadas por los profesionales de Down Madrid:

1. Dificultad en los procesos de abstracción, de transferencia de conceptos y de generalización del aprendizaje. Su aprendizaje se realiza a un ritmo más lento que el de las personas sin discapacidad, por lo que las experiencias de aprendizaje tendrán que ser más variadas.
2. Necesidad de entrenar de forma específica los procesos de atención y los mecanismos de memoria a corto y a largo plazo. Este problema genera que tengan tendencia a dispersarse, ya que se fatigan rápidamente. Dado que su atención es limitada, los periodos de trabajo deben ser cortos.
3. Necesidad de apoyo logopédico individualizado debido a sus problemas de comunicación. Normalmente no son capaces de realizar tareas solos, por lo que necesitan apoyo continuado de profesores y/o entrenadores.
4. Limitada curiosidad y capacidad de explorar el mundo que les rodea. Su interés por las actividades novedosas es escaso, por lo que es necesaria una motivación constante. Se deben repetir asiduamente las tareas ya realizadas para que recuerden cómo se han de hacer y para qué sirven.
5. Lentitud respondiendo órdenes. Es necesario eliminar la presión de tiempo en las tareas, pero a la vez necesitan estimulación para que no se olviden lo que se les está pidiendo.
6. Necesidad de aprender conceptos que otros individuos aprenden espontáneamente
7. Dificultad resolviendo nuevos problemas, aunque sean parecidos a otros que han resuelto anteriormente.
8. Necesidad de descomposición en pasos intermedios para aprender conceptos y una secuenciación más detallada de objetivos y contenidos. Las tareas deben estar repartidas

en el tiempo ya que, si se le pide que realice varias actividades en un corto espacio de tiempo, se confunden y rechazan la situación.

9. Necesidad de feedback positivo constante. Aprenden mejor los conceptos cuando han obtenido éxito en las actividades que realizan y cuando conocen los resultados positivos de su actividad de forma inmediata.

10. Problemas de lectoescritura

Estas barreras son el punto de partida desde el que abordar el diseño y los objetivos de aprendizaje de cualquier material educativo destinado a personas con discapacidad intelectual, entre los que podemos incluir los videojuegos educativos.

2.3 Desarrollando videojuegos para usuarios con discapacidad intelectual

El uso de videojuegos educativos para personas con discapacidad ha crecido bastante en los últimos años, sobre todo en campos como la medicina o las ciencias sociales, en donde es común utilizarlos como herramientas terapéuticas y de formación, tanto de pacientes como de profesionales (Cook, Hatala, Brydges, & et al., 2011) (Wuang, Chiang, Su, & Wang, 2011). Incluso, existen referencias de videojuegos que ayudan a los psicólogos y entrenadores a diagnosticar el grado de discapacidad cognitiva de los individuos y su evolución a lo largo del tiempo (Wallace, Goubran, Knoefel, Petriu, & McAvoy, 2014). Sin embargo, no existen muchos videojuegos diseñados específicamente como herramientas de entrenamiento de habilidades para usuarios con discapacidad intelectual.

En la literatura disponible sobre el tema se identificaron cuatro problemas para desarrollar videojuegos específicos para este tipo de discapacidad:

1. La mayoría de los desarrollos son adaptaciones de juegos ya existentes, por lo que las tareas no están diseñados teniendo en cuenta las características cognitivas y motoras de los usuarios con discapacidad intelectual (Torrente et al., 2014). El principal obstáculo que se presenta en videojuegos desarrollados para otros tipos de discapacidades son los problemas de interfaz. La adaptación de las interfaces y formas de interacción con los videojuegos es una práctica habitual cuando hablamos de discapacidades visuales, auditivas y motoras (Moya, Tost, & Grau, 2012) (Schoene et al., 2013) (Montani, De Grazia, & Zorzi, 2014) pero dichas adaptaciones suelen ser más sencillas, ya que normalmente son superficiales y no suelen afectar profundamente al diseño y contenido del juego.

Sin embargo, la complejidad a la hora de diseñar un videojuego cuyo público objetivo son usuarios con problemas cognitivos radica en la heterogeneidad de las capacidades de los jugadores. Para desarrollar un juego educativo que sea realmente efectivo es necesario considerar las particularidades intelectuales y motoras de los jugadores a los que va dirigido el juego (ya sean, personas con Down, autismo, deficiencias cognitivas leves, complejas, etc.) desde la fase de diseño, no simplemente adaptarlo.

2. El punto anterior es la causa principal del segundo problema identificado: desarrollar videojuegos para personas con discapacidad intelectual tiene un coste muy alto, tanto en tiempo como en recursos, debido principalmente a la necesidad de crear el diseño del juego ad-hoc desde el principio, teniendo en cuenta las particularidades cognitivas de los jugadores (Cano, Fernández-Manjón, & García-Tejedor, 2018). Además, al ser herramientas formativas para su uso en entornos específicos (e.g., el aula) y para un público minoritario, no cuentan con el interés de la industria del videojuego ya que el retorno de la inversión de este tipo de desarrollos suele ser limitado.
3. A pesar de que este tipo de videojuegos se llevan utilizando muchos años en el ámbito de la educación especial, no existen muchos estudios que recojan datos sobre el proceso de aprendizaje de los usuarios de forma sistemática y metódica (Durkin, Boyle, Hunter, & Conti-Ramsden, 2013) (Kato & de Klerk, 2017). Esto significa que, a pesar de ser utilizados para evaluar a los usuarios en entornos educativos, en muchos casos no se sabe con precisión la validez de dicha evaluación si no se utiliza un enfoque basado en datos en vez de métodos tradicionales más cualitativos (como los métodos observacionales o los basados en tests y cuestionarios).
Además, la población de estudiantes con discapacidad intelectual es significativamente menor que la de estudiantes sin discapacidad, por lo que las investigaciones disponibles se reducen a pilotos y evaluaciones con un número muy reducido de sujetos. Como consecuencia, la fiabilidad de los estudios analizados está sesgada por el número de participantes (Bakhuys Roozeboom, Visschedijk, & Oprins, 2017).
4. Los problemas de comunicación de los individuos con discapacidad intelectual hacen que sea muy complicado obtener una opinión fiable sobre la adecuación del videojuego a las capacidades cognitivas de los jugadores a los que va dirigido.

A pesar de las dificultades descritas anteriormente, año tras año van apareciendo más investigaciones que relacionan discapacidad intelectual y videojuegos. En (Cano, García-Tejedor,

& Fernández-Manjón, 2015) analizamos de forma metódica 43 ejemplos de videojuegos probados con personas con discapacidad intelectual, en dónde resumimos los principales resultados obtenidos y si dichos resultados son positivos o negativos. La mayoría de dichos ejemplos son videojuegos adaptados a la discapacidad utilizando reglas de accesibilidad. En el siguiente apartado presentaremos las normas o reglas de accesibilidad para personas con discapacidad intelectual más utilizadas a la hora de desarrollar y/o adaptar juegos serios.

2.3.1 Estándares de desarrollo de videojuegos para personas con discapacidad intelectual

Dado que el desarrollo de un videojuego de este tipo es una actividad compleja, requiere de una coordinación entre los profesores o entrenadores y los desarrolladores de los juegos para que tanto los objetivos educativos como el diseño de las mecánicas de juego estén alineados. Este factor es muy importante para que exista un equilibrio entre la parte lúdica y la parte educativa de los Serious Games (Moreno-Ger, Burgos, Martínez-Ortiz, Sierra, & Fernández-Manjón, 2008). Como respuesta a la reciente incursión de los videojuegos educativos en el mundo de la discapacidad intelectual, aparecen estándares y guías de buenas prácticas que tratan de garantizar la accesibilidad y jugabilidad independientemente del tipo de discapacidad de los jugadores.

Las especificaciones y guías de accesibilidad ayudan a los desarrolladores de videojuegos a optimizar el proceso de trabajo, ofreciendo una lista de aspectos a tener en cuenta para que el juego sea una herramienta de aprendizaje efectiva y jugable para este tipo de usuarios.

En este apartado describiremos las principales guías de accesibilidad utilizadas para el desarrollo de videojuegos educativos, y concretamente, cuáles son las que se aplican en el caso de usuarios con discapacidades intelectuales. Cabe destacar que la mayoría de ellas no están diseñadas específicamente para el desarrollo de videojuegos educativos, pero sus recomendaciones son aplicables a cualquier tipo de juego serio.

Game Accessibility Guidelines

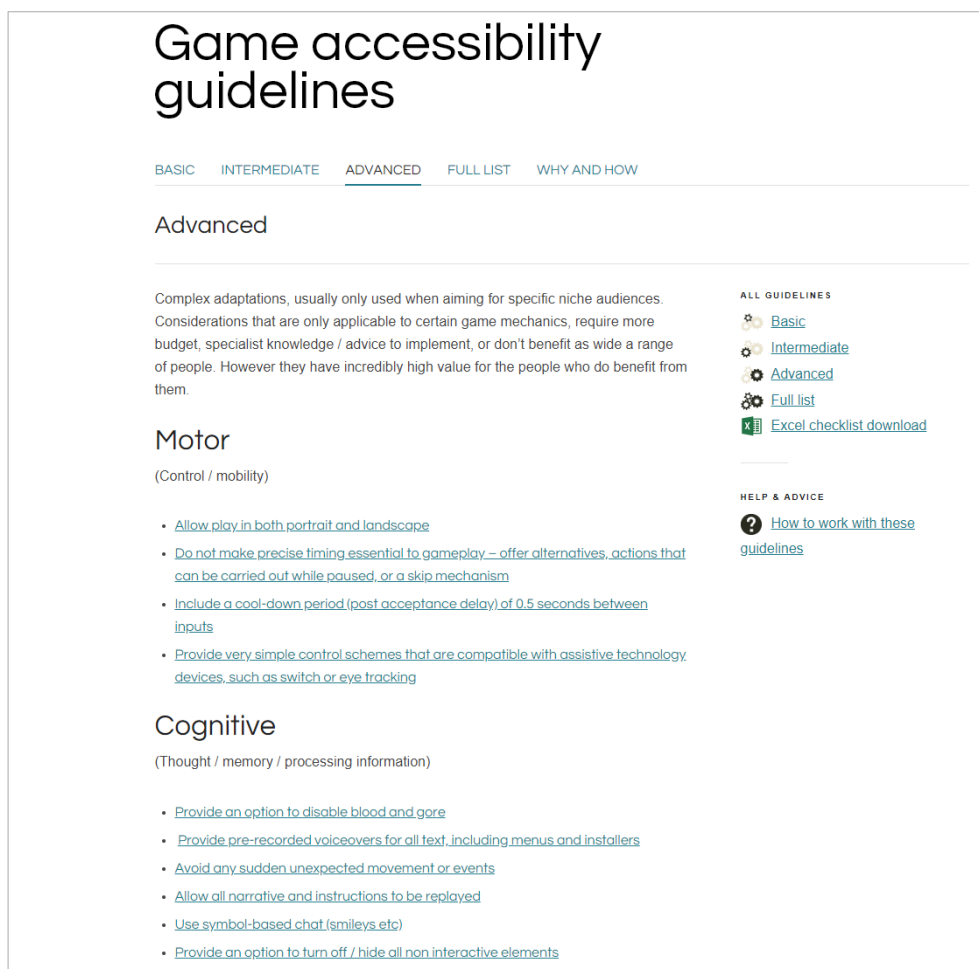
Game Accessibility Guidelines (Ablegamers Foundation, 2012) es una web creada por un grupo de estudios de desarrollo de videojuegos y académicos que resume una serie de recomendaciones para desarrollar y adaptar videojuegos, para que sean inclusivos. Su finalidad es crear un marco de referencia que evite la exclusión de jugadores con discapacidad y asegure que los videojuegos desarrollados bajo estas premisas son jugables por el mayor número posible de usuarios¹⁹.

¹⁹ La guía completa se puede consultar en el siguiente enlace: <http://gameaccessibilityguidelines.com/>

La guía está organizada en tres categorías: básica, intermedia y avanzada. Los tres niveles se basan en un equilibrio de tres cosas: alcance, o número de personas a las que la aplicación de cada buena práctica puede beneficiar, impacto, o la diferencia que supone para los jugadores con discapacidad su aplicación, y coste de la implementación. A su vez, cada categoría está dividida en subcategorías según el tipo de discapacidad: motora, cognitiva o intelectual, visual, del habla o generales (que aplican a todas las áreas).

En el caso de la discapacidad intelectual, ofrece veintinueve buenas prácticas relacionadas con la capacidad de procesamiento de la información, la memoria y la capacidad cognitiva general de los jugadores (ver Ilustración 6).

Aborda desde problemas simples de interfaz, como dar la opción al jugador de comenzar una partida sin necesidad de navegar por múltiples niveles de menús, hasta recomendaciones que



The screenshot shows the 'Game accessibility guidelines' website. The main title is 'Game accessibility guidelines'. Below the title are navigation links: 'BASIC', 'INTERMEDIATE', 'ADVANCED' (which is underlined), 'FULL LIST', and 'WHY AND HOW'. The 'Advanced' section is highlighted, with a sub-header 'Advanced' and a description: 'Complex adaptations, usually only used when aiming for specific niche audiences. Considerations that are only applicable to certain game mechanics, require more budget, specialist knowledge / advice to implement, or don't benefit as wide a range of people. However they have incredibly high value for the people who do benefit from them.' Below this, there are three sub-sections: 'Motor' (Control / mobility), 'Cognitive' (Thought / memory / processing information), and 'Intelectual' (Thought / memory / processing information). Each sub-section has a list of links to specific guidelines. On the right side, there is a sidebar with 'ALL GUIDELINES' and 'HELP & ADVICE' sections. The 'ALL GUIDELINES' section has links for 'Basic', 'Intermediate', 'Advanced', 'Full list', and 'Excel checklist download'. The 'HELP & ADVICE' section has a link for 'How to work with these guidelines'.

Ilustración 6: Enlaces en la web de Game Accessibility Guidelines a las buenas prácticas de desarrollo divididas por tipo de discapacidad

influyen en la programación del juego, como dar la opción de desactivar elementos violentos que aparezcan en los juegos o ajustar la velocidad de los textos que se muestran en pantalla.

Algunos ejemplos de videojuegos comerciales que siguen estas recomendaciones son *Final Fantasy XIII*, *Rise of the Tomb Raider* o *Doom* (ver Ilustración 7).

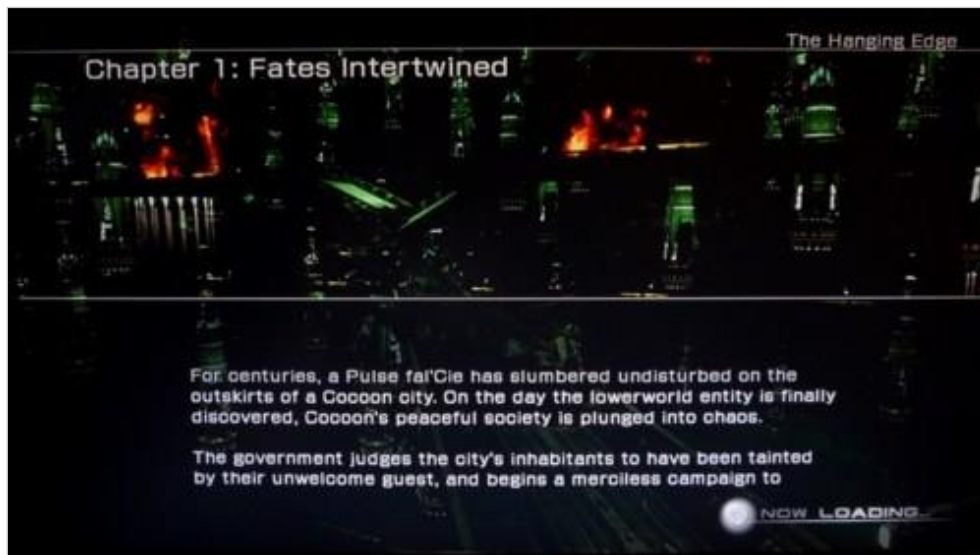


Ilustración 7: Resumen del discurso del narrador en una pantalla de carga en *Final Fantasy XIII*

WCAG (Web Content Accessibility Guidelines)

WCAG (World Wide Web Consortium W3C, 2018) es un conjunto de reglas y recomendaciones de accesibilidad creadas por el *World Wide Web Consortium* (W3C)²⁰. Si bien van dirigidas a los desarrolladores de contenido web para crear páginas accesibles a personas con distintos tipos de discapacidades, sus directrices son aplicables a las interfaces de los videojuegos y es considerada una de las guías de referencia a la hora de diseñar las estéticas (es decir, la apariencia gráfica del videojuego).

La última versión del estándar (2.1) ha sido recientemente revisada y publicada en 2018 por desarrolladores de software y grupos de interés, como asociaciones de distintas discapacidades.

La guía está dividida en cuatro principios de accesibilidad, que pueden ser igualmente aplicados a las interfaces de los juegos serios:

²⁰ El W3C es una comunidad internacional dedicada a desarrollar estándares abiertos de diferente índole para garantizar el crecimiento a largo plazo de la Web. Se puede consultar más información en: <https://www.w3.org/>

- **Perceptible** (*perceivable*): todos los componentes de la interfaz, así como la información que aparece en pantalla, debe ser presentada de forma que todos los usuarios puedan percibirla. Algunos de los principios incluidos bajo este principio son las alternativas al texto, como las descripciones orales, o la inclusión de videos explicativos (Ver Ilustración 8).
- **Operable** (*operable*): los usuarios deben ser capaces de utilizar los controles de la interfaz y navegar por las distintas opciones, independientemente de su discapacidad. Alternativas al uso del ratón/mando o desactivar las limitaciones de tiempo son algunas de las recomendaciones del estándar.
- **Entendible** (*understandable*): la información y la forma de manejar la interfaz debe ser comprensible para todos los usuarios. La WCAG recomienda elegir un tipo y tamaño de letra que sea lo suficientemente grande y legible para la gran mayoría de los lectores, elegir un lenguaje sencillo y adecuado al contenido, omitir las abreviaciones o añadir fuentes de ayuda que sean visibles para evitar que los usuarios se sientan perdidos en la interfaz.
- **Robusta** (*robust*): el contenido debe ser lo suficientemente robusto en cuanto a su interpretación por distintos agentes de usuario, incluyendo las tecnologías de asistencia. De los cuatro principios, este es el más complicado de implementar en videojuegos

The image shows a screenshot of the WCAG 2.1 Recommendation page for '1. Perceivable'. On the left, there is a vertical sidebar with a blue header 'WCAG Recommendation' and a list of recommendations from 1.1 to 1.4.5. The main content area is titled '1. Perceivable' and contains the following text:

Information and user interface components must be presentable to users in ways they can perceive.

Guideline 1.1 Text Alternatives

Provide text alternatives for any non-text content so that it can be changed into other forms people need, such as large print, braille, speech, symbols or simpler language.

Success Criterion 1.1.1 Non-text Content

(Level A)

All non-text content that is presented to the user has a text alternative that serves the equivalent purpose, except for the situations listed below.

- **Controls, Input:** If non-text content is a control or accepts user input, then it has a name that describes its purpose. (Refer to Success Criterion 4.1.2 for additional requirements for controls and content that accepts user input.)
- **Time-Based Media:** If non-text content is time-based media, then text alternatives at least provide descriptive identification of the non-text content. (Refer to Guideline 1.2 for additional requirements for media.)
- **Test:** If non-text content is a test or exercise that would be invalid if presented in text, then text alternatives at least provide descriptive identification of the non-text content.
- **Sensory:** If non-text content is primarily intended to create a specific sensory experience, then text alternatives at least provide descriptive identification of the non-text content.

Ilustración 8: Ejemplo de una de las recomendaciones de la WCAG 2.1 para cumplir el primer principio (perceptible). Esta recomendación sugiere proveer alternativas de texto para el contenido visual. Además, también incluye el nivel de la escala a la que pertenece (A), así como una serie de casos en los que no es necesario cumplir el principio. Se puede obtener más información en:

<https://www.w3.org/TR/WCAG21/#perceivable>

educativos, ya que los lectores de interfaz y otras tecnologías de asistencia no suelen ser compatibles con las plataformas de juego.

Además, la WCAG proporciona tres niveles de cumplimiento de las recomendaciones: A, AA y AAA, de menor a mayor importancia, así como diferentes directrices para garantizar su cumplimiento (Figura 8). Esta clasificación de accesibilidad no se debe confundir con el concepto de videojuego comercial de alta calidad también denominado triple A (AAA).

2.3.2 Estrategias de desarrollo basadas en estándares

Realizar un buen diseño o *Game Design* de un videojuego es imprescindible para garantizar que, tanto los contenidos del juego como la interfaz y las mecánicas, cumplen su función educativa. Sin embargo, no existe una metodología para el desarrollo de este tipo de juegos que esté probada y ampliamente aceptada en el dominio.

Tal y como hemos visto en apartados anteriores, el desarrollo de learning games para usuarios con discapacidad intelectual, aunque todavía escaso (Westin, Bierre, Gramenos, & Hinn, 2011), está en auge debido principalmente al incremento de concienciación social en enfermedades como autismo o Down. Encontramos algunos trabajos especialmente relevantes en los que los autores resumen su experiencia diseñando, desarrollando y/o probando este tipo de juegos que sirven de referencia para futuros desarrollos.

A continuación, se resumen algunas de las buenas prácticas encontradas en la literatura que impactan en el diseño de videojuegos para usuarios con discapacidad intelectual:

Simplificar las mecánicas

Yuan (Yuan, Folmer, & Harris, 2010) afirma que los usuarios con discapacidad intelectual son los más afectados a la hora de dar respuesta a las acciones que demanda el videojuego. Muchas veces, este tipo de usuarios tienen problemas para aprender las mecánicas de juego, por lo que, cuanto mayor sea la dificultad de las tareas a realizar, mayor es la probabilidad de que el usuario pierda la atención y/o motivación antes de realizarla. Para evitar esta falta de atención, tanto la WCAG (World Wide Web Consortium W3C, 2018) como la Game Accessibility Guidelines (Ablegamers Foundation, 2012) recomiendan incluir tutoriales interactivos, como vídeos o simulaciones, en dónde se explique visualmente cómo se realizan las tareas que el jugador tiene que completar.

Otra mecánica imprescindible es la inclusión de modos de asistencia o ayuda, que estén siempre visibles en la interfaz de juego. Esta ayuda deberá recordar al usuario la tarea que está realizando y las que le quedan por completar, así como proporcionar estrategias para la resolución de las

actividades presentadas. También son recomendables los niveles de práctica o *sandbox*, en los que no exista la posibilidad de fallo (o no esté penalizada).

Proporcionar niveles de dificultad alternativos.

Diseñar un sistema de niveles que module la dificultad de las tareas o las ajuste en función de las características cognitivas de los usuarios es una de las estrategias más utilizadas en los videojuegos adaptados. Según la WCAG (World Wide Web Consortium W3C, 2018), el usuario debe poder elegir entre un amplio conjunto de niveles de dificultad, comenzando siempre por el nivel más sencillo (en el que las tareas a completar sean las más básicas), y permitiendo subir el nivel de dificultad hasta el nivel más complejo.

Además, se recomiendan las características o necesidades para cada nivel y se permitirá cambiar de nivel durante el desarrollo de la partida, ya sea a través de menú de configuraciones o de forma adaptativa (Ablegamers Foundation, 2012).

Eliminar la presión por tiempo

La capacidad de procesamiento en la resolución de problemas es más lenta en usuarios con discapacidad intelectual, especialmente en aquellos que tienen Síndrome de Down o discapacidades cognitivas moderadas, por lo que, en general, necesitan más tiempo que otras personas para responder preguntas o realizar tareas. Eliminar la presión por tiempo reduce el estrés producido por el videojuego lo que aumenta la motivación y reduce la tasa de abandono de la tarea (Torrente, del Blanco, Moreno-Ger, Martínez-Ortiz, & Fernández-Manjón, 2009) (Cano et al., 2018).

También es beneficioso permitir al usuario avanzar a su propio ritmo a lo largo de las conversaciones para asegurar el entendimiento de las instrucciones dadas por el juego, además de permitir la repetición de cualquier narración o instrucción (World Wide Web Consortium W3C, 2018).

Adaptar la interfaz de juego

Tras evaluar la interfaz de cinco videojuegos diseñados específicamente para personas con discapacidades relacionadas con el aprendizaje, Lányi (Lányi, Brown, Standen, Lewis, & Butkute, 2012) elabora una guía de diseño de interfaz con recomendaciones como: permitir a los usuarios volver a pantallas anteriores, no transmitir información solo por color, proveer controles alternativos al ratón (como el teclado), asegurar que el contraste en pantalla es adecuado o utilizar descripciones de texto únicas.

A su vez, la WCAG 2.1 (World Wide Web Consortium W3C, 2018) recomienda una serie de requisitos funcionales para desarrollar videojuegos que sean accesibles a usuarios con cualquier tipo de discapacidad. En total, la WCAG recoge más de treinta recomendaciones de diseño de interfaz aplicables a la discapacidad intelectual, siendo las más repetidas:

- El usuario podrá empezar a jugar pulsando un botón, sin tener que explorar diferentes menús y navegar por distintas opciones.
- El usuario necesita un tamaño de letra grande, adecuado y fácil de leer. Se recomienda tener control sobre el tamaño de la letra del juego.
- La información esencial como, por ejemplo, las instrucciones o los elementos clave para la resolución de problemas, será presentada, no solo como elementos de texto, sino también acompañada de voz y/o imágenes.
- Muchos de los usuarios con discapacidad intelectual cuentan también con problemas motores, auditivos o de visión, y normalmente no distinguen bien los elementos que son interactivos de los que no lo son (tanto en la interfaz como en el propio juego), por lo que necesita que cada uno de ellos sean claramente diferenciados a través de estilos, efectos del cursor, brillos, sonidos, etc.

Lenguaje

La guía de lectura fácil²¹ (García, 2012) presenta una serie de técnicas de representación de la información desde el punto de vista léxico, sintáctico y semántico que son, por extensión, aplicables al contenido de los videojuegos educativos (ver Ilustración 9).

Estas recomendaciones facilitan la comprensión de los textos a las personas con discapacidad cognitiva, habilidad imprescindible para conseguir la transferencia de conocimiento a través de un videojuego.

²¹ La guía de lectura fácil es un documento creado por el Real Patronato sobre Discapacidad en el que se exponen los métodos para desarrollar textos fácilmente comprensibles para las personas con discapacidad intelectual. La guía completa está disponible en: <http://www.plenainclusion.org/sites/default/files/lectura-facil-metodos.pdf>

NIVEL	PROCESO DE CONTROL	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
Ortografía	Control de mayúsculas	Evitar mayúsculas fuera de la norma.
	Control de puntuación	Extensión del punto, limitación de la coma, evitar resto de signos.
	Control de otros signos	Evitar signos poco habituales, paréntesis, corchetes y comillas.
	Control de números	Escribir en cifra. Las cantidades grandes deben sustituirse por otros conceptos.
Gramática	Control de la flexión verbal	Evitar tiempos verbales complejos, subjuntivo, voz pasiva, perífrasis complejas.
	Control del sujeto verbal	Evitar la elisión del sujeto.
	Control del orden de elementos de la oración	Mantener la estructura «sujeto + verbo + complementos».
	Control de la complejidad oracional	Utilizar oraciones simples y afirmativas. Evitar oraciones complejas, impersonales y pasivas reflejas, así como negativas.

Ilustración 9: Ejemplo de pautas de redacción de la guía de lectura fácil

Para que la información presentada sea comprensible se recomienda: utilizar un lenguaje simple, claro y directo, con palabras y estructuras gramaticales que sean reconocibles, asegurar la vinculación entre lo descrito mediante voz o sonidos y lo que aparece en pantalla, evitar que una imagen se utilice para dos conceptos diferentes, comprobar que una imagen se comprende sin esfuerzo, asegurar que el tamaño de la letra es adecuado, utilizar dos tipos de letra como máximo, no utilizar caracteres finos, cursivas, adornos o sombras en las letras, etc.

Reducir el número de estímulos

Tal y como hemos comentado en apartados anteriores, los usuarios con discapacidad intelectual tienen problemas para mantener el foco de atención en la tarea que están realizando. Este hecho unido a otros factores como la falta de motivación por aprender o la inseguridad que presentan a la hora de enfrentarse a los problemas hace que los jugadores se distraigan rápidamente (Tomé, R. M., Pereira, J. M., & Oliveira, 2014). Por ello, es recomendable reducir al máximo los estímulos innecesarios que se presentan en pantalla y que no están relacionados con las actividades que el jugador está realizando en ese momento.

Tanto la WCAG 2.1 (World Wide Web Consortium W3C, 2018) como Tomé (Tomé, R. M., Pereira, J. M., & Oliveira, 2014) recomiendan adaptar la velocidad del videojuego a las

características cognitivas de los usuarios, modulando el ritmo de las acciones en función del nivel de dificultad que se elija. Además, es recomendable incluir una opción para apagar u ocultar el movimiento y las animaciones que suceden en el fondo y que no forman parte de las actividades a realizar.

Otra estrategia que propone la Game Accessibility Guidelines es evitar cualquier movimiento de cámara, así como los *pop-up* (ventanas emergentes) o eventos inesperados que no se correspondan con la acción que el jugador está ejecutando en ese momento.

2.3.3 Algunos ejemplos de videojuegos para para personas con discapacidad intelectual

En este apartado se presentan algunos de los ejemplos de videojuegos para personas con discapacidad intelectual. A continuación, describiremos únicamente videojuegos desarrollados ad-hoc, no adaptados, para este tipo de discapacidad. Cabe destacar que no todos los videojuegos que se describen tienen un propósito educativo y la mayoría de estos juegos no recopilan datos sobre su utilidad. Si lo hacen, están basados en métodos observacionales que muchas veces son insuficientes para afirmar su efectividad como herramientas educativas.

CITI



Ilustración 10: Imagen de CITI, en su versión para dispositivo móvil

El Proyecto CITI (Competencia Intelectual y Tecnología de la Información, 2009) es un videojuego para personas con discapacidad intelectual creado con un doble propósito: por un lado, busca mejorar algunas habilidades y capacidades cognitivas, como la orientación espacial, discriminación o atención, y por otro, está pensado para acercar las tecnologías de la información a los jugadores de una forma atractiva y divertida (ver Ilustración 10).

Consta de cuatro actividades de estrategia: ir al cine, ir al museo, organizar una fiesta e ir a patinar.

En cada una de ellas el jugador debe ir superando pruebas para pasar a la siguiente actividad, planificando sus acciones y siguiendo instrucciones de forma temporal.

El proyecto está desarrollado por la Fundación Síndrome de Down de Madrid y por la Fundación Orange y se utiliza actualmente dentro del programa TIC de la Fundación, sin embargo, no existen resultados objetivos sobre su utilización (no se ha hecho una evaluación formal basada en datos o al menos no se ha publicado).

Lucas y el caso del cuadro robado



Ilustración 11: Imagen de la aventura gráfica 'Lucas y el caso del cuadro robado', diseñado para jóvenes con Síndrome de Down (izquierda). Jugadores de DOWN MADRID probando el videojuego (derecha)

Este videojuego es la primera aventura gráfica desarrollada por los psicólogos y entrenadores de Down Madrid para jóvenes con discapacidad intelectual. Es relevante porque, junto con CITI, fue el primer videojuego creado específicamente para personas con Down en España (ver Ilustración 11).

Se trata de un juego de carácter meramente lúdico en donde se pone a prueba la capacidad de razonamiento de los jugadores a través de pruebas y enigmas que permiten trabajar habilidades como la toma de decisiones o la capacidad de razonamiento.

El objetivo del juego no es educativo en sí, busca la integración de los jóvenes con Down a través de actividades propias de su edad. En este caso, la principal función del juego es acercar a los jóvenes con Síndrome de Down al mundo de los videojuegos, permitiendo que sean capaces de manejar estas aplicaciones como los jugadores sin discapacidad.

JECRIPE

JECRIPE es un juego especialmente diseñado para niños con Síndrome de Down en edad preescolar (Brandão et al., 2010). Su objetivo es estimular y entrenar ciertas habilidades cognitivas como la imitación, percepción, desarrollo motor fino, coordinación ojo-mano o el desarrollo verbal (ver Ilustración 12).

Para su evaluación, los investigadores observaron el comportamiento de los niños que probaron el juego en una guardería de Brasil. A pesar de que los jugadores mostraron evidencias de que el juego les motivaba, los resultados educativos no fueron los esperados: muchos niños jugaban a cometer errores a propósito, porque les hacía gracia los sonidos que emitía el juego cuando fallaban. También descubrieron problemas en la interfaz, ya que la mayoría de los niños en edad preescolar no sabían arrastrar y soltar objetos con el ratón.

A pesar de que no se recogieron datos cuantitativos sobre el diseño experimental, gracias a estos resultados los investigadores corrigieron el juego y publicaron una guía de buenas prácticas a tener en cuenta para diseñar videojuegos educativos para personas con discapacidad intelectual, concretamente para Síndrome de Down.

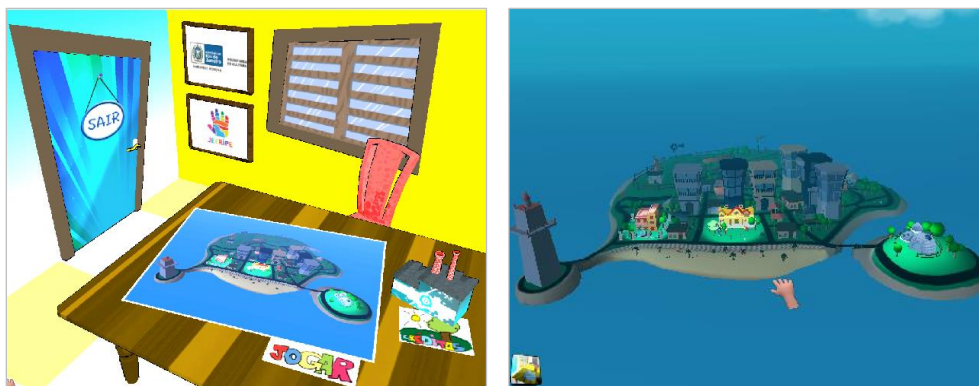


Ilustración 12: Imágenes de la interfaz de JECRIPE

ECHOES

El proyecto ECHOES (Bernardini, Porayska-Pomsta, & Smith, 2014) es un conjunto de doce actividades interactivas diseñadas para mejorar las capacidades comunicativas en niños con TEA (ver Ilustración 13).

A través de una pantalla táctil, los jugadores pueden realizar dos tipos de actividades:

- Actividades orientadas a un objetivo específico, que tienen una secuencia de pasos a seguir y un objetivo claramente identificable

- Actividades cooperativas y por turnos, que no tienen un objetivo concreto y cuya finalidad es la interacción con otros jugadores, aprender a esperar turnos y entretenerse con otros niños

Todas las actividades propuestas en el juego están explicadas por lo que llaman un *agente*: un sistema de inteligencia artificial dentro del juego en forma de avatar. Dicho agente tiene como objetivo interactuar con los jugadores y potenciar su inteligencia emocional, siendo capaz de expresar hasta 22 emociones en función de la interacción del niño con el juego.

ECHOES fue evaluado en cinco colegios de educación especial en Reino Unido. Los usuarios ($n=29$) jugaron al videojuego en periodos de 10-20 minutos, varias veces a la semana durante seis semanas. Los resultados obtenidos demuestran que cuanto más tiempo interactuaron con el juego, mayor número de interacciones realizaban con el agente.

Además, los niños empezaron a imitar las conductas y los movimientos faciales del avatar del juego y, desde el punto de vista de los profesores que observaron las sesiones, mostraron cierta mejoría en sus capacidades comunicativas después de jugar al juego.



Ilustración 13: Niños interactuando con la pantalla de ECHOES

Jestimule

Jestimule (Serret et al., 2014) es una herramienta de reconocimiento de emociones desarrollada para personas con TEA, independientemente de su nivel de funcionalidad cognitiva, edad y capacidades verbales.

Treinta y tres niños y adolescentes con TEA y diversas capacidades intelectuales jugaron a Jestimule una hora a la semana durante cuatro semanas. Para verificar la usabilidad del videojuego

se recopilaron los datos de interacción de todos los participantes. Para reforzar los conocimientos que entrena el juego, todos los jugadores participaron en cinco sesiones de reconocimiento de emociones (caras, gestos y escenas sociales), dos incluyendo imágenes de avatares del juego y tres incluyendo imágenes de personas de la vida real (ver Ilustración 14).

Según los investigadores, los datos recopilados por el videojuego mostraron signos de efectividad, adaptabilidad y eficiencia. Tras el entrenamiento los participantes aprendieron a reconocer la mayoría de las expresiones faciales que aparecen en Jestimule (30 de 35) tanto para avatares (ANOVA: $F(1,32) = 98.48, P < .001$) como para personas en la vida real (ANOVA: $F(1,32) = 49.09, P < .001$).



Ilustración 14: Jestimule tiene como objetivo enseñar emociones a individuos con TEA

2.4 Game Learning Analytics: Evaluando videojuegos educativos a través de la captura de datos

Tal y como hemos visto en las secciones anteriores, existen muy pocos videojuegos educativos para personas con discapacidad intelectual que recopilen datos durante las sesiones de juego. La mayoría de los experimentos que se describen en la literatura están basados en métodos observacionales o encuestas pre-test/post-test. Sin embargo, existe un problema que hace que la validez de estos estudios sea cuestionable: la limitación en las habilidades comunicativas de las personas con discapacidad intelectual.

En la sección 2.3 se describe el problema que representa obtener una retroalimentación fiable sobre el proceso educativo de los usuarios y su relación con los videojuegos educativos.

Los juegos serios pueden utilizarse como una herramienta de medición del proceso de adquisición de conocimientos, dando a los entrenadores y psicólogos la oportunidad de recoger información sobre los patrones de aprendizaje de los usuarios y su interacción con los videojuegos (Serrano-Laguna et al., 2017) (Alonso-Fernández et al., 2019a).

Mientras los usuarios juegan a un videojuego educativo, es posible recoger trazas de información sobre su evolución, su comportamiento dentro del juego, el nivel de compromiso, el número de aciertos y errores que se cometen o el tiempo que tardan en realizar las actividades propuestas. Posteriormente, se pueden utilizar estos datos para entender, e incluso predecir, los resultados del proceso dependiendo del grado o tipo de discapacidad de los usuarios. A este proceso de recogida de datos y su análisis para lograr una mejora del proceso educativo se le conoce como ‘Learning Analytics’ (LA) o analíticas de aprendizaje.

Analizando la literatura se pueden encontrar varias definiciones de Learning Analytics. Long & Siemens definen el término como *la medición, recopilación, análisis y visualización de datos sobre los estudiantes y su contexto educativo, con el fin de comprender y optimizar el proceso de aprendizaje y el entorno en el que tiene lugar* (Long & Siemens, 2011). Baker & Inventado lo describen como *la explotación de datos que beneficia a la educación y ciencia del aprendizaje*, haciendo énfasis en la interpretación y visualización humana de dichos datos para diferenciarlo de la minería de datos educativos (Baker & Inventado, 2014).

La aplicación de Learning Analytics en videojuegos se denomina ‘Game Learning Analytics’ (GLA) y es el término con el que la industria de los videojuegos se refiere a la *aplicación de analíticas al desarrollo e investigación de los juegos* (Freire et al., 2016). El objetivo de este proceso es entender el comportamiento del usuario dentro del videojuego, encontrar posibles errores de desarrollo y mejorar el *gameplay* o experiencia de juego (Seif El-Nasr, Grachen, & Canossa, 2013). La aplicación de Game Learning Analytics a un juego serio tiene una doble utilidad. Por un lado, el análisis de los datos recogidos permite a los desarrolladores validar si el diseño y las mecánicas de juego son adecuadas a las capacidades cognitivas de los usuarios. Por otro lado, los educadores son capaces de evaluar cómo está siendo la experiencia educativa y el proceso de aprendizaje del usuario dentro del juego (Alonso-Fernández et al., 2019b).

A continuación, se describen los principales modelos de aplicación de Learning Analytics que se encuentran en la literatura, que sirvieron como referencia para elaborar este proyecto de tesis.

Modelos de aplicación de Learning Analytics en videojuegos educativos - LAM

Los modelos de aplicación de Learning Analytics en videojuegos educativos se denominan LAM (Learning Analytics Model). Formalmente se definen como *marcos de referencia que determinan cómo los datos de los alumnos que se recopilan en un juego serio deben ser capturados, agregados y visualizados por un sistema de análisis para su posterior evaluación*. Su principal finalidad es permitir a los educadores entender cómo se desarrolla el proceso de adquisición de conocimientos mientras los alumnos juegan a un juego serio (Perez-Colado, Alonso-Fernández, Freire-Moran, Martínez-Ortiz, & Fernández-Manjón, 2018).

Encontramos dos modelos de Learning Analytics que pueden aplicarse en desarrollos de juegos serios para usuarios con discapacidad intelectual, el de Chatti et al. (Chatti, Dyckhoff, Schroeder, & Thüs, 2012) y el de Pérez-Colado (Perez-Colado et al., 2018), aunque únicamente el presentado por Pérez-Colado es considerado para ser aplicado exclusivamente en videojuegos educativos.

Chatti y otros proponen un modelo de referencia para la aplicación de Learning Analytics basado en cuatro dimensiones (ver Ilustración 15): los datos recopilados por el sistema, su gestión y su utilización (¿qué?), los actores a los que va dirigido el análisis (¿quién?), las razones por las que el sistema analiza los datos recopilados (¿por qué?) y la forma en la que se realiza el análisis de dichos datos (¿cómo?).

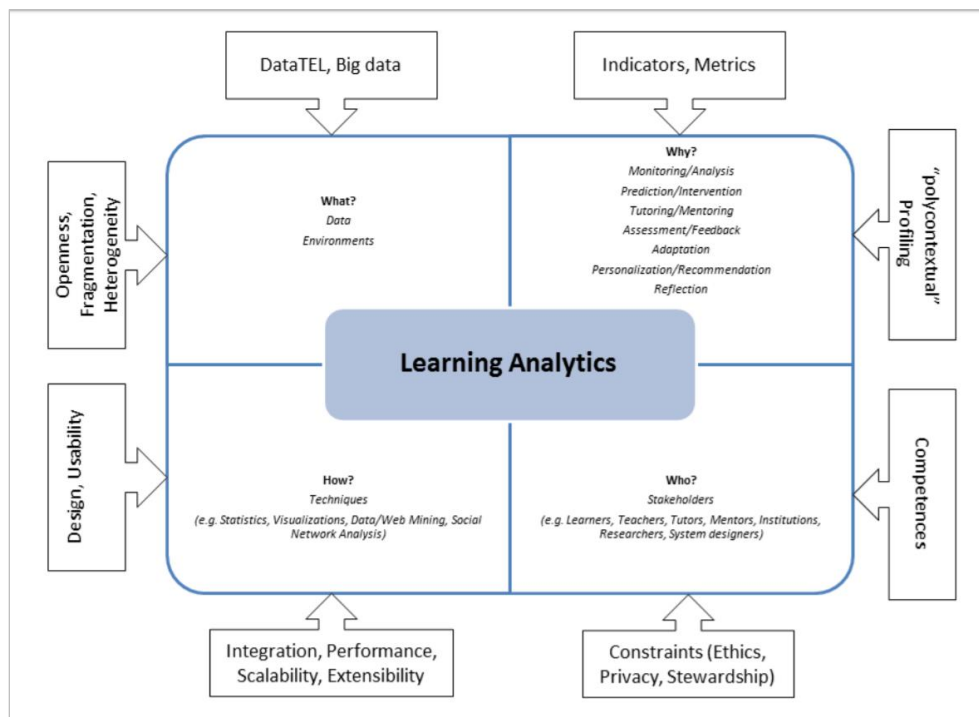


Ilustración 15: Modelo de aplicación de LA desarrollado por Chatti

En el caso de los juegos serios, los datos (¿qué?) se recopilan directamente del videojuego a través de un sistema de captura o *tracking*. Dado que dicho sistema suele recopilar todas y cada una de las interacciones del jugador con el videojuego, se genera una gran cantidad de datos capturados que deben ser tratados y depurados utilizando técnicas de Learning Analytics.

Existen varios agentes involucrados en el proceso educativo a través de juegos serios (¿quién?): desarrolladores, profesores, estudiantes, etc. cuya necesidad de información puede ser diferente. Los investigadores deberán conocer las necesidades de cada uno de ellos para asegurar que el sistema es capaz de ofrecer visualizaciones de utilidad dependiendo de a quién vayan dirigidas. Además, deberán asegurar la privacidad de los datos a través de filtros o niveles de acceso a la información.

En cuanto a los objetivos de la recopilación de datos (¿por qué?) existen varias razones entre las que se pueden encontrar: monitorización y análisis de las actividades del jugador dentro del videojuego, predicción e intervención, personalización de la experiencia de aprendizaje, evaluación, etc.

Por último, Chatti enumera cuatro métodos y técnicas que se utilizan para el análisis de la información recopilada: estadísticas, visualización, minería de datos y análisis de redes sociales (aunque esta última no tiene aplicación directa en todos los juegos serios).

El modelo propuesto por Pérez-Colado (Pérez-Colado et al., 2018) considera cinco aspectos clave a la hora de diseñar un LAM: (1) Objetivos de aprendizaje, (2) objetivos de juego, (3) trazas, (4) análisis y (5) visualizaciones (ver Ilustración 16). La primera decisión clave sería establecer los objetivos de aprendizaje que pueden definirse como el conocimiento específico, los procedimientos y las tareas que los estudiantes deben aprender utilizando el juego. Los objetivos del juego se refieren a las tareas y las interacciones propuestas por el videojuego. Cada tarea debería estar relacionada con uno de los objetivos de aprendizaje. Estos objetivos del juego deben reflejarse en el diseño del juego en forma de mecánicas y dinámicas (Hunicke, LeBlanc, & Zubek, 2004). El siguiente paso en el modelo sería definir la información que se va a recopilar y enviar al sistema de análisis (LAS, Learning Analytics System). En este caso los autores utilizan el estándar x-API-SG para estandarizar el formato de obtención de las trazas de usuario.

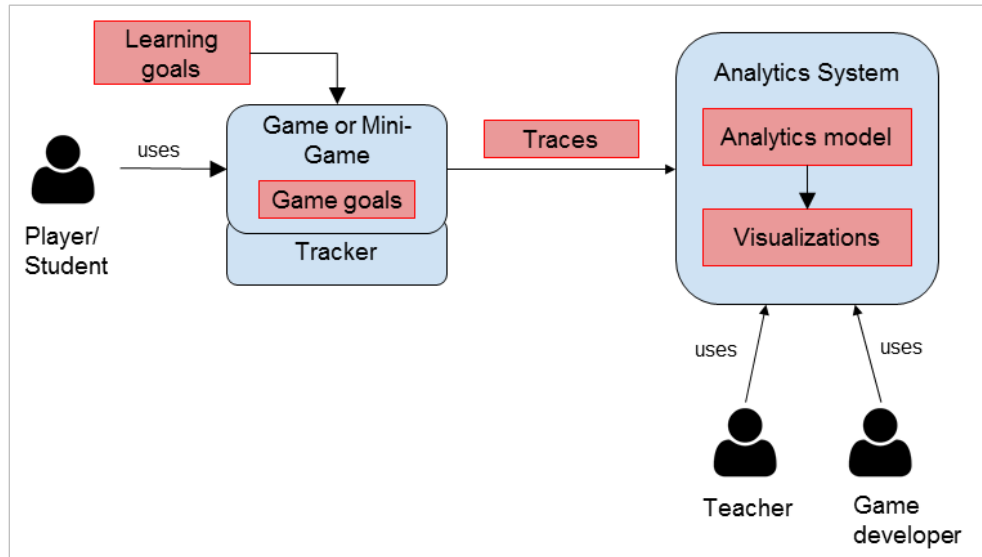


Ilustración 16: Modelo de Learning Analytics descrito por Pérez-Colado

Una vez que se envía la información, el sistema de analíticas analizará y creará las visualizaciones necesarias en forma de cuadros de mando sobre los resultados obtenidos por los alumnos, desde una perspectiva individual o colectiva.

2.5 A modo de conclusión

Este capítulo se cierra con un resumen sobre las principales conclusiones extraídas del estado del arte.

1. **El desarrollo de videojuegos educativos para personas con discapacidad intelectual se encuentra en un estado inmaduro comparado con el de los videojuegos disponibles para otras discapacidades**

En los últimos años, se observa un aumento en el número de desarrollos y aplicaciones educativas dirigidos a personas con discapacidad. Sin embargo, el número de videojuegos diseñados específicamente para discapacitados intelectuales es significativamente menor si lo comparamos con aquellos desarrollados para otras discapacidades. Dados los beneficios que se atribuyen a los videojuegos educativos, como la adaptación del proceso de aprendizaje a las necesidades de los alumnos, el fomento de la motivación a la hora de aprender o el aspecto lúdico que hay detrás de su diseño, se consideran unas herramientas muy efectivas para involucrar activamente a los estudiantes con problemas cognitivos siempre y cuando el diseño del videojuego esté alineado con los objetivos educativos determinados por los docentes.

2. Existe la necesidad de elaborar un proceso de validación que asegure la adecuación del diseño de un videojuego educativo a las capacidades cognitivas de los usuarios con discapacidad intelectual

Tal y como hemos visto, existen dos guías de buenas prácticas que dan recomendaciones sobre cómo desarrollar aplicaciones para usuarios con discapacidades intelectuales. La Game Accessibility Guidelines (Ablegamers Foundation, 2012) propone una serie de consejos para desarrollar videojuegos para cualquier tipo de discapacidad, dando recomendaciones concretas para desarrollos dirigidos a usuarios con problemas cognitivos. Por otro lado, la WCAG 2.1 (World Wide Web Consortium W3C, 2018) propone una serie de reglas para desarrollar interfaces accesibles, que son aplicables al desarrollo de juegos serios, pero que no van dirigidas concretamente a este colectivo.

La creación de un proceso de diseño y desarrollo específico para este tipo de videojuegos supondría una mejora en el proceso de implementación de juegos serios, asegurando que el diseño de las tareas está en línea con las características cognitivas de los usuarios. Dados los problemas de comunicación con los que cuentan los usuarios, dicho proceso debería incluir la captura, tratamiento y análisis de los datos de interacción entre el usuario y el videojuego. Además, supondría un ahorro en el coste de desarrollo, ya que disminuiría el número de iteraciones entre los desarrolladores y los usuarios.

3. La aplicación de Game Learning Analytics se postula como una de las principales soluciones para lograr una validación más científica del diseño de los videojuegos educativos dirigidos a personas con discapacidad intelectual

Para que los videojuegos educativos puedan utilizarse como una herramienta de medición del proceso de adquisición de conocimiento es necesario la creación de modelos o estándares que, basados en datos, desde el punto de vista de los desarrolladores, validen el diseño de las mecánicas de juego y, desde el punto de vista de los docentes, aseguren que los alumnos con discapacidad intelectual son capaces de aprender los conceptos presentados por el videojuego a través de la realización de tareas. Este proceso debe estar basado en la información obtenida mientras los estudiantes juegan (trazas).

Capítulo 3: Objetivos y planteamiento del trabajo

En el capítulo 1 se describen los objetivos principales de este trabajo de tesis, así como su motivación. En este capítulo se desarrollan estos objetivos de una forma más amplia, enmarcándolos con los conceptos presentados en el capítulo 2, y detallando su alcance.

Se plantea de una manera más formal el objetivo principal de la tesis, que es el de proponer un proceso de validación de diseño de videojuegos educativos dirigidos a usuarios con discapacidad intelectual, que incluya la aplicación de analíticas. Para conseguir este objetivo, se propone el desarrollo de una prueba de concepto que entrene a personas con discapacidad intelectual en el uso independiente de la red de Metro de Madrid. En dicha prueba se aplicarán técnicas de Game Learning Analytics, presentadas en el apartado 2.4, que permitirán la recopilación de datos de interacción entre los usuarios y el videojuego. Con esos datos, se validarán las decisiones de diseño tomadas en la prueba de concepto y se propondrá un proceso que permita replicar el modelo de desarrollo en otros juegos serios educativos dirigidos a usuarios con distintas discapacidades intelectuales.

3.1 Objetivos de la tesis

Tal y como se explica al comienzo de este capítulo, el objetivo principal de esta tesis doctoral es **proponer un proceso, que incluya la aplicación de analíticas, que sirva para sistematizar el diseño y la validación de juegos serios educativos dirigidos a personas con discapacidad intelectual.**

Esta propuesta constituye la línea de investigación principal de la tesis, así como su marco teórico, tal y como se describe en el apartado 4.1 de este trabajo.

Dado el alcance ambicioso de este trabajo de tesis, es necesario dividirlo en cuatro objetivos secundarios que coinciden con la cronología del planteamiento de trabajo:

- 1. Desarrollar un videojuego que sirva como una herramienta de aprendizaje efectiva para entrenar a personas con discapacidad intelectual en el uso independiente de la red de Metro de Madrid**

Desde Down Madrid se plantea la necesidad de desarrollar un videojuego que de apoyo al programa de entrenamiento en transporte, explicado en detalle en el capítulo 1. Este objetivo se

considerará satisfecho si se diseña y desarrolla un simulador del Metro de Madrid, en el que el usuario pueda navegar libremente por la red de Metro, recorrer el vestíbulo, los pasillos y los andenes de las estaciones, subirse/bajarse en cualquier parada y cambiar de línea o de dirección tal y como lo haría en la vida real.

Para ello, es necesario crear un sistema de inteligencia artificial que plantee recorridos reales y factibles acordes con el nivel de dificultad elegido por el jugador (basado en algoritmos de búsqueda en espacios de estados) y que dibuje dinámicamente las estaciones según el usuario las vaya recorriendo, con el adecuado nivel de verosimilitud y realismo, concordando con el viaje que se está realizando. Se deberá tener en cuenta los trasbordos que se pueden realizar en cada una de las estaciones para poder cambiar de línea, así como la apariencia de los carteles y señalizaciones que aparecen en pantalla.

Además, deberá de contar con elementos de gamificación que hagan atractivo para el jugador continuar con el juego lo que implica retos, ayudas y recompensas adaptados a usuarios con discapacidad intelectual.

Es imprescindible también que la estética del videojuego sea lo más parecida a la realidad posible para que los usuarios sean capaces de identificar todos los elementos del videojuego y puedan trasladarlo a la realidad cuando viajen de forma independiente por el Metro.

2. Integrar técnicas de analíticas de aprendizaje con juegos (Game Learning Analytics) para obtener realimentación sobre la experiencia de aprendizaje de los usuarios y evaluar los conocimientos adquiridos por cada jugador

El videojuego formará parte del programa de entrenamiento en transporte, junto con las sesiones in-situ en el Metro. Este programa está disponible para usuarios con discapacidad intelectual que sean medio o altamente funcionales y que sean capaces de realizar tareas cotidianas de forma independiente. Los alumnos de Down Madrid que no cumplen estas características quedan fuera del ámbito del proyecto.

Una característica común en la mayoría de los usuarios con discapacidad intelectual (sea cual sea su nivel de funcionalidad) son los problemas de comunicación con terceros. Por esta razón, es necesario integrar técnicas de GLA para capturar, tratar y analizar los datos de los usuarios que realicen el entrenamiento. Estos datos nos proporcionarán información sobre la adecuación del diseño a las características cognitivas de los usuarios y sobre el proceso de aprendizaje de los alumnos, desde un punto de vista individual o colectivo.

Los entrenadores de Down Madrid serán los encargados de visualizar los informes del juego y adoptar las técnicas educativas adecuadas para mejorar la experiencia de adquisición de conocimientos de cada uno de los alumnos.

3. Validar las decisiones de diseño (mecánicas, dinámicas y estéticas), incluidas en Downtown a través del uso de GLA, asegurando la adecuación de las tareas del juego a las capacidades cognitivas de los usuarios desde fases tempranas del desarrollo

Este objetivo se considerará cubierto si se confirma la validez de la prueba de concepto como herramienta educativa. Esta validación debe permitir analizar si los objetivos educativos propuestos por los entrenadores de Down Madrid están alineados con las mecánicas propuestas en el videojuego por los investigadores a través del uso de GLA.

La validación del diseño del videojuego, una vez desarrollado, se realizará en dos fases: primero, se llevarán a cabo unas sesiones de prueba en el aula con usuarios reales de la fundación Down Madrid en las que se capturarán los datos de juego. Segundo, se bajará al Metro con un grupo de usuarios que haya jugado previamente al videojuego. Los entrenadores de Down Madrid compararán las habilidades de estos alumnos con aquellos que no han entrenado previamente con el videojuego. Sólo la primera de las fases forma parte de la tesis doctoral, ya que se analizarán los datos recopilados para validar o refutar las decisiones de diseño del juego. La segunda fase es de largo plazo y depende en gran medida de recursos externos, por lo que dicha validación queda fuera de este trabajo doctoral.

4. Proponer un proceso de validación que permita replicar el modelo de desarrollo de Downtown en otros videojuegos educativos cuyo público objetivo sean usuarios con discapacidad intelectual y/o presenten deficiencias en el proceso de comunicación

El objetivo final consiste en identificar recomendaciones y buenas prácticas que sean aplicables a un amplio rango de juegos serios complejos y específicamente diseñados para personas con discapacidad intelectual. Cabe destacar que el videojuego *Downtown* se compone de una trama de juego principal y cinco minijuegos. Cada uno de estos minijuegos es un pequeño desarrollo independiente que trabaja una característica cognitiva distinta. Durante las sesiones de juego recopilaremos la información tanto de la trama principal como de los minijuegos, por lo que se podrán comparar la eficacia de las mecánicas utilizadas y elaborar un sistema de validación extensible a otros desarrollos.

3.2 Planteamiento del trabajo

El planteamiento de este trabajo tiene como finalidad la consecución de los objetivos propuestos. La principal complejidad del proyecto es la diversidad de características cognitivas que existen dentro de la discapacidad intelectual. Cada individuo presenta habilidades particulares que influyen en el proceso de aprendizaje, por lo que es muy complicado estandarizar dicho proceso y plasmarlo en forma de mecánicas de juego.

Por este motivo, se plantea abordar el desarrollo del proyecto por etapas. A continuación, se describen en orden cronológico:

- **Toma de requisitos:** El primer paso fue realizar entrevistas con la responsable del servicio TIC y los entrenadores de Down Madrid. Estas entrevistas tenían una doble función: por un lado, entender las restricciones y particularidades de los procesos cognitivos que impactan en la forma en la que los usuarios utilizarían el videojuego y por otro, realizar una toma de requisitos sobre los conceptos que debían aparecer en el juego y los objetivos a conseguir.
- **Diseño de juego:** A partir de las especificaciones recopiladas y una vez comprendido el alcance del videojuego, se elaboró la ‘biblia’²² y el documento de diseño del juego (Game Design Document o GDD) que fue validado por Down Madrid. En este documento se recogen las mecánicas de juego (tanto del videojuego principal como de los cinco minijuegos embebidos), los detalles técnicos del desarrollo (posición de cámaras, motor de desarrollo, especificaciones de software, etc.) y una guía visual con el arte conceptual propuesto.
- **Desarrollo de *Downtown: Aventura en el Metro*:** Para desarrollar el videojuego se utilizó SCRUM²³, una metodología ágil basada en *sprints*. Un *sprint* es un periodo de tiempo (en nuestro caso de unas seis semanas aproximadamente) en el que el equipo de desarrollo crea un producto viable parcialmente listo para ser testado. Al finalizar cada *sprint*, el producto era enviado a Down Madrid para ser probado por usuarios reales y obtener feedback (evaluación formativa con usuarios). En total se realizaron seis sprints hasta completar el videojuego.

²² En la industria del videojuego se denomina ‘biblia’ al documento resumen en donde se especifica la trama del juego, los niveles, los personajes, el cronograma de trabajo y el coste. Es un paso previo al GDD (Game Design Document) en el que se desarrollan en profundidad todos estos conceptos y además se incluyen los detalles técnicos del desarrollo y el arte conceptual.

²³ Para más información sobre SCRUM visitar la web: <https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum>

- **Integración de Learning Analytics – x-API tracker:** Una vez finalizado el desarrollo, se incluyó en el código del juego un tracker, basado en el estándar x-API, cuya principal función es la captura de datos. El proceso de captura y las características del tracker se detallan en profundidad en el apartado 4.2.
- **Diseño experimental y pruebas de usuario:** El siguiente paso para la consecución del proyecto es la realización de pruebas de usuario. El videojuego fue testado por 51 alumnos de Down Madrid durante los meses de mayo y junio de 2017. Posteriormente, en 2018, se realizó una segunda fase de experimentación con un grupo de alumnos que bajaron al metro después de haber entrenado con el videojuego. En ambas sesiones se capturaron los datos de interacción de los usuarios con el videojuego para ser analizados posteriormente.
- **Análisis de resultados y validación de la prueba de concepto:** Por último, se analizaron los resultados obtenidos que validaron la prueba de concepto. La mayoría de las mecánicas incluidas en el videojuego fueron validadas positivamente. Sin embargo, gracias a la utilización de analíticas se descubrió un error en el planteamiento del diseño que de otro modo hubiera pasado inadvertido.

Como resultado del proceso de trabajo, se obtienen seis artículos en los que se describen detalladamente los pasos a seguir para validar el diseño de la prueba de concepto y los resultados obtenidos. La consecución de estas etapas da como resultado un proceso de validación que puede ser generalizado a un amplio rango de juegos dirigido a usuarios con discapacidad intelectual, cumpliendo así el objetivo general planteado en este trabajo de tesis.

Capítulo 4: Discusión y contribuciones

En este capítulo se proporciona una descripción de los artículos publicados que conforman este trabajo de tesis doctoral, así como una discusión de cómo su contenido contribuye a cubrir los objetivos planteados.

El capítulo se divide en cuatro subsecciones que reflejan las contribuciones correspondientes a cada objetivo de trabajo descrito en el capítulo anterior. Cada subsección se corresponde con uno o más artículos. Cabe destacar que las secciones no siguen un orden cronológico.

4.1. Desarrollar un videojuego que sirva como una herramienta de aprendizaje efectiva para entrenar a personas con discapacidad intelectual en el uso independiente de la red de Metro de Madrid

En los artículos *Downtown, A Subway Adventure: Using Learning Analytics to Improve the Development of a Learning Game for People with Intellectual Disabilities* (A.R. Cano, Fernández-Manjon, & García-Tejedor, 2016) y *Using Game Learning Analytics for Validating the design of a Learning Game for Adults with Intellectual Disabilities* (A.R. Cano, Fernández-Manjón, & García-Tejedor, 2018) presentados en las secciones 6.4 y 6.5 respectivamente se describe la temática y las características del videojuego *Downtown, Aventura en el Metro*, desarrollado como prueba de concepto.

Downtown es un videojuego de aventura gráfica en 3D con temática de policías y ladrones diseñado específicamente para personas con discapacidad intelectual. El juego está pensado para ayudar a los usuarios a moverse por la red de metro de Madrid y a enfrentarse a los incidentes e imprevistos que puedan aparecer, simulando los escenarios desde una perspectiva realista en 3D para ayudar a transferir lo aprendido en el videojuego a la realidad (ver Ilustración 17).

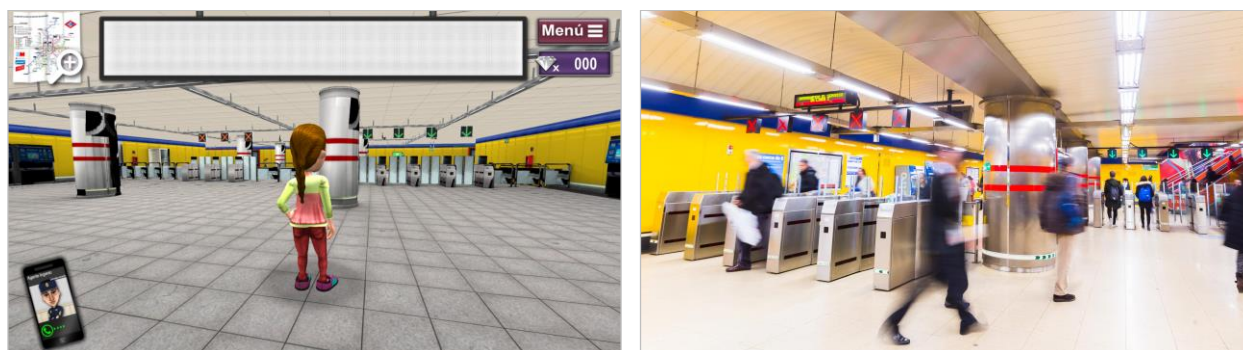


Ilustración 17: Imagen de un vestíbulo de la línea 3 en el videojuego *Downtown* (izquierda) e imagen real (derecha)

Para desarrollar *Downtown* se tuvieron en cuenta las características intelectuales, psicológicas y motoras que impactan en el proceso de aprendizaje de los alumnos con discapacidad. A pesar de que, como hemos descrito anteriormente, las habilidades cognitivas pueden variar de un individuo a otro independientemente del tipo de discapacidad que presenten, existen características comunes que proporcionan orientación sobre los requisitos funcionales que impactarán en el diseño de un videojuego educativo.

Para identificar estas características, realizamos una serie de entrevistas a los entrenadores o educadores (psicólogos y terapeutas ocupacionales) del programa de movilidad de Down Madrid. Ellos nos dieron las pautas principales para comenzar a plantear el diseño del videojuego. Además, realizamos un análisis exhaustivo de la literatura disponible sobre el tema (Cano, García-Tejedor, & Fernández-Manjón, 2015a) (Cano et al., 2015b), así como una revisión de los estándares de desarrollo y buenas prácticas que debíamos tener en cuenta, explicadas en la sección 2.3.2.

A modo de resumen, el videojuego debía tener en cuenta cinco aspectos fundamentales:

- 1 Los educadores, entrenadores y alumnos de Down Madrid estarían implicados de forma temprana en el proceso de desarrollo del videojuego, probándolo y validando/refutando las decisiones tomadas en la etapa de diseño y *game concept*²⁴.
- 2 El videojuego debía tener una estética realista. El entorno virtual debía corresponderse con el Metro de Madrid de la forma más detallada posible para que los usuarios pudieran reconocer y transferir más fácilmente lo que sucede en el videojuego al entorno real.
- 3 *Downtown* se desarrollaría para PC, utilizando el ratón como dispositivo de control, ya que son las herramientas tecnológicas que utilizan en el aula TIC de Down Madrid y que mejor se adaptan a las discapacidades de los usuarios desde el punto de vista motor.
- 4 Las reglas relacionadas con la discapacidad intelectual descritas en la Game Accessibility Guidelines (Ablegamers Foundation, 2012) y en la WCAG 2.1 (World Wide Web Consortium W3C, 2018) debían estar implementadas en el diseño del videojuego para asegurar su accesibilidad.
- 5 Las mecánicas de juego debían estar adaptadas a las discapacidades cognitivas de los alumnos.

²⁴ En la industria del videojuego, se denomina *Game Concept* al documento en el que se describen las características del juego, sus objetivos y la forma de jugar desde un punto de vista de alto nivel. Sirve para asegurarse de que todos los implicados en el diseño del juego estén alineados antes de comenzar el desarrollo.

Como resultado de las entrevistas, se elaboró el documento de diseño del videojuego o GDD, en el que se especificaron las mecánicas de juego en base a las restricciones cognitivas de los usuarios.

Downtown se compone de una trama principal y cinco minijuegos. El juego comienza permitiendo al jugador elegir un personaje, que puede personalizar a su gusto eligiendo la apariencia (cara, peinado) y la ropa (creando su avatar personalizado según sus preferencias). También puede ajustar los parámetros de juego relativos a la accesibilidad: música, efectos de sonido, textos, etc. y seleccionar el nivel de dificultad (ver Ilustración 18).

Una vez adaptado el juego y seleccionado el nivel de dificultad, el jugador comienza la aventura en un punto aleatorio de la red de Metro de Madrid. La trama principal sitúa al estudiante en el vestíbulo de una estación cualquiera del metro, en dónde un policía le pida ayuda para atrapar a *Malignus*, un malvado ladrón de joyas. El usuario tiene que adivinar dónde y cuándo va a cometer un robo siguiendo una serie de pistas. Cada pista se consigue en una estación distinta, y el jugador debe de dirigirse a ellas para buscarla. Conseguir una pista es una misión. La aventura se compone de sucesivas misiones que se encadenan hasta que se recopilan todas las pistas, se averigua dónde va a ser el robo y se detiene al malvado.

El juego cuenta con cuatro niveles de dificultad: fácil, medio, difícil y experto (ver Ilustración 19). Dependiendo del nivel de dificultad elegido, la ruta será más o menos complicada. El número de transbordos varía en función de la ruta elegida (ningún transbordo en el nivel fácil, uno en el nivel medio, dos en el nivel difícil y tres o más en el nivel experto).

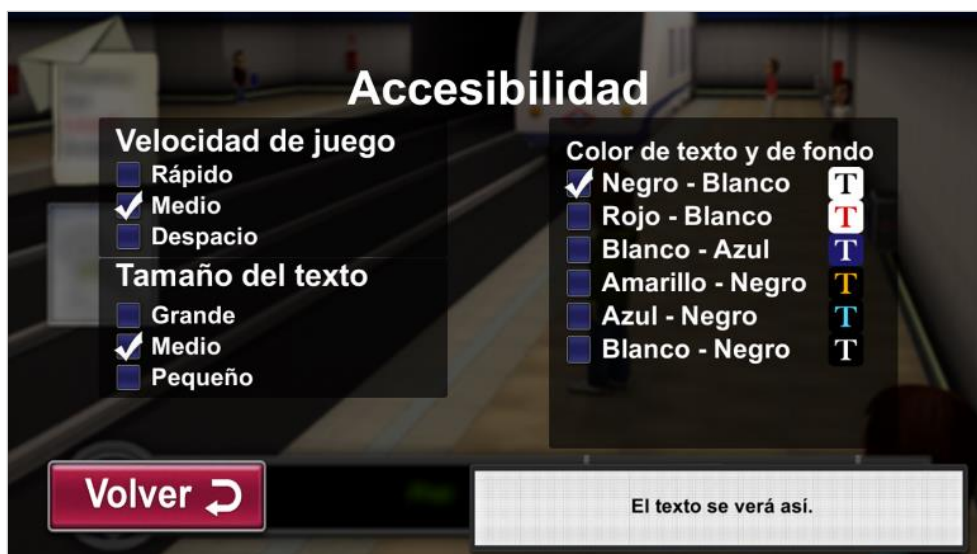


Ilustración 18: Opciones de textos y velocidad de juego en el menú de accesibilidad



Ilustración 19: Menú de selección de modo de juego y nivel de dificultad

Además, el juego incluye un modo *Sandbox* o de ruta de entrenamiento en el que los educadores pueden seleccionar el punto de inicio de la ruta y el destino, replicando así rutas que los usuarios tengan que realizar en la vida real.

Cuando el jugador alcanza su destino, aparece un minijuego que tiene que completar. A la finalización de cada minijuego se le proporcionará información adicional sobre cuál es su siguiente destino. Cada uno de los minijuegos está pensado para entrenar determinadas habilidades cognitivas básicas que suelen ser problemáticas para los usuarios con discapacidad.

Los minijuegos desarrollados junto con las habilidades que trabajan son los siguientes:

- **Minijuego del puzzle:** el usuario debe completar un puzzle en el que hay información sobre el destino a alcanzar. Entrena la visión espacial y la coordinación mano-ojo.
- **Minijuego de la caja fuerte:** está pensado para trabajar la memoria numérica a corto plazo, proporcionando una combinación de números que el jugador debe recordar.
- **Minijuego del Simon:** el videojuego presenta al usuario una secuencia de luces que tiene que replicar una vez terminada. Trabaja la memoria a corto plazo y la capacidad secuencial.
- **Minijuego de búsqueda:** el videojuego pedirá al usuario que busque un objeto escondido en el vestíbulo o en los pasillos de la estación en la que se encuentra. Mejora la capacidad de atención de los jugadores.
- **Minijuego de la cámara:** el usuario debe hacer una foto a los enemigos para poder capturarlos. Está pensado para mejorar la capacidad de reacción y la respuesta acción-reacción de los jugadores.

4.2. Integrar técnicas de analíticas de aprendizaje con juegos (Game Learning Analytics) para obtener realimentación sobre la experiencia de aprendizaje de los usuarios y evaluar los conocimientos adquiridos por cada jugador

En los artículos *Game Analytics Evidence-Based Evaluation of a Learning Game for Intellectual Disabled Users* (aceptado en proceso de publicación, 2019) y *Using Game Learning Analytics for Validating the design of a Learning Game for Adults with Intellectual Disabilities* (Cano et al., 2018) se describen las técnicas de GLA utilizadas para capturar y analizar la información de juego de los usuarios.

Las trazas de información se recogieron utilizando un *tracker* integrado en el juego. Dicho *tracker* es de código abierto y ha sido desarrollado por el proyecto H2020 RAGE (“RAGE Realising an Applied Gaming Eco-System,” n.d.). Su función consiste en enviar a un servidor remoto los datos de interacción del usuario para obtener información muy completa sobre su comportamiento dentro del juego y sus patrones de aprendizaje.

Todos los datos recopilados siguen el estándar xAPI (*Experience Application Programming Interface*), un estándar emergente utilizado para recopilar, almacenar y realizar informes sobre las interacciones de los usuarios en sistemas de aprendizaje (Serrano-Laguna et al., 2017).

xAPI proporciona un modelo de eventos que permite trazar de forma genérica las interacciones de un usuario en un juego serio. Este sistema permite trazar objetos de juego sobre los que el jugador puede realizar una o más interacciones, como iniciar o completar un nivel, aumentar o disminuir un objeto, seleccionar elementos del juego, etc. Todas las trazas tienen una estampación de tiempo (ver Ilustración 20). El conjunto de eventos que se pueden trackear son:

- *Completable* (completado): referido a una sesión de juego, nivel, misión, escenario, combate, etc. Los métodos utilizados son: *Initialized*, *Progressed* y *Completed*
- *Accessible* (accedido): pantalla, área o zona. Los métodos utilizados son: *Accessed* y *Skipped*
- *Alternative* (alternativa): preguntas, menús, diálogos, rutas o cualquier otra situación en la que el jugador tenga que elegir entre varias opciones. Los métodos utilizados son: *Selected* y *Unlocked*
- *TrackedGameObject* (objeto de juego): enemigos, NPC²⁵, ítem o cualquier otro objeto que aparezca en pantalla. Los métodos utilizados son: *Interacted* y *Used*.

²⁵ Un NPC o *Non-Player Character* es un término utilizado en videojuegos para referirse a los personajes que aparecen en pantalla que no son controlados directamente por el jugador

```

{
  "actor" : {
    "name" : "XXXX"
  },
  "verb" : {
    "id" : "http://adlnet.gov/expapi/verbs/progressed"
  },
  "object" : {
    "id" : "http://a2:3000/api/proxy/gleaner/games/<game-id>/<version-id>/Mission_1_Ex_ElMaletinMarron",
    "definition" : {
      "type" : "https://w3id.org/xapi/seriousgames/activity-types/quest",
    }
  },
  "result" : {
    "extensions" : {
      "https://w3id.org/xapi/seriousgames/extensions/progress" : 0.3333333
    }
  },
  "timestamp" : "2018-01-08T18:28:36.211Z"
}

```

Ilustración 20: Ejemplo de una traza recopilada por Downtown en la que se recoge información sobre el grado de avance (interacción) de un minijuego de búsqueda (objeto) llamado 'Mission_1_Ex_ElMaletinMarron'

El análisis del juego recopila dos tipos de observables: (1) datos relacionados con las opciones del juego y (2) datos relacionados con la interacción del usuario con el juego. El primer tipo permite a los investigadores conocer las necesidades de los usuarios relacionadas con la interfaz, según las características de su discapacidad, y el segundo proporciona información sobre su rendimiento mientras está jugando.

Downtown recopila prácticamente cualquier opción y cualquier interacción que el usuario realice en el juego. Algunos de los observables concretos junto con su traza de tiempo (*timestamp*) que se recogen para su posterior análisis son:

- **Nombre de usuario y edad:** cada usuario tiene un identificador único para guardar su progreso en el juego. De esta manera, el usuario puede guardar su avance en cualquier momento mientras está jugando y evitar repetir las actividades que ya ha realizado. El identificador también sirve para relacionar cada traza recopilada con el usuario que la genera, aunque este mapeo sólo puede ser realizado por los entrenadores de Down Madrid para garantizar la anonimidad de los datos.
- **Opciones de caracterización del personaje:** el jugador puede elegir su avatar cada vez que inicia una partida. Recopilando estos observables se quiere comprobar la creencia que hay entre los autores de que la transferencia de conocimiento del videojuego a la realidad es más eficiente si el usuario se identifica con el personaje que aparece en pantalla. Para verificar esta información también se recogió información sobre el aspecto físico de cada alumno en el formulario de caracterización del usuario, para posteriormente compararlo con el avatar seleccionado y su comportamiento en el videojuego (ver Ilustración 21). Hay que hacer notar que siguiendo las recomendaciones

de los psicólogos de Down Madrid en el juego se podía configurar un avatar con rasgos Down.



Ilustración 21: Menú de selección de avatar

- **Opciones de accesibilidad:** el juego guarda automáticamente las opciones de accesibilidad elegidas por el usuario. De esta manera, no es necesario parametrizar el juego cada vez que se inicia una partida y se pueden cotejar las necesidades de accesibilidad elegidas con cada tipo de discapacidad.
- **Nivel de dificultad:** el usuario selecciona el nivel de dificultad al comienzo de cada partida tal y como se explica en la sección 4.1. Una de las formas de analizar la información recopilada es por niveles. Consideramos interesante evaluar la evolución de los jugadores según el videojuego va aumentando de dificultad. También da información sobre el alcance máximo al que un usuario puede aspirar en el entrenamiento in situ (por ejemplo, si el usuario no es capaz de alcanzar un destino con dos trasbordos, es probable que en el entrenamiento en el metro deba realizar rutas de un trasbordo como máximo).
- **Tiempo total de juego:** recopilando el tiempo total de juego durante varias sesiones, podemos evaluar la evolución del jugador en cuanto a la destreza utilizando los controles de juego, la comprensión de las tareas, la adecuación de la interfaz o la aplicación de conceptos adquiridos durante el entrenamiento a las actividades propuestas por el videojuego.

- **Tiempo de inactividad:** recopilar la información sobre el tiempo que el usuario ha estado inactivo dentro del juego es tan importante como el tiempo que tarda en realizar una tarea. Dado que los eventos en *Downtown* se lanzan automáticamente y de forma secuencial, si el juego no lanza ningún evento, el usuario no pulsa sobre ningún elemento en pantalla o, por el contrario, pulsa de forma aleatoria podemos asumir que el jugador está ‘inactivo’. Este hecho puede significar una falta de motivación por parte del usuario o una falta de adecuación de las tareas que propone el juego a sus capacidades. Para corroborar estos periodos de inactividad, se cotejaron las trazas de tiempo en las que el usuario no estaba interactuando con el videojuego con los vídeos grabados en las sesiones de prueba y se descartaron aquellos periodos en los que los jugadores iban al baño o esperaban ayuda de los entrenadores.
- **Tiempo que tarda el usuario en resolver una tarea, misión o minijuego y número de intentos antes de completar la tarea:** dado que cada tarea está diseñada para reforzar una habilidad concreta, como la memoria a corto plazo o la toma de decisiones, recopilar los tiempos de ejecución de las mismas da una idea sobre la capacidad del alumno con respecto a esa habilidad y su evolución tras varias sesiones de juego.
- **Estación de inicio, destino y ruta elegida:** dado que la finalidad del videojuego es que los jugadores aprendan a utilizar la red de Metro de forma independiente, es necesario recoger el detalle de la ruta elegida para llegar desde una estación de inicio hasta el destino, así como los transbordos realizados y las estaciones en las que el usuario se baja del vagón.
- **Número de clicks en los elementos de la interfaz:** el *tracker* recoge información sobre la frecuencia con la que el jugador pulsa sobre los elementos interactivos en la interfaz. Con estas trazas comprobamos, por un lado, que el diseño basado en las recomendaciones descritas por la Game Accessibility Guidelines (Ablegamers Foundation, 2012) y la WCAG 2.1 (World Wide Web Consortium W3C, 2018) es adecuado a las necesidades de los usuarios y por otro, evaluamos en nivel de ayuda que necesita el alumno para completar las tareas propuestas por el juego (ver Ilustración 22).

Mientras el usuario está jugando, el *tracker* envía las trazas de información un servidor en línea que las almacena y dónde se realizan diferentes análisis en cuasi-tiempo real para los diferentes destinatarios (e.g. educador, investigador/desarrollador). En base a esos análisis el servidor proporciona visualizaciones sobre el comportamiento de los usuarios que están jugando en ese momento desde un punto de vista colectivo, o informes individualizados para cada usuario.



Ilustración 22: El usuario puede consultar el teléfono móvil y el mapa de Metro en cualquier momento durante el desarrollo de una misión.

Los entrenadores e investigadores monitorearon estas visualizaciones agrupadas en cuadros de mando durante las sesiones, para proporcionar identificar usuarios con problemas y proporcionarles ayuda mientras jugaban a *Downtown*. Dadas las barreras comunicativas que tienen este tipo de usuarios, seguir su actividad dentro del videojuego a través de una fuente indirecta, como los *dashboards* del servidor, proporciona a los investigadores y entrenadores información valiosa sobre el aprendizaje del usuario.

4.3. Validar las decisiones de diseño (mecánicas, dinámicas y estéticas), incluidas en *Downtown* a través del uso de GLA, asegurando la adecuación de las tareas del juego a las capacidades cognitivas de los usuarios desde fases tempranas del desarrollo

El proceso de validación de *Downtown, Aventura en el Metro* se describe en Cano et al. (Ana R. Cano et al., 2018). Para validar el diseño de *Downtown*, realizamos unas sesiones de prueba en las instalaciones de Down Madrid en las que participaron 51 adultos de entre 19 y 41 años con diversas discapacidades intelectuales (predominando Síndrome de Down con y sin rasgos de TEA y con discapacidad intelectual moderada). Las sesiones consistieron en jugar al videojuego durante un total de tres horas, repartidas en tres sesiones de una hora para que encajara en su programa formativo y evitar el agotamiento o desmotivación de los jugadores (típicamente les cuesta mantener el interés en una tarea durante largos periodos de tiempo).

Dado que el videojuego está diseñado para estudiantes medianamente funcionales (Medium Functioning o MF) y altamente funcionales (High Functioning o HF), el primer paso para identificar a los usuarios era que los entrenadores de la Fundación completaran un formulario de

caracterización del usuario (ver Ilustración 23). Los usuarios considerados no funcionales (Low Functioning o LF) quedaron descartados para las sesiones de prueba.

La información recopilada en el formulario de caracterización del usuario cubre tres aspectos principales que influyen en el proceso de aprendizaje: (1) las funciones neurocognitivas, basadas en los seis dominios definidos por la Administración de la Seguridad Social Americana (OIDAP Occupational Information Development Advisory Panel, n.d.)²⁶, (2) la experiencia previa en el uso de la red de transporte público y (3) la experiencia en el uso de la tecnología y los videojuegos.

Formulario de Caracterización del Usuario

Datos de Usuario y Características Morfológicas

ID de Usuario: _____

Edad: _____

Sexo: Hombre Mujer

Apariencia: Pelo largo Pelo corto

Rubio Moreno Castaño Pelirrojo

Con vello facial Sin vello facial

Funciones Neurocognitivas (escala SSA)

1. En base a su experiencia profesional, ¿cómo valoraría los siguientes aspectos relativos al alumno?

	Muy Bajo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Alto (4)	Muy Alto (5)
Capacidades Cognitivas Generales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habilidades relativas al lenguaje y comunicación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Capacidad de aprendizaje y memorización	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nivel de atención	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Capacidad de procesamiento de información	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Funciones ejecutivas y motoras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Según su opinión profesional ¿Cuál es el nivel de Lectoescritura del alumno? (en base a los niveles establecidos por la IFLA)

Muy Bajo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Alto (4)	Muy Alto (5)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. ¿Cuál es el nivel de autonomía personal del alumno?

Muy Bajo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Alto (4)	Muy Alto (5)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Experiencia previa en el metro

4. ¿Ha participado el alumno en algún programa de entrenamiento en movilidad?

Sí No

Experiencia previa en el uso de la tecnología

5. ¿Juega el usuario habitualmente a videojuegos?

Sí No

6. Según su valoración como experto, ¿Cuál es el nivel de destreza que tiene el alumno a la hora de manejar aparatos tecnológicos (un ordenador, una Tablet, un teléfono móvil)?

Muy Bajo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Alto (4)	Muy Alto (5)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ilustración 23: Formulario de caracterización del usuario

Todas las sesiones fueron grabadas en vídeo para poder cotejar la información capturada a través del *tracker*, ya que era necesario revisar los datos y contrastarlos con la experiencia real de lo que estaba sucediendo en el aula. Esta grabación era sólo un medio de poder comprender mejor situaciones anómalas y que no se pudieran entender completamente mediante el análisis de datos. No se pretendía hacer un análisis detallado del video ya que es un procedimiento muy costoso,

²⁶ Los seis dominios relevantes para la SSA son: la capacidad cognitiva/intelectual general, lenguaje y comunicación, memoria, atención, velocidad de procesamiento y funcionamiento ejecutivo.

poco escalable y muy dependiente de la experiencia del codificador y, por lo tanto, poco generalizable a otros experimentos.

Los usuarios se dividieron aleatoriamente en seis grupos, dependiendo de su disponibilidad horaria. Los individuos de cada grupo eran heterogéneos y contaban con diferente cociente intelectual, distintas competencias cognitivas y un grado de autonomía variable. De los participantes incluidos en el estudio, el 58.8% tenían Síndrome de Down mientras que el 41.2% contaban con otro tipo de discapacidad intelectual, como discapacidad intelectual moderada (MID) o Trastornos del Espectro Autista. Nótese que, como comentábamos en la sección 2.2, algunos participantes con Down presentaban la co-ocurrencia de otros tipos de discapacidades cognitivas añadidas.

Los participantes comenzaban la sesión de juego escuchando una breve introducción sobre aspectos prácticos del juego: los controles, las opciones de accesibilidad, la interfaz, etc. una vez terminada, se asignaba un identificador único en papel a cada estudiante que permitía anonimizar los datos, de manera que los entrenadores de Down Madrid eran los únicos que podían asociar la información recopilada con cada alumno en particular. Los entrenadores de Down Madrid disponían de la lista que relaciona el identificador con el nombre del participante. Este un proceso de pseudo-anonimización en origen que garantiza la confidencialidad del participante.

Una vez introducido el identificador de usuario, los alumnos comenzaban a jugar parametrizando las opciones de accesibilidad y el avatar de juego. Todos los usuarios comenzaron a jugar en el nivel fácil y se les permitía subir de nivel una vez hubieran completado todas las tareas propuestas por el juego. Los usuarios jugaron a *Downtown* durante tres horas, independientemente del tiempo que tardaran en finalizar los niveles de juego (algunos usuarios sólo llegaron al nivel Medio mientras que otros repitieron varias veces el nivel Experto).

Para analizar la efectividad del juego como herramienta educativa se propusieron varias hipótesis que fueron analizadas aplicando las técnicas de Game Learning Analytics descritas en la sección 4.2 a las trazas recopiladas por el juego. Las hipótesis, junto con su proceso de validación, se presentan en (Cano et al., 2018) y cubren aspectos como la motivación de los usuarios a la hora de enfrentarse a las tareas propuestas (midiendo los periodos de inactividad media) o si la identificación con el avatar es un factor relevante en la motivación o en la adquisición de conocimientos (comparando el personaje elegido con el propio jugador y evaluando su evolución durante la consecución de las tareas).

Posteriormente, se realizó una segunda fase piloto en la que cuatro usuarios alternaron sesiones de juego con entrenamiento in-situ en la red de Metro. Los entrenadores compararon su comportamiento en el metro con el de otros estudiantes que no habían jugado previamente al videojuego a través de unos formularios. Como se ha mencionado previamente esta segunda fase no forma parte del trabajo de tesis y se considera una futura línea de investigación, ya que el entrenamiento in-situ se realiza anualmente en grupos muy pequeños. Para confirmar las diferencias entre el comportamiento de ambos grupos de alumnos, es necesario ampliar la muestra (y este es un proceso que llevará varios años).

4.4. Proponer un proceso de validación que permita replicar el modelo de desarrollo de Downtown en otros videojuegos educativos cuyo público objetivo sean usuarios con discapacidad intelectual y/o presenten deficiencias en el proceso de comunicación

En *GLAID: Designing a Game Learning Analytics Model to Analyze the Learning Process in Users with Intellectual Disabilities* (Cano, García-Tejedor & Fernández-Manjón, 2017) se propone un primer modelo de diseño y desarrollo de Serious Games para usuarios con discapacidad intelectual.

El modelo propuesto está basado en una particularización del *Analytics Framework* desarrollado en la industria de Big Data (ver Ilustración 24) que consta de tres pasos: (1) a partir de un conjunto de observables se realiza un análisis descriptivo de los datos (encontrar patrones, relacionar variables, buscar diferencias entre grupos), (2) posteriormente se agrupan los datos relacionados entre ellos para analizar los resultados y (3) por último, a partir del análisis anterior se puede predecir el comportamiento futuro de los objetos analizados.

En el caso del modelo propuesto, se realiza un paso previo a la selección de los observables a analizar: a partir de las características cognitivas de los usuarios, se elabora una lista de requerimientos que van a impactar directamente en el diseño del videojuego. Este proceso implica la existencia de dos actores involucrados: los desarrolladores del juego y los entrenadores.

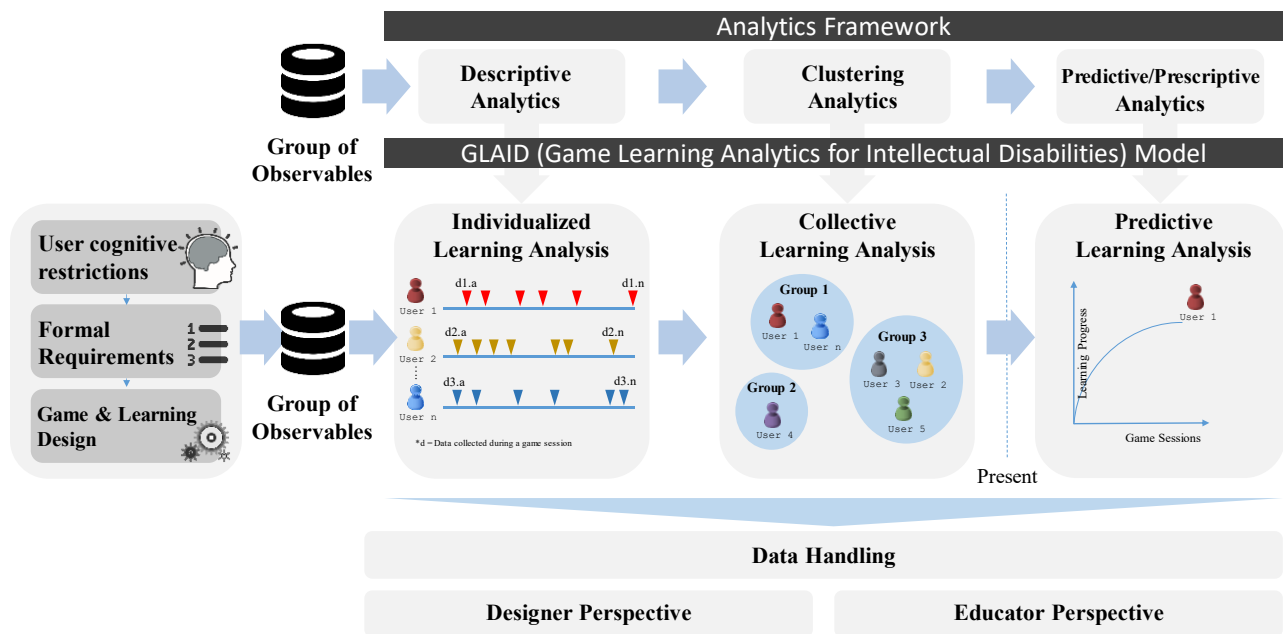


Ilustración 24: Etapas del modelo GLAID (Game Learning Analytics for Intellectual Disabilities)

Los educadores son los responsables del diseño educativo del juego como fijar los objetivos de aprendizaje e identificar las barreras que van a impactar en el diseño del juego. Los desarrolladores, por su parte, son los encargados de traducir esos objetivos en mecánicas y dinámicas adaptadas a los jugadores (Hunicke et al., 2004). Con ambos objetivos en mente, se elige una lista de observables que permitan crear constructos para realizar el análisis de cómo están aprendiendo los estudiantes en base a los datos capturados, desde un punto de vista tanto individual como colectivo.

Este proceso, propuesto en 2016, fue una adaptación a los desarrollos para discapacidad intelectual de los LAMs (*Learning Analytics Model*) descritos en la sección 2.4.1.

En *Game Analytics Evidence-Based Evaluation of a Learning Game for Intellectual Disabled Users* (aceptado en proceso de publicación, 2019) se especifican los pasos a seguir en el proceso de validación de *Downtown*. Utilizando este proceso se presenta como se pueden validar las decisiones tomadas en la etapa de diseño del juego y cómo es posible identificar fallos en la implementación del juego, que son complicados de encontrar utilizando métodos observaciones tradicionales o incluso pruebas con usuarios (beta-testing).

Los pasos a seguir para la validación de *Downtown* están descritos en el artículo y se corresponden con la Ilustración 25. Este proceso es aplicable a la mejora y validación de un amplio rango de videojuegos educativos que tengan como público objetivo a usuarios con discapacidad intelectual.

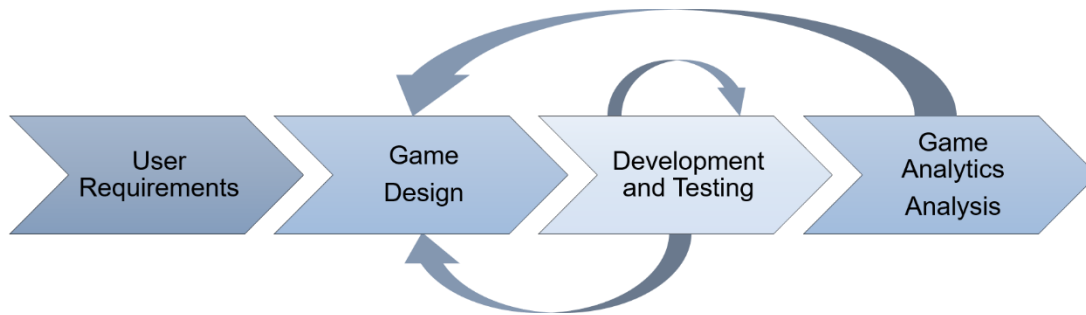


Ilustración 25: Proceso de validación de diseño del videojuego Downtown

- **Requerimientos de usuario:** los educadores/entrenadores definen las características cognitivas (habilidades, barreras, condicionantes motores, etc.) de los usuarios para posteriormente elaborar una lista de requerimientos que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar el videojuego. Estas características determinan los objetivos educativos que se pretenden conseguir jugando al videojuego.
- **Diseño del videojuego y mecánicas:** A partir de los requerimientos, los investigadores/desarrolladores realizan el diseño del videojuego, que normalmente se recoge en el documento de diseño o GDD. Este diseño se traduce en una serie de mecánicas de juego con las que el alumno interactuará con el videojuego. Los objetivos del juego no son más que la consecución de las mecánicas (por ejemplo, el objetivo de un minijuego es acertar la combinación de una caja fuerte memorizando los números. La mecánica correspondiente consiste en mostrar en pantalla una caja fuerte con un teclado en el que el jugador introducirá la clave que pide el juego). Los datos de interacción del juego son recogidos por un *tracker* y enviados a un servidor externo para su almacenamiento, análisis y visualización, tal y como se describe en la sección 4.2.
- **Desarrollo del videojuego y pruebas de usuario:** Cuando las mecánicas de juego están establecidas, el siguiente paso es comenzar con el desarrollo. El proceso de desarrollo ha de ser iterativo y ha de involucrar de forma temprana a los usuarios, para que vayan testando las mecánicas antes de obtener un producto final (evaluación formativa con usuarios para mejorar el producto).
- **Análisis de analíticas:** El sistema de analíticas utilizado (el *tracker* basado en xAPI y el servidor de análisis y visualización en el caso de *Downtown*) permitirá a los expertos validar o descartar cada una de las mecánicas elegidas a partir del análisis de los datos capturados en el proceso de juego. En un escenario ideal, el producto final sería el juego

definitivo que es el resultado del proceso iterativo de desarrollo, una vez refinado, e idealmente probado por un número suficiente de usuarios finales.

Capítulo 5: Conclusiones y trabajo futuro

En este capítulo se resumen, a modo de conclusión, las principales aportaciones realizadas en este trabajo de tesis. Además, se esbozan algunas líneas de investigación que quedan abiertas y que se plantean como trabajo futuro.

5.1 Conclusiones y principales aportaciones

La principal aportación de esta tesis es la propuesta de un proceso de validación de diseño de videojuegos educativos para usuarios con discapacidad intelectual, utilizando técnicas de Game Learning Analytics. Además, se ha desarrollado un caso de estudio complejo sobre el que se ha aplicado el modelo de validación para ilustrar y testar el proceso completo.

Las ventajas que se obtienen de la aplicación del modelo propuesto son:

1. Asegurar la adecuación de las mecánicas de juego a las características cognitivas y habilidades de los usuarios con discapacidad intelectual
2. Asegurar la accesibilidad, optimizar el tiempo y reducir el coste de desarrollo de juegos serios para alumnos con discapacidad intelectual

Esto supone que el proyecto se ha enfocado desde dos perspectivas diferentes: la del educador, que es el responsable de definir los objetivos de aprendizaje en el diseño del juego y de que estén pensados teniendo en cuenta las habilidades de los alumnos, y la del investigador o desarrollador, cuya principal tarea es asegurar la accesibilidad del videojuego a las capacidades del usuario a la vez que optimiza el proceso de diseño y desarrollo.

El primer paso de la tesis fue realizar un estudio del dominio. Tal y como describimos en el capítulo 2, analizamos más de cien artículos en los que se describía el proceso de desarrollo y/o las pruebas realizadas con usuarios con diversos tipos de discapacidades intelectuales. Como resultado del estado del arte, obtuvimos una amplia perspectiva de los principales problemas a los que se enfrentan este tipo de jugadores cuando van a utilizar un videojuego educativo, así como algunas de las soluciones existentes o buenas prácticas. Cabe destacar que, a pesar de haber realizado una búsqueda metódica, no existe un gran número de estudios en este campo con resultados objetivos basados en datos. La mayoría de los resultados eran conclusiones sacadas a partir de métodos observacionales o encuestas lo que, al menos en parte, limita la reproducibilidad y su generalización a otros casos.

Partiendo del estudio del dominio, planteamos la necesidad de incorporar analíticas al proceso de desarrollo de los juegos serios para personas con discapacidad intelectual. Incorporar técnicas de Game Learning Analytics es el primer paso para plantear un modelo de validación de videojuegos educativos basado en datos, que sea estandarizable y aplicable a otros desarrollos para este colectivo. Para lograr el objetivo que plantea este trabajo de tesis, ha sido necesario la consecución de cada uno de los sub-objetivos descritos en el capítulo 3, que consisten en el desarrollo de una prueba de concepto, la aplicación de técnicas de Game Learning Analytics al mismo y la propuesta de un proceso de validación basado en el desarrollo del videojuego *Downtown*.

Para la consecución del primer sub-objetivo se desarrolló la prueba de concepto *Downtown, Aventura en el Metro*, realizando la reingeniería de un videojuego planteado en colaboración con la Fundación Síndrome de Down de Madrid en el que los jugadores aprenden a moverse por la red de Metro de Madrid utilizando el videojuego. Este Serious Game forma parte del entrenamiento en movilidad que se realiza en la Fundación, junto con el entrenamiento in-situ en el Metro de Madrid. Gracias a este videojuego los alumnos pueden entrenar situaciones complicadas, como pasarse de parada, coger el tren en dirección contraria, o perder el abono de transporte, antes de enfrentarse a la situación real, adquiriendo confianza y practicando estrategias de resolución de las mismas.

Para la consecución del segundo sub-objetivo, se ha incorporado al juego un *tracker* cuya funcionalidad es la recopilación de trazas de información. De esta manera, cuando el usuario está jugando al juego, el *tracker* recoge todos los datos de interacción y del estado del juego y los envía a un servidor que los almacena y permite analizar, desde diferentes puntos de vista, el comportamiento del alumno en el juego. Los datos recopilados siguen el estándar xAPI, estándar emergente propuesto por el Departamento de Defensa de Estados Unidos y utilizado para enviar información del usuario entre sistemas de aprendizaje heterogéneos.

El hecho de que los datos o trazas de interacción estén en formato xAPI facilita su procesamiento y la disposición de análisis por defecto en el servidor. Los informes realizados por el servidor pueden ser visualizados en cuasi-tiempo real, lo que significa que los alumnos pueden ser monitoreados por los educadores mientras están jugando al juego. Así, los educadores pueden ofrecer ayuda e incluso, si fuera necesario, modificar la experiencia de aprendizaje en el aula en el mismo momento.

El tercer sub-objetivo consiste en validar las decisiones de diseño incluidas en *Downtown*. Para ello, realizamos seis sesiones de prueba en la que participaron cincuenta y un estudiantes del aula TIC de la Fundación y seis entrenadores, expertos en entrenamiento en transporte. Los usuarios

jugaron durante tres horas al videojuego, repartidas en varias sesiones de juego, y se capturaron sus datos de interacción. Dichos datos fueron analizados, en base a las recomendaciones de los entrenadores de Down Madrid para verificar aspectos como posibles problemas con la interfaz de juego, la adecuación de los controles a las necesidades motoras de los usuarios o las diferencias de juego entre distintos grupos de usuarios.

Posteriormente se realizó una segunda fase piloto en la que cuatro usuarios alternaron sesiones de juego con entrenamiento in-situ en la red de Metro. Los entrenadores compararon su comportamiento en el metro con el de otros estudiantes que no habían jugado previamente al videojuego. Aunque esta fase no forma parte de este trabajo de tesis es muy importante, ya que, aunque se haya hecho con un número muy limitado de usuarios, cierra todo el proceso de validación y abre la puerta a seguir dicha validación en años posteriores (como se describe en el trabajo futuro)

Por último, la consecución del cuarto sub-objetivo se consigue gracias a la definición de un proceso basado en los pasos que hemos seguido para desarrollar y validar *Downtown*, con lo que se logra cumplir el objetivo global definido en esta tesis. En un primer momento, se definió el modelo de diseño y desarrollo denominado GLAID (Game Learning Analytics for Intellectual Disabilities). Este modelo sirvió de base para la reingeniería de *Downtown*. Posteriormente, refinamos el proceso de validación, lo que da lugar a una serie de pasos necesarios para asegurar la adecuación de las mecánicas diseñadas, que se traduce en un proceso de validación aplicable a un amplio rango de juegos serios diseñados para personas con discapacidad intelectual.

5.2 Trabajo futuro

Tras la elaboración de esta tesis doctoral, se han identificado nuevos retos que sirven como continuación del proyecto de investigación que hemos llevado a cabo. En esta sección se describe brevemente las líneas de trabajo futuro que consideramos más relevantes:

- **Aumento del tamaño de la muestra.** Una vez realizada la validación de la prueba de concepto en el aula, se llevó a cabo una segunda fase piloto en la que cuatro estudiantes de Down Madrid jugaron al videojuego y, a su vez, realizaron el entrenamiento in-situ en el Metro de Madrid. Las sesiones tuvieron lugar durante los meses de Diciembre y Enero del 2018 con la ayuda del Servicio de Responsabilidad Corporativa del Metro de Madrid (ver Ilustración 26). Para continuar con la validación del videojuego y poder afirmar su efectividad como herramienta educativa sería necesario aumentar el número de

participantes en esta segunda fase e incluir un método de validación no solo del videojuego, sino de la experiencia de aprendizaje global.



Ilustración 26: Alumnos de Down Madrid realizando el entrenamiento en el Metro de Madrid

- **Generalización del modelo propuesto.** Otro problema que se plantea es verificar que el modelo de validación propuesto es aplicable a otros desarrollos para personas con discapacidad intelectual. *Downtown* es un videojuego complejo, en el que con la reingeniería se han invertido más de tres años de trabajo de desarrollo. Cuenta con cinco minijuegos adicionales, a los cuales hemos aplicado el mismo proceso de validación. Sin embargo, sería deseable corroborar los beneficios (adecuación al usuario y reducción de tiempo y coste de desarrollo) del modelo propuesto en otro desarrollo similar a *Downtown*. También sería interesante analizar hasta qué punto el modelo que proponemos puede ser aplicable a desarrollos dirigidos a usuarios con otros tipos de discapacidades como ceguera o sordera.
- **Ampliación del análisis de datos.** En *Downtown* se han recopilado más de ciento sesenta mil trazas, de las cuales, pero como en todos los procesos de analíticas se ha hecho una selección de las más prometedoras de modo que muchas de ellas no se han explotado completamente. Para validar el videojuego, hemos partido de una serie de hipótesis planteadas por los entrenadores de *Down Madrid*. Este análisis se ha realizado sobre los informes colectivos de los usuarios. Sin embargo, esto se podría ampliar ya que, por ejemplo, no se han realizado análisis que den resultados más individualizados sobre la experiencia de aprendizaje de cada uno de los estudiantes.

- **Generación de análisis predictivos.** Esta tarea surge a raíz de la línea de trabajo anterior. A partir del análisis individualizado o agrupado por parámetros como el tipo de discapacidad, la autonomía funcional o el grado de experiencia previa, se podrían observar patrones de aprendizaje comunes. Este análisis podría utilizarse para personalizar la experiencia educativa de cada uno de los usuarios dependiendo de sus capacidades y de las restricciones propias de su discapacidad. Cabe destacar que este análisis habría que hacerlo garantizando más si cabe los estándares éticos y siempre en estrecha colaboración con los formadores de Down Madrid y las familias, ya que puede malinterpretarse como una clasificación cognitiva fija de los usuarios que es contraria a la idea de mejora de sus capacidades con el entrenamiento.

- **Aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial.** Como trabajo futuro, sería interesante analizar si la aplicación de *machine learning*²⁷ a los datos obtenidos con técnicas de Learning Analytics podrían optimizar el proceso de desarrollo, reduciendo el número de iteraciones de prueba con el usuario. Usando estas técnicas el juego podría ‘aprender’ cómo se produce la interacción videojuego-usuario y adecuar los niveles de juego, optimizar las rutas en función del proceso de aprendizaje o seleccionar los minijuegos que el usuario tiene que resolver. Esto pasaría por encontrar una forma sistemática de definir el menor conjunto de datos de entrenamiento necesario (que puede ser muy dependiente del juego e incluso del algoritmo concreto utilizado).

²⁷ Se denomina *Machine Learning* a la disciplina de la Inteligencia Artificial que crea sistemas que aprenden automáticamente a partir del análisis de los datos que se les suministran, sin necesidad de ser programados específicamente para ello

Capítulo 6: Artículos presentados

En este capítulo se incluyen los seis artículos aportados como parte fundamental de esta tesis doctoral.

6.1 A literature review of Serious Games for intellectual disabilities

6.1.1 Cita completa

Cano A.R., García-Tejedor Á.J., Fernández-Manjón B. (2015) **A Literature Review of Serious Games for Intellectual Disabilities**. In: Conole G., Klobučar T., Rensing C., Konert J., Lavoué E. (eds) *Design for Teaching and Learning in a Networked World. Lecture Notes in Computer Science*, vol 9307, pp 560-563. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-24258-3_59. ISBN: 978-3-319-24257-6

6.1.2 Resumen original de la publicación

Our review examines the literature on Serious Games used as learning tools for people with intellectual disabilities. Although intellectual disabilities are a very broad field where each individual has very specific characteristics, it would be beneficial to have general evidence-based recommendations about how to design videogames adapted to their cognitive requirements. Thus, the first step of our investigation is to identify and review the available literature on Serious Games for intellectual disabilities classifying them according to the learning outcomes associated. Search terms identified 43 papers covering this topic and our review presents the initial results. A second aim is to understand the mechanics designed, the methods used in the investigation and the data obtained. The final goal is to identify what is working in this kind of games and how this can be generalized into a methodology to simplify the creation of more effective games for people with intellectual disabilities.

6.1.3 Referencias de citas bibliográficas

(Alves et al., 2013); (Karal et al., 2010); (Davis, 2008); (Lecavalier et al., 2011); (Connolly et al., 2012); (Wouters et al., 2009)

A Literature Review of Serious Games for Intellectual Disabilities

Ana R. Cano^{1(✉)}, Álvaro J. García-Tejedor², and Baltasar Fernández-Manjón¹

¹ Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain
anarcano@ucm.es, balta@fdi.ucm.es

² Universidad Francisco de Vitoria, Madrid, Spain
a.gtejedor@ceiec.es

Abstract. Our review examines the literature on Serious Games used as learning tools for people with intellectual disabilities. Although intellectual disabilities are a very broad field where each individual has very specific characteristics, it would be beneficial to have general evidence-based recommendations about how to design videogames adapted to their cognitive requirements. Thus, the first step of our investigation is to identify and review the available literature on Serious Games for intellectual disabilities classifying them according to the learning outcomes associated. Search terms identified 43 papers covering this topic and our review presents the initial results. A second aim is to understand the mechanics designed, the methods used in the investigation and the data obtained. The final goal is to identify what is working in this kind of games and how this can be generalized into a methodology to simplify the creation of more effective games for people with intellectual disabilities.

Keywords: Serious games · Intellectual disabilities · Cognitive disabilities · Educational games · Autism spectrum disorder · Down syndrome

1 Introduction

The use of educational or therapeutic videogames for people with intellectual disabilities is still a relatively unexplored field. Even though intellectual disabilities are a very broad and diverse field where each individual has very specific characteristics, it would be beneficial to have general evidence-based recommendations about how to design videogames adapted to their cognitive features. To pursue this goal, the purpose of this paper is to identify and review the available literature on Serious Games for intellectual disabilities and classify the research found according to the learning outcomes associated to them. A second aim would be to understand the mechanics designed, the methods used in the investigation and the data obtained.

2 Serious Games for Intellectual Disabilities

Even though the different intellectual disabilities have similarities, it is not possible to standardize common requirements of all impairments and reflect them in the design of a videogame's mechanics. The result is that not all Serious Games are suitable as learning tools for all disabled game players [1, 2] so we are interested in identifying those articles referred to two concrete disabilities: ASD (Autistic Spectrum Disorder) and DS (Down Syndrome) for three reasons:

1. Down Syndrome is the most common genetic disorder found in newborns and the most common intellectual disability associated with mental impairments. The prevalence of Down syndrome has been reported to occur in about 1 out of every 600 live births [3].
2. ASD comprises a group of conditions within the category of developmental disorders. Due to its heterogeneity of symptoms, ASD is the disorder with the largest number of scientific investigations among the intellectual disabilities [4].
3. There are a large number of associations in Spain and US dedicated to ASD and DS (separately) that can provide us advice about the characteristics, skills, attitudes and behavior of each group and provide users for the actual game testing.

3 Method

To examine the available literature in Serious Games we applied a similar approach to the used by Connolly et al. [5]. First, we selected the databases that are relevant in the topic of this article: Computer Science, Psychology, Medicine and Science in general. All of them were accessed in their electronic format.

Secondly, we identified three groups of search terms that combined helps us to perform an accurate search in databases referred to the technology, the subject and our particular interest in game design and development methodologies. The final query used in the databases included terms like "videogame", "intellectual disability", "down syndrome" or "autism"¹

As a result of the search we obtained 498 studies but not all of them were relevant for the purpose of our investigation so we applied the following selection criteria in order to choose which articles include in our review:

1. The purpose of the study is to test the acquisition of knowledge through videogames designed or adapted considering specific needs of a particular intellectual disability or a common feature in people with intellectual disabilities in general.
2. The purpose of the study is to identify patterns and behaviors in the use of videogames in people with intellectual disabilities.
3. The purpose of the study is to apply a methodology in the design or development of videogames for a particular intellectual disability or intellectual disabilities in general.

¹ Note that each database has its own nomenclature. We adapted the query to each database's search requirements without removing any search term.

In addition, we discarded the studies that do not appear in scientific publications and those published before 2005. Those papers that do not report an empirical evidence of the results has been included only when the results show relevant behaviors of the users or when best practices are identified.

We obtained 43 papers to include in our review following the method previously described.

4 Classification of the Studies and Future Work

The studies included in our review are classified as follows: First, we determined the purpose of the investigation in accordance to one of our three inclusion criteria. Second, we applied the taxonomy described by Wouters [6] to those studies which purpose is to learn a skill (Fig. 1).

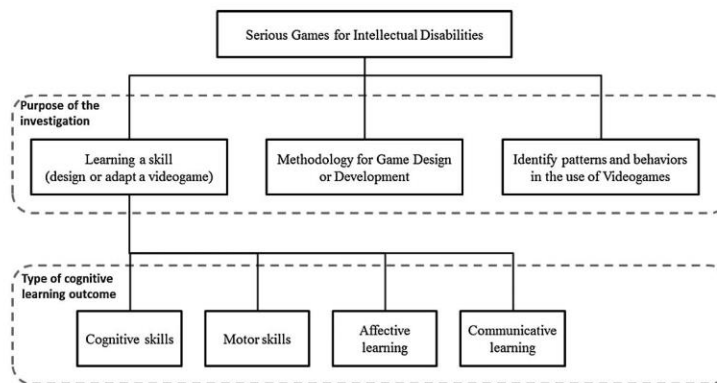


Fig. 1. Classification scheme of the studies included in the review

We provide an outline of the research available on Serious Games for intellectual disabilities by reviewing and classifying these 43 studies according to the purpose of the investigation and the learning outcomes associated to them. We think that the literature available is still insufficient because the majority of the studies do not provide empirical results that can be collected in a best-practice guide for developing Serious Games for intellectual-disabled people.

Our review is only a first step to obtain guidelines for creating more effective games for users with intellectual disabilities. Next step would be the identification, compilation, implementation and test of the best practices using a proof of concept. These best practices will be a mix of lessons learned identified in the review and our own assumptions.

Once we test the mock-up with our design assumptions, our final goal consists on describing a methodology that can be generalized to simplify the development of more effective Serious Games for people with intellectual disabilities.

Acknowledgments. The e-UCM research group has been partially funded by Regional Government of Madrid (eMadrid S2013/ICE-2715), by the Complutense University of Madrid (GR3/14-921340), by the Ministry of Education (TIN2013-46149-C2-1-R), by the RIURE Network (CYTED 513RT0471) and by the European Commission (RAGE H2020-ICT-2014-1-644187).

References

1. Alves, S., Marques, A., Queirós, C., Orvalho, V.: LIFEisGAME prototype: a serious game about emotions for children with autism spectrum disorders. *PsychNology J.* **11**(3), 191–211 (2013)
2. Karal, H., Kokoç, M., Ayyıldız, U.: Educational computer games for developing psychomotor ability in children with mild mental impairment. *Procedia Soc. Behav. Sci.* **9**, 996–1000 (2010)
3. Davis, A.: Children with Down Syndrome: implications for assessment and intervention in the school. *Sch. Psychol. Q.* **23**(2), 271–281 (2008)
4. Lecavalier, L., Snow, A., Norris, M.: Autism spectrum disorders and intellectual disability. In: Matson, J.L., Sturmey, P. (eds.) *International Handbook of Autism and Pervasive Developmental Disorders. Autism and Child Psychopathology Series*, pp. 37–51. Springer, Heidelberg (2011)
5. Connolly, T.M. et al.: A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Comput. Educ.* **59**(2), 661–686 (2012)
6. Wouters, P., van der Spek, D., van Oostendorp, H.: Current practices in serious game research: a review from a learning outcomes perspective. In *Games-Based Learning Advancements for Multi-Sensory Human Computer Interfaces: Techniques and Effective Practices*, pp. 232–250. IGI Global (2009)

6.2 Highlights in the Literature Available in Serious Games for Intellectual Disabilities

6.2.1 Cita completa

Cano A.R., García-Tejedor Á.J., Fernández-Manjón B. (2015) **Highlights in the Literature Available in Serious Games for Intellectual Disabilities**. In: Li F., Klamma R., Laanpere M., Zhang J., Manjón B., Lau R. (eds) *Advances in Web-Based Learning -- ICWL 2015. ICWL 2015. Lecture Notes in Computer Science*, vol 9412, pp 95-108. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-25515-6_9. ISBN: 978-3-319-25514-9

6.2.2 Resumen original de la publicación

This review examines the literature on Serious Games used as learning tools for people with intellectual disabilities. Although intellectual disabilities are a very broad field where each individual has very specific characteristics, it would be beneficial to have general evidence-based recommendations about how to design videogames adapted to their cognitive requirements. Thus, the purpose of this paper is to identify and review the available literature on Serious Games for intellectual disabilities classifying them according to the learning outcomes associated. Search terms identified 43 papers covering this topic and this review presents the initial results. The final goal is to identify what is working in this kind of games and how this can be generalized into a methodology to simplify the creation of more effective games for people with intellectual disabilities.

6.2.3 Referencias de citas bibliográficas de la publicación

(Torrente, 2012); (Iacopetti et al., 2008); (Shalock et al., 2010); (APA American Psychiatric Association, 2015); (Alves et al., 2013); (Karal et al., 2010); (Davis, 2008); (Lecavalier et al., 2011); (Connolly et al., 2012); (Zyda, 2005); (Chen et al., 2005); (Bergeron, 2006); (Sawyer et al., 2008); (Djaouti et al., 2011); (Wouters et al., 2009).

6.2.4 Referencias de citas bibliográficas analizadas

(Brown et al., 2011); (Chang et al., 2014); (Curatelli et al., 2014); (Delavarian et al., 2014); (González et al., 2009); (Grynszpan et al., 2007); (Hussaan et al., 2011); (Jiménez et al., 2012); (Ripamonti et al., 2011); (Sajjad et al. 2014); (Elaklouk et al. 2012); (Golomb et al., 2010); (Karal et al., 2010); (Montani et al., 2014); (Salem et al., 2012); (Schoene et al., 2013); (Benveniste et al., 2012); (Fernandes et al., 2011); (Fernández-Aranda et al., 2012); (Isleyen et al., 2014); (Kostoulas et al., 2012); (Bernardini et al., 2014); (Frutos et al., 2011); (Gonzalez et al., 2007); (Silva et al.,

2014); (Blum-Dimaya et al., 2010); (Facoetti et al., 2014); (Foran et al., 2013); (Mazurek et al., 2013); (Noor et al., 2012); (Whyte et al., 2014); (Alaribe, 2015); (Archambault et al., 2008); (Cankaya et al., 2010); (Elaklouk et al., 2013); (Horne-Moyer et al., 2014); (Lányi et al., 2012); (Sauvé et al., 2015); (Tomé et al., 2014); (Torrente et al., 2012); (Torrente et al., 2014).

Highlights in the Literature Available in Serious Games for Intellectual Disabilities

Ana R. Cano¹(✉), Álvaro J. García-Tejedor²,
and Baltasar Fernández-Manjón¹

¹ Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain
anarcano@ucm.es, balta@fdi.ucm.es

² Universidad Francisco de Vitoria, Madrid, Spain
a.gtejedor@ceiec.es

Abstract. This review examines the literature on Serious Games used as learning tools for people with intellectual disabilities. Although intellectual disabilities are a very broad field where each individual has very specific characteristics, it would be beneficial to have general evidence-based recommendations about how to design videogames adapted to their cognitive requirements. Thus, the purpose of this paper is to identify and review the available literature on Serious Games for intellectual disabilities classifying them according to the learning outcomes associated. Search terms identified 43 papers covering this topic and this review presents the initial results. The final goal is to identify what is working in this kind of games and how this can be generalized into a methodology to simplify the creation of more effective games for people with intellectual disabilities.

Keywords: Serious Games · Intellectual disabilities · Cognitive disabilities · Educational games · Autism spectrum disorder · Down syndrome

1 Introduction

The use of educational or therapeutic videogames (aka Serious Games) in scientific investigations has grown over the past years but their use for people with intellectual disabilities is still a relatively unexplored field. Even though intellectual disabilities are a very broad and diverse field where each individual has very specific characteristics, it would be beneficial to have general recommendations about how to design videogames adapted to their cognitive features. To pursue this goal, the purpose of this paper is to identify and review the available literature on Serious Games for intellectual disabilities and classify the research found according to the learning outcomes associated to them.

Early research on Serious Games for intellectual disabled people is mostly focused on adapting the interface of existing videogames [1, 2] but we consider that the real challenge is to design learning-games identifying the specific needs of intellectual disabilities users to ensure an effective learning outcome.

2 Serious Games for Intellectual Disabilities

The AAIDD (American Association on Intellectual and Developmental Disabilities) describes ‘Intellectual Disability’ as a disability characterized by significant limitations both intellectual functioning (reasoning, learning or problem solving) and in adaptive behavior, which covers a range of everyday social and practical skills [3]. An individual is considered to have an intellectual disability based on the following three criteria: (a) intellectual level (IQ) is below 70–75, (b) significant limitations exist in two or more adaptive skills areas (like communication, self-care, social skills, home living, leisure, self-direction) and (c) the condition is presented from childhood [4].

Attending to this definition there is a wide range of mental conditions that can be considered intellectual disabilities, depending on its causes, signs and symptoms. Even though the different intellectual disabilities have similarities, it is not possible to standardize the learning mechanisms of all impairments and reflect them in the design of a videogame’s mechanics. The result is that not all Serious Games are suitable as learning tools for all disabled game players [5, 6].

Although the search terms used in this review covers most of the intellectual disabilities in general to ensure that the results are representative enough, we are interested in identifying those articles referred to two concrete disabilities: ASD (Autistic Spectrum Disorder) and DS (Down Syndrome) for three reasons:

1. Down Syndrome is the most common genetic disorder found in newborns and the most common intellectual disability associated with mental impairment. The prevalence of Down syndrome has been reported to occur in about 1 out of every 600 live births [7].
2. ASD comprises a group of conditions within the category of developmental disorders. Due to its heterogeneity of symptoms, ASD is the disorder with the largest number of scientific investigations among the intellectual disabilities [8].
3. There are a large number of associations in Spain and US dedicated to ASD and DS (separately) that can provide us advice about the characteristics, skills, attitudes and behavior of each group and provide users for the actual game testing.

3 Method

We applied the same method used by Connolly et al. [9] to examine the available literature in Serious Games.

3.1 Databases Consulted

The databases consulted are relevant in three different fields according to the topic of this article: Computer Science, Psychology, Medicine and Science in general. All of them were accessed in their electronic format and are listed below: **ASSIA**, **BioMed Central**, **EBSCO** (consisting of Psychology and Behavioural Science, PsycINFO, PubMed, SocINDEX, Library, Information Science and Technology Abstracts, CINAHL, ERIC,

IEEE, Medline and Academic Search Premier), **IngentaConnect**, **Science Direct** and **Web of Science**.

3.2 Search Terms

We identified three groups of search terms which combination helps us to perform an accurate search in databases referred to the technology, the subject and our particular interest in game design and development methodologies. The final query used in the databases remains as follows:

("videogame" OR "game") AND ("intellectual" OR "cognitive" OR "disability" OR "behavior" OR "down syndrome" OR "autism") AND ("design" OR "methodology" OR "survey")¹

3.3 Selection of Papers for Inclusion in the Review

We applied the following selection criteria to the 498 studies found in the databases searched in order to choose which articles include in our review:

1. The purpose of the study is to test the acquisition of knowledge through videogames designed or adapted considering specific needs of a particular intellectual disability or a common feature in people with intellectual disabilities in general.
2. The purpose of the study is to identify patterns and behaviors in the use of videogames in people with intellectual disabilities.
3. The purpose of the study is to apply a methodology in the design or development of videogames for a particular intellectual disability or intellectual disabilities in general.

In addition, we discarded the studies that do not appear in scientific publications and those published before 2005. Those papers that do not report an empirical evidence of the results has been included only when the results show relevant behaviors of the users or when best practices are identified.

Once the inclusion criterion is applied, 43 studies have been included in our review.

The classification of the Serious Games is a controversial issue since there is not a single taxonomy widely accepted by the scientific community [10, 11, 12, 13, 14]. We chose the taxonomy proposed by Wouters et al. [15] who described a classification consisting of four categories of learning outcomes in Serious Games: cognitive, motor skills, affective and communicative. The studies included in our review are classified as follows: First, we determined the purpose of the investigation in accordance to one of our three inclusion criteria. Second, we applied the taxonomy described by Wouters to those studies which purpose is to learn a skill.

¹ Note that each database has its own nomenclature. We adapted the query to each database's search requirements without removing any search term.

4 Studies and Results Classified by Purpose of the Investigation and Learning Outcomes

See Tables 1, 2, 3, 4 and 5.

Table 1. Acquisition of knowledge through the design or adaptation of videogames. Cognitive skills

Author/s	Domain	Control group	Effect	Summary/Results
Brown et al. (2011)	Intellectual disabilities	Young	+	Positive and effective results in planning, rehearsing and travelling routes independently
Chang et al. (2014)	Intellectual disabilities	Adults	+	The participants improved their success rates and maintained their acquired skills after the three phases of the study, suggesting the effectiveness of the developed video game for learning long, complex and difficult recycling tasks
Curatelli et al. (2014)	Intellectual disabilities	Children	+/-	Positive results in manipulating abstract elements in people with mild intellectual disabilities. Medium to severe intellectual disabilities had troubles in the management of memory, recall past events and actions, fix in memory new facts and in the management of attention and concentration
Delavarian et al. (2014)	Mild intellectual disabilities	Young	+	Improvements in visual-spatial, auditory and speaking skills
Gonzalez et al. (2009)	Intellectual disabilities	Children	+/-	Practical example of designing a personalized SG centered in four cognitive processes: motivation, attention, concentration and emotion. Not tested with users yet
Grynszpan et al. (2007)	Autism spectrum disorders (ASD)	Children	+/-	Protocol that studies the influence of the specific constraints of the learning areas (spatial planning versus dialogue understanding) as well as Human Computer Interface modalities for children with Autism

(Continued)

Table 1. (Continued)

Author/s	Domain	Control group	Effect	Summary/Results
Hussaan et al. (2011)	Intellectual disabilities	General	+/-	System that generates learning scenarios depending on the cognitive abilities and the domain competences of the user. Not tested yet
Jimenez (2008)	Learning disabilities	Children	+	Users showed an improvement in phonological awareness and word recognition during the playing sessions
Lee et al. (2012)	Intellectual disabilities	Old	+	Evolution in game scores during sessions suggest that users improved in performing basic daily activities such as setting the table, peeling a fruit and using the elevator
Ripamonti and Maggiorini (2011)	Down syndrome	Children	+	All participants achieved the purpose of the Learning Game (reading the time) after sessions playing with a custom-developed SG
Sajjad et al. (2014)	Other	Young	+	The game has remained effective in helping psychotherapy by reducing symptoms like depression, anxiety, anger and disruptive behaviour

Table 2. Acquisition of knowledge through the design or adaptation of videogames. Motor skills and affective learning

Motor skills				
Author/s	Domain	Control	Effect	Summary/Results
Elakloun et al. (2012)	Traumatic brain injury (TBI)	General	+/-	Collection of game design principles to develop therapeutical SGs. Not tested yet
Golomb et al. (2010)	Hemiplegic cerebral palsy	Young	+	Results showed improvement function of the plegic hand in all participants
Karal et al. (2010)	Mild intellectual disabilities	Children	+	Results showed a positive attitude and motivation of the users while playing a SG aimed to assist the psychomotor development

(Continued)

Table 2. (Continued)

Montani et al. (2014)	Traumatic brain injury (TBI)	Young	+	Results showed that the SG developed enhances mental flexibility, multitasking, attention skills and executive functions
Salem et al. (2012)	Developmental delay	Children	+	Results showed an improvement of the motor skills and motor performance of players using WiiFit
Schoene et al. (2013)	Elderly with cognitive and physical impairments	Old	+	Results showed an improvement of physical and cognitive parameters of fall risk
Affective learning				
Benveniste et al. (2012)	Alzheimer	Old	+	Usability study shows that patients are able to understand and use the interface using Wiimotes. Therapeutic impact is the next step of the investigation
Fernandes et al. (2012)	Autism spectrum disorders (ASD)	Children	+/-	Positive reaction to the game, but it is necessary a context to achieve the goals and the possibility of customization. More research is required
Fernandez-Aranda et al. (2012)	Intellectual disabilities	General	+	Patients started to show new coping styles with negative emotions in normal stress life situations, additional generalization patterns and more self-control strategies after using the SG described in the paper
Isleyen et al. (2014)	Schizophrenic	Adults	+	Use of HE (Heuristic Evaluation) and TA (Think-Aloud) together is useful to identify interface usability problems for patients with Schizophrenia and/or autism

(Continued)

Table 2. (Continued)

Kostoulas et al. (2012)	Intellectual disabilities	Adults	+	Description of a speech interface (speech recognition and emotion recognition component) implemented on a platform for the development of SGs. Results showed that patients applied the strategies of the game to reality
-------------------------	---------------------------	--------	---	---

Table 3. Acquisition of knowledge through the design or adaptation of videogames. Communicative Learning

Communicative learning				
Author/s	Domain	Control	Effect	Summary/Results
Bernardini et al. (2014)	Autism spectrum disorders (ASD)	Children	+	Improvement in social interaction through the VG character in all players
Frutos et al. (2011)	Autism spectrum disorders (ASD)	Children	+	Positive qualitative results in users' pronunciation compared with the pre-established pattern recorded in the game
Gonzalez et al. (2007)	Autism spectrum disorders (ASD)	Children	+	Positive effect in concentration, motivation, attention and better assurance in the learning process.
Silva et al. (2014)	Autism Spectrum Disorders (ASD)	Children	+	Interaction on the multitouch interface and the collaboration patterns encourage the user to interact with other users performing tasks in the interface, guiding the partner, having physical contact, asking for help, answering, rectifying, complaining, smiling and thanking

Table 4. Patterns and behaviors

Blum-Dimaya et al. (2010)	Autism spectrum disorders (ASD)	Children	+	General improvement in the activities proposed in the video game Guitar Hero II. The activities implied: the use of (a) an activity schedule to set up, turn on and turn off the game and system, (b) simultaneous video modeling embedded in the game to teach how to manipulate the game. controller and (c) the training of multiple exemplars of songs
Facoetti et al. (2014)	Learning disabilities	Children	+	Positive results in usability tests. Children have been successfully performed through touch screens connected to a PC and tablets without a previous training session
Foran and Cermak (2013)	Autism spectrum disorders (ASD)	Children	+/-	No differences reported between ASD and TD (Typical Development) children in the use of commercial videogames
Mazurek and Engelhardt (2013)	Autism spectrum disorders (ASD)	Children	+/-	Results showed that daily videogame use was positively correlated with age. Most preferred video game genre is Action, followed by Platform and Shooter. There is a positively correlation between daily hours of video game play, the type of video game preferred and PVGT (Problematic Video Game Playing Test)
Mazurek and Wenstrup (2013)	Autism spectrum disorders (ASD)	Children	+/-	Boys with ASD spend more time playing video games than TD boys. Inattentive symptoms were strongly associated with problematic video game use for ASD
Noor et al. (2012)	Autism spectrum disorders (ASD)	Children	+	Review of articles for Autism children with diverse positive outcomes in therapy and education
Whyte et al. (2014)	Autism spectrum disorders (ASD)	General	-	Limited evidence of generalization from tasks learned in the videogame to the real-world

Table 5. Methodology for game design or development

Author/s	Domain	Control	Effect	Summary/Results
Alaribe (2015)	Mild intellectual disabilities	Young	+/-	Summary of learning strategies and need analysis to create a SG to use public transportation. Game not developed yet
Archambault et al. (2008)	Other	General	+/-	State of the art of accessibility (physical and intellectual) in computer games
Cankaya and Kuzu (2010)	Autism spectrum disorders (ASD)	Children	+/-	Proposal of project for investigating how children with Autism interact with SGs. Presents application stages for the design and development Not tested yet
Elaklouk et al. (2013)	Traumatic brain injury (TBI)	General	+/-	Framework that provides a game tailoring environment customized to therapist and reduces the development cost of the games
Horne-Moyer et al. (2014)	Intellectual disabilities	General	+/-	Provides clinical recommendations to design SGs for cognitive therapeutic purposes based on several studies
Lanyi et al. (2012)	Learning disabilities	General	+/-	Collection of Design principles for SG oriented to cognitive disabilities in general. Not tested yet
Sauve et al. (2015)	Other	Old	+/-	List of recommendations for game design oriented to old people. Aspects like challenge, competition, learning content, feedback, readability and user-friendliness were positively valued by players in a survey
Tome et al. (2014)	Intellectual disabilities	General	+/-	List of design principles to implement in a SG divided by: interface, user control, identification with the game, feedback, transmission of concepts and accessibility.
Torrente et al. (2014)	Other	General	+/-	List of strategies for adapting SGs for players with disabilities classified by disability: blindness, low vision, motor disability, hearing disability and cognitive disability

(Continued)

Table 5. (Continued)

Author/s	Domain	Control	Effect	Summary/Results
Torrente et al. (2012)	Down syndrome	Young	+/-	General guidelines and lessons learnt for designing VG for people with cognitive disabilities

Note: + = A positive result is reported, - = A negative result is reported, +/- = Results are inconclusive

5 Conclusions and Future Work

We provide an outline of the research available on Serious Games for intellectual disabilities by reviewing and classifying 43 studies according to the purpose of the investigation and the learning outcomes associated to them. This is only a first step to obtain guidelines for creating games for users with intellectual disabilities. We have identified challenges and trends after reviewing the literature.

In general terms, most of the studies are designed for users with a certain disability because of the heterogeneity of the skills that this type of users have. Most of the studies describe methodologies and design guidelines that provide recommendations and best practices for a particular disability, but a large number of them have not tested their effectiveness in an actual development with a relevant cohort of users.

We also observed that the results of the studies seem to be positive. Apparently, disabled users acquire new skills through the use of Serious Games but not many investigations provide qualitative results that prove the efficiency of this type of games in a long-term learning process. The use of learning analytics can fill this gap collecting data about the gameplay and the progress of the user, tracking the selected skills to reinforce the learning process.

As a conclusion we believe that the number of the studies and the results obtained are not enough to ensure general recommendations but is a good start point to identify what is working in this type of games. It would be desirable to identify, compile, implement and test these best practices to systematize the creation of tailored serious games for people with intellectual disabilities into a general methodology to simplify the creation of more effective games.

Acknowledges. The e-UCM research group has been partially funded by Regional Government of Madrid (eMadrid S2013/ICE-2715), by the Complutense University of Madrid (GR3/14-921340), by the Ministry of Education (TIN2013-46149-C2-1-R), by the RIURE Network (CYTED 513RT0471) and by the European Commission (RAGE H2020-ICT-2014-1-644187).

References

1. Torrente, J.: Reusable game interfaces for people with disabilities. In: Proceedings of the 14th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS 2012), pp. 301–302 (2012)

2. Iacopetti, F., Fanucci, L., Roncella, R., Giusti, D., Scebba, A.: Game console controller interface for people with disability. In: International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, CISIS 2008, pp. 757–762 (2008)
3. Shalock et al.: Intellectual disability: definition, classification and systems of supports (11th edn.). AAIDD (American Association on Intellectual and Development Disabilities) (2010)
4. APA American Psychiatric Association: DSM-5 2014. <http://www.dsm5.org/>. Accessed 22 enero 2015
5. Alves, S., Marques, A., Queirós, C., Orvalho, V.: LIFEisGAME prototype: a serious game about emotions for children with Autism spectrum disorders. *PsychNology J.* **11**(3), 191–211 (2013)
6. Karal, H., Kokoç, M., Ayyıldız, U.: Educational computer games for developing psychomotor ability in children with mild mental impairment. *Procedia Soc. Behav. Sci.* **9**, 996–1000 (2010a)
7. Davis, A.: Children with Down Syndrome: implications for assessment and intervention in the school. *Sch. Psychol. Q.* **23**(2), 271–281 (2008)
8. Lecavalier, L., Snow, A., Norris, M.: Autism spectrum disorders and intellectual disability. *International Handbook of Autism and Pervasive Developmental Disorders*, pp. 37–51. Springer, Berlin (2011)
9. Connolly, T.M., et al.: A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Comput. Educ.* **59**, 661–686 (2012)
10. Zyda, M.: From visual simulation to virtual reality to games. *Computer* **38**(9), 25–32 (2005)
11. Chen, S., Michael, D.: *Serious Games: Games that Educate, Train and Inform*. Muska & Lipman/Premier-Trade, USA (2005)
12. Bergeron, B.: *Developing Serious Games*. Charles River Media, USA (2006)
13. Sawyer, B., Smith, P.: Serious game taxonomy. In: *Serious Game Summit at Games Developers Conference*, San Francisco (2008)
14. Djaouti, D., Álvarez, J.J.J.-P.: Classifying serious games: the G/P/S model. *Handbook of Research on Improving Learning and Motivation through Educational Games: Multidisciplinary Approaches*, pp. 118–136. IGI Global, Hershey (2011)
15. Wouters, P., van der Spek, E., van Oostendorp, H.: Current practices in serious game research: a review from a learning outcomes perspective. *Games-Based Learning Advancements for Multi-Sensory Human Computer Interfaces: Techniques and Effective Practices*, pp. 232–250. IGI Global, Hershey (2009)

References of the Literature Review

- Brown, D.J., McHugh, D., Standen, P., Evett, L., Shopland, N., Battersby, S.: Designing location-based learning experiences for people with intellectual disabilities and additional sensory impairments. *Comput. Educ.* **56**(1), 11–20 (2011). doi:[10.1016/j.compedu.2010.04.014](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.04.014)
- Chang, Y.-J., Kang, Y.-S., Liu, F.-L.: A computer-based interactive game to train persons with cognitive impairments to perform recycling tasks independently. *Res. Dev. Disabil.* **35**(12), 3672–3677 (2014). doi:[10.1016/j.ridd.2014.09.009](https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.09.009)
- Curatelli, F., Bellotti, F., Berta, R., Martinengo, C.: Paths for cognitive rehabilitation: from reality to educational software, to serious games, to reality again. In: De Gloria, A. (ed.) *GALA 2013*. LNCS, vol. 8605, pp. 172–186. Springer, Heidelberg (2014)
- Delavarian, M., Bokharaeian, B., Towhidkhan, F., Gharibzadeh, S.: Computer-based working memory training in children with mild intellectual disability. *Early Child Dev. Care*, pp. 1–9 (2014). doi:[10.1080/03004430.2014.903941](https://doi.org/10.1080/03004430.2014.903941)

- González, J.L., Cabrera, M.J., Gutiérrez, F.L., Zea, N.P., Paderewski, P.: Design of videogames in special education. *New Trends Hum. Comput. Interact. Res. Dev. New Tools Methods*, pp. 43–51 (2009). doi:[10.1007/978-1-84882-352-5_5](https://doi.org/10.1007/978-1-84882-352-5_5)
- Grynszpan, O., Martín, J.C., Nadel, J.: Multimedia interfaces for users with high functioning autism: An empirical investigation. *International Journal of Human Computer Studies* **66**(8), 628–639 (2007). doi:[10.1016/j.ijhcs.2008.04.001](https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2008.04.001)
- Hussaan, A., Sehaba, K., Alain Mille: Helping children with cognitive disabilities through serious games: project CLES. In: 13th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS 2011), pp. 251–252 (2011). doi:<http://dx.doi.org/10.1145/2049536.2049592>
- Jiménez, J.E., Rojas, E.: Efectos del videojuego Tradislexia en la conciencia fonológica y reconocimiento de palabras en niños disléxicos. *Psicothema* **20**(3), 347–353 (2008)
- Lee, C., Park, M., Park, K., Choi, M., Jung, J.: Clinical applications for the Ntelligent geriatric serious games for mild cognitive impairment. *Alzheimer's Dement.* **8**(4), 480 (2012)
- Ripamonti, L.A., Maggiorini, D.: Learning in virtual worlds: a new path for supporting cognitive impaired children. In: Schmorow, D.D., Fidopiastis, C.M. (eds.) FAC 2011. LNCS, vol. 6780, pp. 462–471. Springer, Heidelberg (2011)
- Sajjad, S., Abdullah, A.H., Sharif, M., Mohsin, S.: Current medical imaging reviews. **10**(1), 62–72. 11p (2014)
- Elakloun, A.M., Zin, N.A.M., Shapii, A.: Requirements for game based cognitive intervention system for acquired brain injury. *GSTF J. Comput.* **2**(3), 25–31 (2012). 7p
- Golomb, M.R., McDonald, B.C., Warden, S.J., Yonkman, J., Saykin, A.J., Shirley, B., Burdea, G.C.: In-home virtual reality videogame telerehabilitation in adolescents with hemiplegic cerebral palsy. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **91**(1) (2010). doi:[10.1016/j.apmr.2009.08.153](https://doi.org/10.1016/j.apmr.2009.08.153)
- Karal, H., Kokoç, M., Ayyildiz, U.: Educational computer games for developing psychomotor ability in children with mild mental impairment. *Procedia Soc. Behav. Sci.* **9**, 996–1000 (2010b). doi:[10.1016/j.sbspro.2010.12.274](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.12.274)
- Montani, V., De Grazia, M.D.F., Zorzi, M.: A new adaptive videogame for training attention and executive functions: design principles and initial validation. *Front. Psychol.* **5** (2014). doi:[10.3389/fpsyg.2014.00409](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00409)
- Salem, Y., Gropack, S.J., Coffin, D., Godwin, E.M.: Effectiveness of a low-cost virtual reality system for children with developmental delay: a preliminary randomised single-blind controlled trial. *Physiotherapy (U.K.)* **98**(3), 189–195 (2012). doi:[10.1016/j.physio.2012.06.003](https://doi.org/10.1016/j.physio.2012.06.003)
- Schoene, D., Lord, S.R., Delbaere, K., Severino, C., Davies, T.A., Smith, S.T.: A randomized controlled pilot study of home-based step training in older people using videogame technology. *PLoS ONE* **8**(3), e57734 (2013). doi:[10.1371/journal.pone.0057734](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057734)
- Benveniste, S., Jouvelot, P., Pin, B., Péquignot, R.: The MINWii project: renarcissization of patients suffering from Alzheimer's disease through video game-based music therapy. *Entertainment Comput.* **3**(4), 111–120 (2012). doi:[10.1016/j.entcom.2011.12.004](https://doi.org/10.1016/j.entcom.2011.12.004)
- Fernandes, T., Alves, S., Miranda, J., Queirós, C., Orvalho, V.: LIFEisGAME: a facial character animation system to help recognize facial expressions. In: Cruz-Cunha, M.M., Varajão, J., Powell, P., Martinho, R. (eds.) CENTERIS 2011, Part III. CCIS, vol. 221, pp. 423–432. Springer, Heidelberg (2011)
- Fernández-Aranda, F., et al.: Video games as a complementary therapy tool in mental disorders: PlayMancer, a European multicentre study. *J. Ment. Health* **21**(4), 364–374 (2012). doi:[10.3109/09638237.2012.664302](https://doi.org/10.3109/09638237.2012.664302)
- Isleyen, F., Gulkesen, K.H., Cinemre, B., et al.: Evaluation of the usability of a serious game aiming to teach facial expressions to schizophrenic patients. *Stud. Health Technol. Inf.* **205**, 662–666 (2014)

- Kostoulas, T., Mporas, I., Kocsis, O., Ganchev, T., Katsaounos, N., Santamaria, J.J., Fakotakis, N.: Affective speech interface in serious games for supporting therapy of mental disorders. *Expert Syst. Appl.* **39**(12), 11072–11079 (2012). doi:[10.1016/j.eswa.2012.03.067](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.03.067)
- Bernardini, S., Porayska-Pomsta, K., Smith, T.J.: ECHOES: an intelligent serious game for fostering social communication in children with autism. *Inf. Sci.* **264**, 41–60 (2014). doi:[10.1016/j.ins.2013.10.027](https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.10.027)
- Frutos, M., Bustos, I., Zapirain, B.G., Zorrilla, A.M.: Computer game to learn and enhance speech problems for children with autism. In: 2011 16th International Conference on Computer Games (CGAMES). Louisville, KY, pp. 209–216 (27–30 July 2011). doi:[10.1109/CGAMES.2011.6000340](https://doi.org/10.1109/CGAMES.2011.6000340)
- González, J.L., Cabrera, M.J., Gutiérrez, F.L.: Using videogames in special education. In: Moreno Díaz, R., Pichler, F., Quesada Arencibia, A. (eds.) EUROCAST 2007. LNCS, vol. 4739, pp. 360–367. Springer, Heidelberg (2007)
- Silva, G.F.M., Raposo, A., Suplino, M.: PAR: a collaborative game for multitouch tabletop to support social interaction of users with autism. *Procedia Comput. Sci.* **27**, 84–93 (2014). doi:[10.1016/j.procs.2014.02.011](https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.02.011)
- Blum-Dimaya, R., et al.: Teaching children with autism to play a video game using activity schedules and game-embedded simultaneous video modeling. *Educ. Treat. Child.* (2010). doi:[10.1353/etc.0.0103](https://doi.org/10.1353/etc.0.0103)
- Facoetti, A., Franceschini, S., Gaggi, O., et al.: Multiplatform games for dyslexia identification in preschoolers. In: 2014 IEEE 11th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), pp. 1152–1153. Las Vegas, NV (10–13 January 2014)
- Foran, A.C., Cermak, S.A.: Active and traditional videogame ownership and play patterns among youths with autism spectrum disorders. *Palaestra* **27**(1), 42–48 (2013)
- Mazurek, M.O., Wenstrup, C.: Television, video game and social media use among children with ASD and typically developing siblings. *J. Autism Dev. Disord.* **43**(6), 1258–1271 (2013)
- Mazurek, M.O., Engelhardt, C.R.: Video game use and problem behaviors in boys with autism spectrum disorders. *Res. Autism Spectr. Disord.* **7**(2), 316–324 (2013)
- Noor, H.A.M., Shahbodin, F., Che Pee, N.: Serious game for autism children: review of literature. *World Acad. Sci. Eng. Technol.* **64**, 647–652 (2012). [http://eprints2.utm.edu.my/1252/1/Serious Game for Autism Children-Review of Literature_HelmiAdly_ICCG-MAT2012\[1\].pdf](http://eprints2.utm.edu.my/1252/1/Serious%20Game%20for%20Autism%20Children-Review%20of%20Literature_HelmiAdly_ICCG-MAT2012[1].pdf)
- Whyte, E.M., Smyth, J.M., Scherf, K.S.: Designing serious game interventions for individuals with autism. *J. Autism Dev. Disord.* (2014)
- Alaribe, I.: Design a serious game to teach teenagers with intellectual disabilities how to use public transportation. *Procedia Soc. Behav. Sci.* **176**, 840–845 (2015)
- Archambault, D., Gaudy, T., Miesenberger, K., Natkin, S., Ossmann, R.: Towards generalised accessibility of computer games. In: Pan, Z., Zhang, X., El Rhalibi, A., Woo, W., Li, Y. (eds.) Edutainment 2008. LNCS, vol. 5093, pp. 518–527. Springer, Heidelberg (2008)
- Cankaya, S., Kuzu, A.: Investigating the characteristics of educational computer games developed for children with autism: a project proposal. *Procedia Soc. Behav. Sci.* **9**, 825–830 (2010). doi:[10.1016/j.sbspro.2010.12.242](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.12.242)
- Elaklouk, A.M., Zin, N.A.M.: Advances in Visual Informatics. *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 8237, pp. 218–230 (2013)
- Horne-Moyer, H.L., Moyer, B.H., Messer, D.C., et al.: The use of electronic games in therapy: a review with clinical implications. *Curr. Psychiatry Rep.* **16**(12), 1–9 (2014)
- Lányi, C.S., Brown, D.J., Standen, P., Lewis, J., Butkute, V.: Results of user interface evaluation of serious games for students with intellectual disability. *Acta Polytechnica Hungarica* **9**(1), 225–245 (2012). doi:[10.1007/978-3-642-14097-6_37](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14097-6_37)

- Sauvé, L., et al.: Validation of the educational game for seniors: “live well, live healthy!”. *Soc. Behav. Sci.* **176**, 674–682 (2015)
- Tomé, R.M., Pereira, J.M., Oliveira, M.: Using serious games for cognitive disabilities. In: Ma, M., Oliveira, M.F., Baalsrud Hauge, J. (eds.) *SGDA 2014. LNCS*, vol. 8778, pp. 34–47. Springer, Heidelberg (2014)
- Torrente, J., del Blanco, Á., Moreno-Ger, P., Fernández-Manjón, B.: Designing serious games for adult students with cognitive disabilities. In: Huang, T., Zeng, Z., Li, C., Leung, C.S. (eds.) *ICONIP 2012, Part IV. LNCS*, vol. 7666, pp. 603–610. Springer, Heidelberg (2012)
- Torrente, J., del Blanco, Á., Serrano-Laguna, Á., Vallejo-Pinto, J.Á., Moreno-Ger, P., Fernández-Manjón, B.: Towards a low cost adaptation of educational games for people with disabilities. *Comput. Sci. Inf. Syst.* **11**(1), 369–391 (2014). doi:[10.2298/CSIS121209013T](https://doi.org/10.2298/CSIS121209013T)

6.3 GLAID: Designing a Game Learning Analytics Model to Analyze the Learning Process in Users with Intellectual Disabilities

6.3.1 Cita completa

Cano A.R., Fernández-Manjón B., García-Tejedor Á.J. (2017) **GLAID: Designing a Game Learning Analytics Model to Analyze the Learning Process in Users with Intellectual Disabilities**. In: Vaz de Carvalho C., Escudeiro P., Coelho A. (eds) *Serious Games, Interaction and Simulation. SGAMES 2016. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol 176, pp 45-52. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-51055-2_7. ISBN: 978-3-319-51054-5

6.3.2 Resumen original de la publicación

Learning Games are becoming popular in teaching since recent investigations re-veal its potential effectiveness as learning tools. Educational videogames are beneficial for all kind of students, but we think it is especially suited for users with intellectual disabilities due to the opportunity of tailoring the content to the in-game performance. The possibility of adapting the game experience to the cognitive and learning abilities to this type of students also make videogames a powerful source of learning data. In this paper we introduce the GLAID (Game Learning Analytics for Intellectual Disabilities) Model, a theoretical adaptation of a more general analytics framework, that describes the different stages of collecting, grouping and analyzing videogames interaction data that aims to provide an overview of the user learning experience, from an individualize assessment to a collective perspective. But to obtain these goals it is necessary to take into account the restrictions and special needs of users with intellectual disability both in the learning design and in translating them into game mechanics and the corresponding signals or observables that will be collected for the subsequent data analysis. We conclude with a discussion and considerations about the model and future steps to follow in our investigation.

6.3.3 Referencias de citas bibliográficas de la publicación

(Annetta et al., 2009); (Griffiths, 2002); (Long et al., 2011); (Freire et al., 2015); (Roberts et al., 2007); (Australian Government. Department of Families, Housing, Community Services and Indigenous Affairs, 2009); (Arranz, 2002); (Troncoso et al., 1988); (Chapman et al., 1999); (W3C World Wide Web Consortium, 2016); (Ablegamers Foundation, 2015); (Gartner, 2008); (Serrano-Laguna et al., 2012); (Nyce, 2007).

GLAID: Designing a Game Learning Analytics Model to Analyze the Learning Process in Users with Intellectual Disabilities

Ana R. Cano¹(✉), Baltasar Fernández-Manjón¹,
and Álvaro J. García-Tejedor²

¹ Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain
anarcano@ucm.es, balta@fdi.ucm.es

² Universidad Francisco de Vitoria, Madrid, Spain
a.gtejedor@ceiec.es

Abstract. Educational Games are increasingly popular in teaching as they have proven to be effective learning tools. Educational videogames are beneficial for all kind of students but we think they are especially suited for users with intellectual disabilities due to the opportunity of tailoring the content to their in-game performance. Adapting the game experience to the cognitive and learning abilities to this type of students also make videogames a powerful source of learning data. In this paper we introduce the GLAID (Game Learning Analytics for Intellectual Disabilities) Model, a theoretical adaptation of a more general analytics framework. It describes how to collect, process and analyze videogame interaction data in order to provide an overview of the user learning experience, from an individualized assessment to a collective perspective. But to obtain these goals it is necessary to take into account the restrictions and special needs of users with intellectual disabilities both in the learning design and in translating them into game mechanics and the corresponding observables that will be collected for the subsequent data analysis. We conclude with a discussion and considerations about the model and future steps to follow in our investigation.

Keywords: Serious games · Intellectual Disabilities · Game Learning Analytics · Analytics maturity framework · Educational games · Down syndrome · Autism spectrum disorders

1 Introduction

The impact of new technologies on education is changing the way teaching is occurring in the classroom as technology can ease a more active approach of the students in their own learning process. Videogames are increasingly used in education because of their capacity to engage the user, making the learning experience a more dynamic activity where the student needs to make decisions and learn from their effects. Educational videogames are attractive and engaging to students. Usually, videogames are designed to adapt the game experience to different users, offering different levels of difficulty or tailoring the content to the in-game performance [1].

© ICST Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering 2017
C. Vaz de Carvalho et al. (Eds.): SGAMES 2016, LNICST 176, pp. 45–52, 2017.
DOI: 10.1007/978-3-319-51055-2_7

But videogames can also be used as research and/or measurement tool [2], giving educators the opportunity of collecting information about the user's behavior and interactions within the game. A game, due to its highly interactive nature, can generate larger amounts of data than other tools [3]. When using an educational videogame, it is possible to record all the interactions of the player during the game session in order to track the evolution of the student and use that data to better understand or to improve the learning process. The processing and analysis of all that interaction data and transform it into valuable information for the student's assessment is the target that we pursue with the application of our model. The emerging field that address these aspects is called Learning Analytics (LA), defined as "the measurement, collection, analysis and report data about learners and their context, for purposes of understanding and optimizing learning and the environments in which it occurs" [4].

The application of LA in educational videogames is called Game Learning Analytics (GLA) and combines the educational goals of LA with the tools and technologies from Game Analytics [5]. GLA is specifically conceived to facilitate the process of analyzing significant variables or observables (like playing time, level changes or goals achieved) to better understand how users learn and to provide a better assessment.

All these GLA processes of automatic collection and analysis of interaction data become even more important when the students are people with special needs. For instance, intellectual disabilities cause several communication problems [6] that can prevent educators to understand the way students are processing the information and the effectiveness of their learning experience. This makes very difficult to use standard game evaluations that are usually based on pre-post forms that users fill before and after playing the game.

In this article we introduce the GLAID Model as a variation of the classical Analytics Maturity Framework defined by the Big Data industry [7]. This model is intended to describe the different stages of data that educators and game designers can analyze from students with intellectual disabilities when they are playing a learning video game. The last section of the article discusses recommendations and next steps to follow this line of research.

2 The Importance of Game Design While Working with Users with Intellectual Disabilities: Restrictions, Requirements and Game and Learning Design

Users with intellectual disabilities have problems not only interacting with the game but also communicating the difficulties found while they are playing. As a result, we cannot fully rely on their testimony when we are evaluating their learning experience within the game.

Some of these communication problems can be troubles in ordering thoughts and language in a 'logical' layout; problems learning to listen and taking turns in conversations; difficulties using communication in an interactive sense or problems relating objects and actions to spoken or written words [8]. LA can help to address this issue by

evaluating the adequacy of the learning experience to this kind of users through an indirect way: a data-driven analysis instead of a subjective responses analysis.

Creating an adequate learning videogame suitable for users with intellectual disabilities requires to have in mind all the player special needs that can affect the game mechanics. Defining the user characteristics and cognitive restrictions and translating them into formal user requirements is a pre-requisite to build an inclusive game design. That information would be used in the learning design and in the identification of information about the learning process that will be collected and analyzed. Therefore, a good design is essential to obtain meaningful data for a reliable assessment.

User features, either cognitive, psychological or motor, determine the learning methods to design the mechanics of the game (like the possibility of select the difficulty level adapted to each user or the use of a dynamic pop-up aid) and the interpretation of the collected interaction information.

Some of the user's restrictions and characteristics that designers should consider during the development of a learning game, specifically for players with intellectual disabilities, divided by psychological areas can be [9–11]: (Table 1)

Once we know what is distinctive in this type of users, the second step is to translate these characteristics into formal user requirements. Having specific cognitive accessibility guidelines, like the ones that appear in the standard WCAG 2.0 [12] or in the GAG [13], can be used to streamline the design process.

Table 1. User characteristics related to intelligence, memory and perception, personality and motor skills

Intelligence, Memory and Perception
- Visual perception and visual retention better than hearing
- Procedural memory good enough for playing
- Short Memory limitation. Limitation in the number of instructions/numbers that they can handle at the same time (3 sequential instructions and 3–6 digits)
- Difficulty sustaining attention during long periods of time
- Mild intellectual deficiency
- Problems of understanding the information
- Difficulty in the process of abstraction, conceptualization, generalization and learning transfer
Personality
- Limited initiative
- Persistence of behavior and resistance to change
- Few response capacity and reaction to the environment
- Poor social and collaboration skills (depending on the disability)
Biological and Motor Skills
- Listening and sight problems
- Heart diseases
- Clumsiness in motor skills (gross and fine)
- Poor coordination

The application of the standards and a deep knowledge of the idiosyncrasy of the user and can minimize the number of backward changes in an agile videogame development.

3 The Game Learning Analytics for Intellectual Disabilities Model

Once known the user unique characteristics and how this affects the translation of the learning design into game mechanics, next step would be working on creating an effective game design suitable for the users. The development should also include the traces of information needed for the students' assessment inside the code.

Since there are not reference guides to include GLA in videogames for players with intellectual disabilities, we adapted a classical analytics framework used in the business industry [7] to create our own model. We called it Game Learning Analytics for Intellectual Disabilities (GLAID) Model. This model describes what type of data would be useful to collect, group and analyze to provide an overview of the learning experience of each user from an individualized assessment to a collective perspective. The last step of the model is the prediction of the potential behavior of new players within the game and the evolution of the learning progress of existing users, attending to the learning experience, based on other users' historical data.

In this section we describe each step of the model and its correlation with each phase of the analytics framework. (Figure 1).

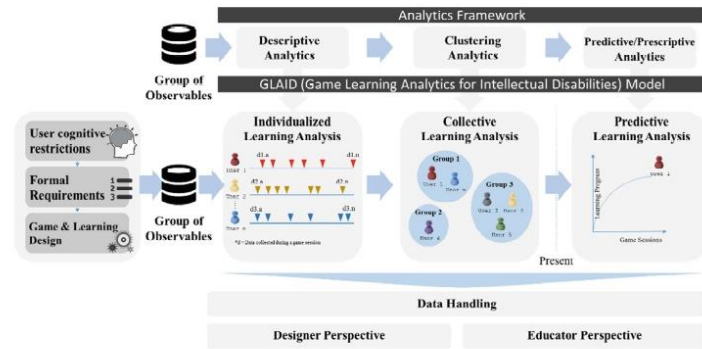


Fig. 1. Analytics maturity stages of the GLAID

3.1 Individualized Learning Analysis

The first step of the GLAID Model is the *Individualized Learning Analysis*. This phase corresponds with the *Descriptive Analytics* stage. The goal in this phase is to describe and analyze historical learning data from the student's perspective.

In this phase, educators and game designers collect all the interactions of the user within the game to analyze which data are/are not relevant for future assessment. The real challenge of this stage is taking into account all the users' special requirements, the learning design and the game design to select the signals or game observables (i.e. variables) that can give useful information about the user's learning behavior. Once the variables are identified, educators can describe the trends of each student for a personalized assessment. The better the design is adapted to the cognitive features of the user, the easier the assessment can be settled.

Typical data to collect and analyze in this stage can be:

- **Timestamps.** Generating a trace with data about when the user starts, ends, quits the game or stays inactive [14] provide relevant information about the level of engagement of the player, the effectiveness of the game design and the evolution of the learning process.
- **Level changes.** Videogames are structured by levels, screens, missions or chapters. Tracing each level status during a certain period of time can help educators and researchers to figure out if the student is understanding the purpose of the game and, as a result, if the learning experience is being successful.
- **Achievements vs Fails.** Tracing the evolution of the ratio achievements/fails during several consecutive game sessions is a good indicator about how the user's learning experience is progressing.
- **User interactions.** Any user interaction like number of clicks, *heatmaps*, number of times that the help button is pressed, time between clicks, number of attempts completing a task, etc. can be potentially useful for the assessment, giving a more comprehensive overview about the behavior of the student inside the game.

Data handling, visualization and interpretation is described below, in its own separate section.

3.2 Collective Learning Analysis

The next level of maturity in GLAID is the *Collective Learning Analysis* where the researcher and educator could identify causes of trends and learning outcomes of a group of users. In this stage, a collection of reports and statistics are generated from the perspective of a class, a group, or even more granular, a certain type of disability. As an example, we can obtain relevant information about the level of understanding of users with Autism Spectrum Disorder (ASD) tracing data and patterns throughout their common conducts inside the game.

The purpose of the clustering analysis is to diagnose learning outlines in different segments to obtain conclusions about how the learning process of different users with a common pattern has occurred. The game designer can obtain information about the

adequacy of the game's mechanics to certain types of disabilities or groups of users (i.e. players with Down Syndrome between 10 to 15 years old that play twice a week obtain better results than those with ASD in the same range of age and playing three times a week). It can also be used to test the efficacy of some of the decisions made on the learning design.

Clustering methods or any other machine learning techniques can be applied in this stage to uncover patterns in the data that provide additional unknown information from the previous stage of the model.

3.3 Predictive/Prescriptive Learning Analysis

The *Predictive Learning Analysis* is the third and last phase of the model. It embodies a group of statistical techniques and analyzes current and historical data (obtained in the descriptive analysis and clustering analysis/machine learning phase) to make predictions about future learning outcomes [15]. To make accurate predictions it is necessary to collect data from a large population of users (which could be problematic in this case due to the specificities of the target users).

3.4 Data Handling

The information described above can be automatically collected and displayed in reports, but data visualization would differ depending on the recipient of the report and its final purpose.

Ideally, educators and researchers should be able to get insight about how the user has been playing within the game at a glance of the report, without directly observe the user playing. The analysis of the data collected can be done through two different perspectives:

1. **Game Designer's perspective.** The game designer is interested in collecting and analyzing all the states that the user can reach at any moment within a game session. The purpose of this analysis is to determine if the gameplay and mechanics designed are properly adapted to the user and effective for their cognitive, psychological and motor capabilities.
2. **Educator's perspective.** The educator is focused on each user learning experience and this report should provide the relevant data about it. Videogames can be considered as a new learning tool that offer useful information that may not be collected using traditional methodologies, like the exact number of failures/achievement in each learning session. Ideally this report should inform the educator if the user is learning or struggling with the game or at least help them to identify users that may need some extra support.

4 Conclusions and Future Work

Our paper proposes a model called GLAID (Game Learning Analytics for Intellectual Disabilities) that aims to incorporate different levels of data treatment into a learning game development for users with intellectual disabilities, like Down syndrome, mild cognitive impairments or Autism Spectrum Disorders.

Although the model proposed is theoretical and should apply to any development, some considerations about it deserve discussion: The game engine used for the development should allow collecting the observables to analyze the learning process. We are currently working on the development of a GLA module for Unity3D engine as part of the H2020 RAGE project that can address this issue and can work as an example to replicate for other game engines. Once this module is working, the application of the GLAID model to the data handling will be easier. But this still requires that the learning design and game mechanics should be specifically designed for the gamers that are going to use the videogame as a learning tool. As long as there is a wide range of cognitive conditions, it is not possible to fully standardize the game design process but the application of this framework step by step should provide feedback depending on the commonalities and divergences found in the target audience. The help of experts (not only psychologists, social workers or specialized teachers but also game and interactions designers) is essential to obtain a truly valuable learning game. The application of our model is focused on users with intellectual impairments, which struggle with several communication problems making the process of obtaining feedback of the player more complex and less reliable.

Next step in our investigation will be the evaluation of the GLAID model using a case study, a 3D adventure game currently under development called *Downtown: A subway Adventure*. The game exploits playful aspects to improve the learning process of young people with Down syndrome and other impairments to increase their autonomy using the public transportation system. We are currently finishing the game and selecting the variables and data that researchers and educators will need to evaluate the effectiveness of the game design and the user learning experience. Once the development is finished, users will test the game, data will be collected and analyzed and future conclusions and lessons learned about the model will be released.

Acknowledgements. The e-UCM research group has been partially funded by Regional Government of Madrid (eMadrid S2013/ICE-2715), by the Ministry of Education (TIN2013-46149-C2-1-R) and by the European Commission (RAGE H2020-ICT-2014-1-644187, BEACONING H2020-ICT-2015-687676). The CEIEC Institute has been partially funded by the Francisco de Vitoria University (UFV-2015-05).

References

1. Annetta, L., Minogue, J., Holmes, S., Cheng, M.: Investigating the impact of video games on high school students' engagement and learning about genetics. *Comput. Educ.* **53**, 74–85 (2009)

2. Griffiths, M.: The educational benefits of videogames. *Educ. Health* **20**(3), 47–51 (2002)
3. Campbell, D.: Xbox Data is XXL. In: *Strata Conference 2013*, Santa Clara, California, 28 February 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=ZLKf1AhLQ30&feature=youtu.be>. Accessed 10 Mar 2016
4. Long, P., Siemenes, G.: Penetrating the fog: analytics in learning and education. In: *1st International Conference on Learning Analytics and Knowledge*, Banff, Alberta, Canada (2011)
5. Freire, M., Serrano-Laguna, A., Manero, B., Martínez-Ortiz, I., Moreno-Ger, P., Fernández-Manjón, B.: Game learning analytics. In: *Learning Analytics for Serious Games* (2015)
6. Roberts, J., Price, J., Malkin, C.: Language and communication development in down syndrome. *Ment. Retard. Dev. Disabil. Res. Rev. Spec. Issue: Lang. Commun.* **13**(1), 26–35 (2007)
7. Gartner, Introduction to the Gartner Maturity Model for Web Analytics, 03 July 2008. <https://www.gartner.com/doc/713210/introduction-gartner-maturity-model-web>. Accessed 03 Mar 2016
8. Australian Government. Department of Families, Housing, Community Services and Indigenous Affairs, “Intellectual disabilities, communication and learning”, 20 January 2009. http://resources.fahcsia.gov.au/consumertrainingsupportproducts/employers/intellectual_disability/sec3.htm. Accessed 11 Mar 2016
9. Arranz, P.: *Niños y jóvenes con Síndrome de Down*, Egido Editorial (2002)
10. Troncoso, M., Jesús, F.: *Síndrome de Down: Avances en acción familiar*, Santander: Fundación Síndrome de Down de Cantabria (1988)
11. Chapman, R., Hesketh, L.: Behavioral phenotype of individuals with Down Syndrome. *Ment. Retard. Dev. Disabil. Res. Rev.* **6**(2), 84–95 (1999)
12. W3C World Wide Web Consortium, “WCAG 2.0.” <http://www.w3.org/TR/WCAG20/>. Accessed 09 Mar 2016
13. Ablegamers Foundation, “Game Accessibility Guidelines,” 2012–2015. <http://gameaccessibilityguidelines.com/>. Accessed 09 Mar 2016
14. Serrano-Laguna, A., Torrente, J., Moreno-Ger, P., Fernández-Manjón, B.: Tracing a little for big improvements: application of learning analytics and videogames for student assessment. *Procedia Comput. Sci.* **15**, 203–209 (2012)
15. Nyce, C.: *Predictive Analytics White Paper*, American Institute for Chartered Property Casualty Underwriters/Insurance Institute of America (2007)

6.4 Downtown, a Subway Adventure: Using Learning Analytics to Improve the Development of a Learning Game for People with Intellectual Disabilities

6.4.1 Cita completa

Cano, A. R., García-Tejedor, A. and Fernández-Manjón, B. (2016). **Downtown, A Subway Adventure: Using Learning Analytics to Improve the Development of a Learning Game for People with Intellectual Disabilities**. In: *ICALT 2016 - 16th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. CPS (Conference Publishing Services). DOI: 10.1109/ICALT.2016.46. ISBN: 978-1-4673-9042-2

6.4.2 Resumen original de la publicación

In this paper we analyze the process of designing and developing a Serious Game intended to train people with intellectual disabilities in moving around a city using the public transportation system. The first step in our investigation is to understand the cognitive, psychological and motor abilities of our users and their specific needs. Secondly, we translated the characteristics of the players into user requirements, with adapted mechanics to improve the understanding and to increase the probability for the user to be able to carry out the tasks to perform in the video game. Finally, due to the specific characteristics of our final users a Learning Analytics module has been included in the game to collect relevant information about how users are actually playing and to infer how the learning process of every user is occurring. We also discuss the next steps in our research and the future work related with it: design a range of experimental tests to verify the adequacy of the video game as a learning tool for this type of users.

6.4.3 Referencias de citas bibliográficas de la publicación

(Shalock et al., 2010); (Bernardini et al., 2014); (Chang et al., 2014); (Fernández-Aranda, 2012); (Karal et al., 2010); (Lee et al., 2012); (Cano et al., 2015); (Torrente et al., 2012); (Serrano-Laguna et al., 2014); (Klimmt et al., 2009); (Arranz, 2002); (Chapman et al., 1999); (Troncoso et al., 1988); (W3C World Wide Web Consortium, 2015); (Ablegamers Foundation, 2015); (Savidis et al., 2007); (Norris, 2011).

Downtown, A Subway Adventure: Using Learning Analytics to Improve the Development of a Learning Game for People with Intellectual Disabilities

Ana R. Cano, Baltasar Fernández-Manjón
e-UCM. Department of Software Engineering and
Artificial Intelligence
Complutense University of Madrid
Madrid, Spain
anarcano@ucm.es, balta@fdi.ucm.es

Álvaro J. García-Tejedor
CEIEC
Francisco de Vitoria University
Madrid, Spain
a.gtejedor@ceiec.es

Abstract— In this paper we analyze the process of designing and developing a Serious Game intended to train people with intellectual disabilities in moving around a city using the public transportation system. The first step in our investigation is to understand the cognitive, psychological and motor abilities of our users and their specific needs. Secondly, we translated the characteristics of the players into user requirements, with adapted mechanics to improve the understanding and to increase the probability for the user to be able to carry out the tasks to perform in the video game. Finally, due to the specific characteristics of our final users a Learning Analytics module has been included in the game to collect relevant information about how users are actually playing and to infer how the learning process of every user is occurring. We also discuss the next steps in our research and the future work related with it: design a range of experimental tests to verify the adequacy of the video game as a learning tool for this type of users.

Keywords— serious games; learning games; intellectual disabilities; videogame design; learning analytics

I. INTRODUCTION

People with intellectual disabilities, like ASD (Autism Spectrum Disorders) or Down Syndrome, have to face more barriers than other people in order to have an autonomous life. According to the American Association on Intellectual and Developmental Disabilities [1] more than two hundred million people in the world have an intellectual or developmental disorder (3%). This figure reveals the need of adapting, not only our environment, but also the methods and technologies used for teaching skills to this population.

Video games are one of these emerging tools. In the last decade, researchers have explored the effectiveness of the Serious Games as learning mechanisms for users with certain intellectual disabilities, obtaining positive results in their investigations [2] [3] [4] [5] [6].

Following this trend, we have designed and developed a Serious Game that aims to teach people with intellectual disabilities to move around the city using the subway. For that purpose, we simulated a virtual and realistic 3D environment of the subway of Madrid (Spain) and we designed a range of challenging situations that this type of users face when they are using the public transportation system, such as: choosing the right route to get their

destination, what to do if a strange talks to them, how to act in an emergency or what to do if they get lost during their itinerary.

In this paper we discuss the references and the steps that we followed to build the design and the mechanics of the game, starting from the characteristics of the users and the accessibility requirements to its implementation in the videogame. The final goal of the game is to improve the learning process of the intellectual impaired population in the process of being self-sufficient. In the discussion, we describe lessons learnt during the designing phase and future work identified from our research.

II. DESIGNING AND DEVELOPING A LEARNING GAME FOR PEOPLE WITH INTELLECTUAL DISABILITIES

Creating a video game with educational purposes for people with intellectual disabilities is a complex task because of two reasons: First, not all Serious Games are suitable as learning tools for all disabled game players. This happens because there is a wide range of mental conditions that can be considered an intellectual disability, depending on its causes, signs and symptoms [7]. Secondly, the cost of developing a video game is higher compared with other traditional learning tools such as books, blackboards or in-situ training [8]. As a result, the design and use of learning video games for these users is still a relatively unexplored field.

With this scenario in mind, we want to evaluate if a videogame can be a suitable choice for training this population in day-to-day tasks, like moving around the city using the public transportation system.

The main goal of our videogame, *Downtown: A Subway Adventure*, is teaching young users with intellectual disabilities (between 15 and 30 years old, depending on their cognitive skills and their level of independence) how to use the subway by themselves. Nowadays, users learn to travel in the subway accompanied by an instructor. This method has an issue: there is a wide range of problems that can happen while the users are travelling alone that may not had happened when they were with the instructor.

Downtown is designed to fill this gap, including all the potential problems that the experts identify as tricky for this

population. Each problem is translated as an event to solve in the game.

We want to evaluate if the users that are trained with the videogame before the in-situ training are able to learn faster how to use the subway system versus those that only receive in-situ training. We are also studying which group is better trained to face stressing situations like getting lost or taking the train in the opposite direction.

A. Game Mechanics

The mechanic of the game is designed as follows: *Downtown* is a spy game where the user has to discover where, when and how the enemies are going to hold a meeting. For that purpose, he must travel around the subway map and find three different objects that provide a clue about the meeting. Different events related with the problematic situations that we want to train will appear during the journey. The user cannot continue his journey without finding a solution for them.

Each player will have his own user account to collect important data in each session with relevant information about the progress and the improvement of his learning process. We included a Learning Analytics [9] module inside our game to acquire data in real time such as: time spent without achieving a goal, total time played, number of attempts before completing a task or users' progression between the first sessions played and the subsequents. All the collected parameters are described in detail in this article.

The user can also customize the main character to help him identifies with it, changing the gender, facial features (including down features) and clothing. Previous research [10] shows that the more similarities between the user and its character, the easier he can transfer the knowledge achieved in the game to reality "Fig. 1".

B. User Characteristics

Designing a video game ad-hoc for players with intellectual disabilities requires bearing in mind all the cognitive/intellectual, psychological and motor characteristics of the user that can impact in his learning abilities.

Despite the fact that the skills of every individual can vary, there are common characteristics that we can use as a base to create the video game design [11] [12] [13]. We divided those that we found relevant for our design into psychological areas:



Figure 1. Character Selector

1) Intelligence, Memory and Perception

- Better visual perception and visual retention than hearing
- Good procedural memory
- Limitation in the number of instructions/numbers that they can handle at the same time (3 sequential instructions and 3-6 digits)
- Difficulty sustaining attention during long periods of time
- Mild intellectual deficiency
- Problems of understanding the information
- Difficulty in the process of abstraction, conceptualization, generalization and learning transfer

2) Personality

- Limited initiative
- Persistence of behavior and resistance to change
- Less response capacity and reaction to the environment
- Good at collaboration and sociability

3) Biological and motor skills

- Listening and eye problems
- Heart disease
- Clumsiness in motor skills (gross and fine)
- Poor coordination

C. User Requirements

Once we know what is distinctive in our user, the second step is to translate these features into formal user requirements. We also included cognitive accessibility guidelines [14] [15] to avoid usability barriers for the players.

Here we describe a list of the technical requirements that can impact in the learning process of the user. The requirements are divided by the structure of the game in: start menu and game session, texts and dialogs, interface, mechanics and others.

1) Start Menu and Game Sessions

a) *Sessions*: Each user will have a unique user name to record his learning progress. The game will save the settings for each user and every session that the user plays. The user will be able to save his progress anytime during the game to avoid repeating processes that are already completed. The game will also auto-save the game periodically, when the user achieves a goal or completes a level. If the game shuts off unexpectedly, the player won't lose his goals and progress "Fig. 2".



Figure 2. Start Menu

b) *Accessibility*: The game will allow the user to change the accessibility parameters like the speed of the dialogs, the size of the texts, the colors of the texts and the color of the background in the text box to assure a good understanding of the tasks to complete. “Fig. 3”.

c) *Consistency*: The titles of the menu and buttons will be self-descriptive and will have consistency with the link that they are pointing to. There won't be different buttons with the same text pointing to different links.

2) Levels

a) *Difficulty level*: The user can choose the difficulty level between “easy”, “medium” or “hard” depending on his skills. Each level will have the explanation about the challenges that are included in it. The user would be able to change the level in the middle of a game session if he finds it is too difficult/easy for him. This way, we adapt the level of then tasks to complete to every single user.

b) *Sandbox mode*: There will be a sandbox mode where the user can practice the mechanics and the controls of the game without any possible failure or reward.

3) Texts and Dialogs

a) *Text speed*: The user will move forward the conversations at his own pace and will be able to repeat every narration, conversation or instruction as many times as he needs to assure a good understanding of the tasks.

b) *Language and structure*: All the texts will be written and spoken at the same time. The language used will be direct, clear and simple without double meaning. The narrative structure will be easy to understand for every user despite of the level of cognitive disability. “Fig. 4”.



Figure 3. Accessibility Menu



Figure 4. Example of the text box appearance during the game

4) Interface

a) *Help*: There will be a “help” button permanently in the screen. If the user doesn't perform any action for a long period of time, a pop-up aid will appear providing guides, tips and advices.

b) *Tasks*: The list of the tasks to perform will be permanently in the screen to help the user focus on what he is doing and take decisions accordingly. “Fig. 5”

5) Mechanics

a) *Time*: The user can switch off or adjust the time available for the tasks that are time-limited. There won't be a limited time to perform the general mechanics (like traveling from one station to another or finding an object in a station).

b) *Tutorials*: The description about how to achieve the goals in the game will be performed as a video explanation for every task. Previous research prove that visual explanations help to understand the assignments better than hearing or reading [16]. “Fig. 6”

6) Others

a) *Sounds*: There are several types of sounds in the game: sound effects, conversations, music and event tunes. The user can stop, pause or adjust the volume of them at any time during the game session. There won't be the same sound assigned to two different objects or actions.



Figure 5. Example of tasks to perform in screen (ongoing task in bold text)



Figure 6. Video explanation about a minigame

b) *Camera*: We should avoid any unexpected movement of the camera to help the player focus on what he is doing. The automatic movements, flickers or displacements longer than three seconds could be shut off by the user if needed.

III. COLLECTING LEARNING INFORMATION USING LEARNING ANALYTICS

Once we have the game designed and developed following the requirements that we described, the third step is to collect relevant learning information of the users during the game sessions.

Tracking players' interactions is critical for analyzing their learning progress while they are playing the game, especially if the users have an intellectual disability. This population has problems articulating their opinions and expressing the situations that they found problematic. For that purpose, we integrated a Learning Analytics (LA from now on) module in the game.

LA has become popular in the past years thanks to the spread of data mining science in companies and institutions. LA is defined as the *collection and analysis of the "digital breadcrumbs" that students leave as they interact with various computer systems to look for correlations between those activities and learning outcomes* [17].

The information that we want to collect from the game gives us an overview of a) the learning process of the user and his engagement and b) the effectiveness of the game design and the validity of the user requirements described.

The set of traces that we included in *Downtown* is listed below:

A. Main menu

Parameter	Objective
Unique user id	Match every game session with a unique user to collect related data.
Number of login attempts	Check if the user is able to remember his user name and password without assistance.
Number of attempts creating a user	Check if the interface of the Main Menu is understandable and easy to use.
Number of clicks in the accessibility menu	Observe if the user is able to adapt the parameters of the game in an autonomous way without assistance.
Parameters changed in the	Understand which are the

accessibility menu	parameters that the users find problematic while they are playing.
Total time spent in the main menu	Check if the login process is understandable and clear to the user.
Mouse heatmap	Monitor the sections of the screen that the user tends to interact with.

Table 1. Parameters collected in the Main Menu

B. Character Selector

Parameter	Objective
Character parameters	Match the game character with the user image and verify if the hypothesis of the learning transfer to reality commented above is accurate.
Time spent in the character selector screen	Verify if the user understands that the game is not started yet (some players tend to get stuck in the character selector screen as they think this is the game).
Time between clicks	Check if the user is clicking nonsense or really choosing the features of the character.
Mouse heatmap	Monitor the sections of the screen that the user tends to interact with.

Table 2. Parameters collected in the Character Selector

C. Game Sessions

Parameter	Objective
Game session total time	Evaluate the improvement of the learning process through sessions.
Time consumed completing a task	Check the evolution of the user while training a certain skill. We also want to check if the level of difficulty chosen by the user is appropriate according to his cognitive skills.
Number of attempts before completing a task	Evaluate the improvement of the learning process through sessions while training a certain skill.
Number of clicks in the "help" button	Check if the mechanics of the tasks are designed accurately and the user is playing within the appropriate level for him.
Number of clicks in the "map" button	Test if the user is able to learn the paths and routes after playing several sessions.
Number of times that the "automatic help" appears	Check the engagement of the user with the game and the evolution of the learning process.
Mouse heatmap	Monitor the sections of the screen that the user tends to interact with.

Table 3. Parameters collected in the Game Sessions

IV. SUMMARY AND DISCUSSION

The process of designing and developing a video game with educational purposes for people with intellectual disabilities requires an effort of understanding the capacities, abilities and skills of this type of users.

We designed *Downtown*, *A Subway Adventure* focusing on the cognitive, psychological and motor characteristics that impact in their learning process. The translation of these features into game mechanics suitable for this population is reflected in a list of user requirements (both technical and

non-technical) presented in this paper. As long as there is a wide range of cognitive conditions it is not possible to fully standardize the process that we followed in this development. We describe an example of good practices to minimize the number of backward changes in an agile Serious Game development taking into account features of the user that can impact in the design of the game.

We also included a LA module to capture relevant information about the learning performance of the player during the game sessions. The main issue we have to face is to analyze the large amount of data that a videogame can generate due to its highly interactive nature. The application of GLA (Game Learning Analytics) models and LA techniques, such as clustering or predictive techniques, are required in future analysis to understand the collected observables and obtain useful results.

Next steps in our research will be to design a range of experimental tests to check the adequacy of the video game as a learning tool for this type of users. The purpose of the tests will be the validation of the hypothesis described during the development phase.

Another line of investigation is the assessment of the information collected to predict the success of the learning experience using Serious Games, comparing the performance and evolution of the players who played *Downtown* with those who received the traditional training.

ACKNOWLEDGMENT

The e-UCM research group has been partially funded by Regional Government of Madrid (eMadrid S2013/ICE-2715), by the Ministry of Education (TIN2013-46149-C2-1-R), by the RIURE Network (CYTED 513RT0471) and by the European Commission (RAGE H2020-ICT-2014-1-644187, BEACONING H2020-ICT-2015-687676).

The CEIEC Institute has been partially funded by the Francisco de Vitoria University (UFV-2015-05).

REFERENCES

- [1] Shalock et al., *Intellectual Disability: Definition, Classification and Systems of Supports*. 11th Edition, AAIDD (American Association on Intellectual and Development Disabilities), 2010.
- [2] S. Bernardini and K. a. S. T. Porayska-Pomsta, "ECHOES: An intelligent serious game for fostering social communication in children with autism," *Information Sciences*, vol. 264, pp. 41-60, 2014.
- [3] Y. Chang and Y. a. L. F. Kang, "A computer-based interactive game to train persons with cognitive impairments to perform recycling tasks independently," *Research in Development Disabilities*, vol. 35, no. 12, pp. 3672-3677, 2014.
- [4] F. e. a. Fernández-Aranda, "Video games as a complementary therapy tool in mental disorders: PlayMancer, a European multicentre study," *Journal of Mental Health*, vol. 21, no. 4, pp. 364-374, 2012.
- [5] H. Karal and M. a. A. U. Kokoç, "Educational computer games for developing psychomotor ability in children with mild mental impairment," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 9, pp. 996-1000, 2010.
- [6] C. Lee, M. Park, K. Park and M. a. J. J. Choi, "Clinical applications for the Ntelligent geriatric serious games for mild cognitive impairment," *Alzheimer's & Dementia*, vol. 8, no. 4, Supplement, 2012.
- [7] A. R. Cano, Á. García-Tejedor and B. Fernández-Manjón, "Highlights in the Lliterature Available in Serious Games for Intellectual Disabilities," in *ICWL 2015*, Guangzhou, China.
- [8] J. Torrente, A. del Blanco, P. Moreno-Ger and B. Fernández-Manjón, "Designing Serious Games for Adult Students with Cognitive Disabilities," in *19th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP2012)*, Doha, 2012.
- [9] Á. Serrano-Laguna, J. Torrente, P. Moreno-Ger and B. Fernández-Manjón, "Application of Learning Analytics in educational videogames," in *Entertainment Computing*, Elsevier, 2014, pp. Volume 5, Issue 4, December 2014, Pages 313-322.
- [10] C. Klimmt, D. Hefner and P. Vorderer, "The Video Game Experience as "True" Identification: A Theory of Enjoyable Alterations of Players' Self-Perception," *Communication Theory*, vol. 19, no. 4, pp. 351-373, 2009.
- [11] P. Arranz, *Niños y Jóvenes con Síndrome de Down*, Egido Editorial. ISBN: 8495879093, 9788495879097, 2002.
- [12] R. S. Chapman and L. J. Hesketh, "Behavioral phenotype of individuals with Down syndrome," *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, vol. 6(2), pp. 84 - 95, 1999.
- [13] M. V. Troncoso and F. Jesús, *Síndrome de Down: Avances en Acción Familiar*, Santander: Fundación Síndrome de Down de Cantabria. ISBN: 84-404-3312-3, 1988.
- [14] W3C World Wide Web Consortium, "WCAG 2.0," 2008. [Online]. Available: <http://www.w3.org/TR/WCAG20/>. [Accessed 14 octubre 2015].
- [15] Ablegamers Foundation, "Game Accessibility Guidelines," 2012-2015. [Online]. Available: <http://gameaccessibilityguidelines.com>. [Accessed 10 January 2015].
- [16] A. Savidis, D. Grammenos and C. Stephanidis, "Developing inclusive e-learning and e-entertainment," *Universal Access in the Information Society*, vol. 5, no. 4, pp. 401-419, 2007.
- [17] D. M. Norris, "7 Thing you should know about first-generation Learning Analytics," December 2011. [Online]. Available: <http://www.educause.edu/library/resources/7-things-you-should-know-about-first-generation-learning-analytics>. [Accessed February 2016].

6.5 Using game learning analytics for validating the design of a learning game for adults with intellectual disabilities

6.5.1 Cita completa

Cano, A. R., Fernández-Manjón, B., & García-Tejedor, Á. J. (2018). **Using game learning analytics for validating the design of a learning game for adults with intellectual disabilities**. *British Journal of Educational Technology*, 49(4), 659-672. <http://doi.org/10.1111/bjet.12632>. ISBN: 1467-8535

6.5.2 Resumen original de la publicación

Serious Games (SGs), defined as a game in which education (in its various forms) is the primary goal rather than entertainment, have been proven as an effective educational tool for engaging and motivating students. However, more research is needed to sustain the suitability of these games to train users with cognitive impairments. This empirical study addresses the use of a SG for training students with Intellectual Disabilities in traveling around the subway as a complement to traditional training. Fifty-one adult people with Down Syndrome, mild cognitive disability or certain types of Autism Spectrum Disorder, all conditions classified as intellectual disabilities, played the learning game Downtown, a Subway Adventure which was designed ad-hoc considering their needs and cognitive skills. We used standards-based Game Learning Analytics techniques (i.e., Experience API –xAPI), to collect and analyze learning data both off-line and in near real-time while the users were playing the videogame. This article analyzes and assesses the evidence data collected using analytics during the game sessions, like time completing tasks, inactivity times or the number of correct/incorrect stations while traveling. Based on a multiple baseline design, the results validated both the game design and the tasks and activities proposed in Downtown as a supplementary tool to train skills in transportation. Differences between high-functioning and medium-functioning users were found and explained in this paper, but the fact that almost all of the students completed at least one route without mistakes, the general improvement through sessions and the low-mistake ratio are good indicators about the appropriateness of the game design.

6.5.3 Referencias de citas bibliográficas de la publicación

(AAIDD American Association on Intellectual and Developmental Disabilities, 2010); (Ablegamers Foundation, 2017); (Burack et al., 1988); (Cano et al., 2015); (Cano et al., 2016); (Chang et al., 2014); (Connolly et al., 2012); (Davis, 1989); (Freire et al., 2016); (Griebel, 2006); (Kato et al., 2017); (Klimmt et al., 2010); (Kwon et al., 2016); (Lanfranchi et al., 2004); (Long, 2011); (Michael et al., 2006); (Newman, 2002); (OIDAP, Occupational Information Development

Advisory Panel, 2009); (RAGE H2020 Project, 2017); (Roozeboom et al., 2017); (Serrano-Laguna et al., 2017); (Shalock et al., 2010); (Torrente et al., 2012).

Using game learning analytics for validating the design of a learning game for adults with intellectual disabilities

Ana Rus Cano, Baltasar Fernández-Manjón and Álvaro J. García-Tejedor

Ana Rus Cano is a researcher at e-UCM group, Complutense University of Madrid, Spain. Her research interests are in the area of Serious Games for people with Intellectual Disabilities, Game Learning Analytics and e-Learning. Baltasar Fernández-Manjón is a professor in CS at the Complutense University of Madrid and director of the e-UCM research group and of the Telefonica-Complutense Chair on Serious Games. His research interests are in e-learning, application of serious games and game learning analytics. Álvaro J. García-Tejedor is an AI professor at Francisco de Vitoria University and head of CEIEC, a research center for social application of information technologies. Address for correspondence: Ms. Ana Rus Cano, Complutense University of Madrid, Computer Science Faculty, Prof. José García Santesmases 9, 28040 Madrid, Spain. Email: anarcano@ucm.es

Abstract

Serious Games (SGs), defined as a game in which education (in its various forms) is the primary goal rather than entertainment, have been proven as an effective educational tool for engaging and motivating students. However, more research is needed to sustain the suitability of these games to train users with cognitive impairments. This empirical study addresses the use of a SG for training students with Intellectual Disabilities in traveling around the subway as a complement to traditional training. Fifty-one adult people with Down Syndrome, mild cognitive disability or certain types of Autism Spectrum Disorder, all conditions classified as intellectual disabilities, played the learning game *Downtown, a Subway Adventure* which was designed ad-hoc considering their needs and cognitive skills. We used standards-based Game Learning Analytics techniques (ie, Experience API –xAPI), to collect and analyze learning data both off-line and in near real-time while the users were playing the videogame. This article analyzes and assesses the evidence data collected using analytics during the game sessions, like time completing tasks, inactivity times or the number of correct/incorrect stations while traveling. Based on a multiple baseline design, the results validated both the game design and the tasks and activities proposed in *Downtown* as a supplementary tool to train skills in transportation. Differences between high-functioning and medium-functioning users were found and explained in this paper, but the fact that almost all of the students completed at least one route without mistakes, the general improvement through sessions and the low-mistake ratio are good indicators about the appropriateness of the game design.

Introduction

The use of technological tools for educational purposes is becoming popular when training people with Intellectual Disability (ID) in daily routines. Serious Games (SG) are an example of these emerging tools. However, more research is needed to sustain the suitability of these games to train users with cognitive impairments. Recent researches explored the effectiveness of the SG as learning mechanisms for users with intellectual disorders, obtaining positive outcomes in their investigations (Cano, Fernández-Manjón, & García-Tejedor, 2015; Chang, Kang, & Liu, 2014;

Practitioner Notes

What is already known about this topic

- Research shows that serious games (SG) are an effective educational tool for motivating and engaging students. They are considered to induce positive effects in learning acquisition due to its playful nature.
- There are not many empirical studies validating SG for students (both young and adults) with intellectual disabilities (ID). There is a lack of evaluation of these types of games using data-based evidence techniques.
- Intellectual Disabled people deal with strong communication problems so traditional game evaluation methods (eg, pretest/posttest, user questionnaires) could not be fully reliable (or even applicable).

What this paper adds

- The Game Design considerations that developers should be aware of while designing and developing a SG for intellectual disable users.
- The description of the methodology used for validating the adequacy of a SG for students with ID. Game learning analytics (GLA) methods can be a powerful tool to analyze and assess users' performance and struggles while gaining knowledge with a videogame.
- An empirical analysis of the data collected, including figures and charts, using quantitative methods.

Implications for practice and/or policy

- SG are effective learning tools for students with ID if they are specifically designed considering their specificities and cognitive abilities.
- SG can help trainers and teachers motivate students with ID in training them in complex daily tasks, like traveling using the public transportation system of a city.
- The use of GLA in this scenario is highly recommendable due to the communications issues that users with ID have. Data collected is an effective way to contrast design decisions and to provide feedback about the students learning performance despite their language skills.
- With the information provided by the GLA analysis teachers can also predict the students' performance based on his cognitive characterization and previous data of similar students.

Kwon & Lee, 2016) but most researches imply a very limited number of users and usually only feature in qualitative studies.

ID is the impairment characterized by significant limitations in both intellectual functioning and adaptive behavior, which covers many everyday social and practical skills. Learning, problem solving, reasoning and activities of daily living (such as personal care, obeying rules and laws or travel/transportation) are challenging skills for ID individuals (American Association on Intellectual and Developmental Disabilities [AAIDD], 2010). Their delays in motor milestone attainment, sensorimotor performance deficit and perceptual dysfunctions, in addition to significant limitations both in intellectual functioning and in adaptive behavior are barriers that these individuals must face when learning complex tasks (Burack, Hodapp, & Zigler, 1988).

Although the use of SG is increasing in educational environments, their proven effectiveness is still scarce. There is a lack of empirical research and methodologies that provide evidence of what types of developments are effective for educational purposes (Connolly, Boyle, MacArthur, Hainey, & Boyle, 2012). This fact is even more noticeable talking about games for students with ID for two reasons: (1) developing games for learners with cognitive disabilities are expensive and laborious due to the accessibility features that developers have to include in the game design and (2) the population of students with ID is smaller compared to the number of learners available in general learning studies, therefore, researches involving individuals with ID are limited to smaller pilots and user evaluations (Roozeboom, Visschedijk, & Oprins, 2017).

The purpose of this research is to provide insight about the use of GLA as a measure mechanism to validate the effectiveness of a SG designed specifically for learners with Intellectual Disabilities.

The results were obtained from an experiment involving 51 adult people with ID (like Down Syndrome, mild cognitive disability or certain types of Autism Spectrum Disorder—ASD) that played the learning game *Downtown, a Subway Adventure*. The game design principles used in *Downtown* are explained in the first section. Then, we describe how we used GLA for gathering data from the game. Next, the methodology of the experiment is also included in this paper as an example of best practices while developing and testing an accessible learning game for users with ID. Data analysis obtained and conclusions are available at the end of the article.

Downtown, a subway adventure

Downtown: A Subway Adventure is a spy game developed for students with ID, between 18 and 45 years old. The game is designed to train individuals in using the public subway transportation system. *Downtown* simulates the subway of Madrid (Spain) in a 3D realistic perspective (see Figure 1). The aim is to help gameplayers to identify the game environment with reality when they are traveling by their own (thus facilitating the transfer knowledge).

An adequate game design is crucial for the development of the research. *Downtown* is a game especially designed for players with ID, considering their intellectual, psychological and motor characteristics that impact in their learning abilities. Despite the fact that the cognitive skills can vary from one individual to another, there are common characteristics that provide guidance and rules about the needs of the users while playing.

The basic design principles we followed for the game design are based on best practices, literature review, developers' previous experience and experts' advice (psychologists and trainers specialized in ID) that participated in the initial game design. There are five aspects that we included in *Downtown's* design: (1) the game should be realistic, based on real life. The virtual environment



Figure 1: Detail of the train wagon (left) and subway station (right) in *Downtown*. [Colour figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

had to be as similar as possible to the real one so they can easily recognize and translate what is happening in the game to the real environment, (2) the game accessibility guidelines (Able-gamers Foundation, 2012–2017) have to be implemented in the game at different levels (advanced degree for cognitive and general dimensions and intermediate degree for motor, vision, hearing and speech). We followed the rules provided by the Game Accessibility Guidelines, which bring together a group of design decisions that impact in the mechanics of the game (eg, number of options available for the player at a given time), (3) educators, trainers and psychologists specialized in ID should be involved from the very beginning of the game concept, (4) the mechanics of the game should be accommodated to the learners' impairments and (5) PC and mouse should be the platform and input device to play, because these are the tools that they currently use in the technology classes.

The mechanics of the game were specifically designed taking into account the suggestions of the experts involved in the actual training in the subway to address the common problems and situations that ID users face when they are using the subway: what to do if they take a wrong path, how to act if a stranger talks to them, what to do if they fall asleep, etc. *Downtown* not only trains the students for choosing the right route while traveling from one metro station to another, but also includes puzzles and missions that help them improve basic daily skills like independence, long and short memory or spatial vision. Some of the social aspects that are complex for them to master are also included (eg, interact with the subway operators if the transport pass does not work). Further information about the game design is available in a previous publication (Cano, Fernández-Manjón, & García-Tejedor, 2016).

The use of GLA for inclusive SG

The approach for developing *Downtown* was a user-centered design, where both ID students and trainers from Down Madrid were actively involved in the design of the game mechanics and interfaces. There were four testing sessions before releasing the final fully playable game. Although the opinions of users were key to assuring the adaptability of the game, ID people deal with strong communication problems so traditional game evaluation methods (eg, pretest/posttest, user questionnaires) could not be always fully reliable. SG can be used as a measurement learning tool (Kato & de Klerk, 2017), giving trainers and instructors the opportunity of gathering data about the user's play patterns within the game. When using an educational videogame, it is possible to track the evolution and engagement of the students and use that data to better understand, or even predict, the learning outcomes. The application of Learning Analytics is defined as "the measurement, collection, analysis and report of data about learners and their context, for purposes of understanding and optimizing learning and the environments in which it occurs" (Long & Siemenes, 2011). The application of Learning Analytics in educational videogames is called GLA and combines the educational goals of LA with the tools and technologies from game analytics (Freire *et al.*, 2016).

Gathering data about the learning process of ID users directly from the videogame can be a powerful tool to validate a SG compared to observational methods. ID users struggle with several communication issues that can be a barrier for educators while trying to understand if they are processing the information presented in the game and if they are having an effective learning experience within the game.

Data tracker

Data traces were collected using a tracker included in the game. The tracker is used in the game to send out the relevant information in near-real time about the behavior of the users and their learning patterns while playing the game. The tracker used is open source and has been developed by the H2020 RAGE project (RAGE H2020 Project, 2014–2017).

All the data gathered follow the standard xAPI (Experience Application Programming Interface) a new emerging specification for collecting, storing and reporting user interactions on learning systems (Serrano-Laguna *et al.*, 2017). While the user is playing, the tracker is used to send out traces to an online server that performs different analysis based on what different types of views in a near real-time web-browser dashboard are built. The server provides visualizations about the performance of the classroom that is playing at that moment, or individualized reports for each user. Trainers and researchers were monitoring the dashboards during the sessions, to provide help and feedback to the users while are playing *Downtown*. As we mentioned before, ID individuals struggle with communication so following their activity inside the game through an indirect source, like the server's dashboards, provide researchers valuable information about the user's learning performance supplementary to the direct observation.

The game analytics gathers two types of observables: (1) data related to the game options and (2) data related to the user interaction with the game. The first type allows the researchers to know the needs of the users related to the interface, depending on their disability features, and the second one provides the information about their learning performance while using the game.

Methodology

Participants

In order to validate the design of the game *Downtown*, we run a case study in cooperation with Fundación Síndrome de Down de Madrid (Down Madrid) including 51 adults, ages between 19 and 41, with diverse types of Intellectual Disabilities. The case study consists of playing the game for 3 one-hour sessions. Data from nine users were discarded because, for different reasons, they did not complete all the game sessions ($n = 42$, $M_{age} = 29$, $SD_{age} = 7.07$). All students were previously enrolled in the introduction to technology classes organized by Down Madrid.

Because the game is designed to high and medium-functioning down syndrome and mild intellectual disability (MID) individuals, as an inclusion criteria users were screened according to their degree of autonomy, self-confidence and ability to accomplish daily tasks. Low-functioning users were discarded. From the participants included in the study, 71% were Down while 29% had other disabilities, like MID or different types of Autistic Spectrum Disorder (some Down participants can present other co-occurrent cognitive impairments). All sessions were videotaped just in case some data-driven results need to be reviewed or contrasted with the actual class experience.

Randomization and population's cognitive abilities

There were six different technology classes in Down Madrid where users were divided randomly, depending on their schedule availability. Individuals in each group have different IQ, cognitive competences and autonomy. Before the sessions took place, trainers were asked to complete information about each student. The data provided helped researchers understand the learning capabilities of each individual and are used as an input for integrating and merging data from the qualitative survey and the runtime results from game sessions. Information collected about each student covers three aspects that can influence in the learning process while playing the game: (1) neurocognitive functions, based on six domains defined by the SSA, the United States Social Security Administration, (2) previous experience using city-public transportation and (3) expertise in the use of technology and videogames.

The six cognitive domains relevant to SSA are general cognitive/intellectual ability, language and communication, memory acquisition, attention and distractibility, processing speed, and executive functioning (Occupational Information Development Advisory Panel [OIDAP], 2009). Each aspect was surveyed with a 5-point Likert scale (1 = *very low*, 2 = *low*, 3 = *medium*, 4 = *high*, 5 = *very high*). Reliability of the scale was good according to Cronbach's α coefficient (11 items, $\alpha = .93$, $> .8$) which means that the reliability of the method is considered adequate.



Figure 2: Trainers and researchers helping the students during a game session. [Colour figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

Based on the test completed by the trainers, we can differentiate between two types of users: medium-functioning (MF) users (SSA avg. score ≤ 3) and high-functioning (HF) users (SSA avg. score > 3). This classification is based on the current practice for grouping the users in the technology classes and can be useful to identify differences in how the users are playing depending on their cognitive features.

Trainers also completed information about the age of the students and their physical appearance to analyze whether they choose a videogame character similar to themselves and if that can promote learning transfer from the game to reality (Klimmt, Hefner, Vorderer, Roth, & Blake, 2010). Full explanations and references about this topic are available in the *Data Analysis* section, further in this article.

Sessions

Fifty-one participants played the game *Downtown, a Subway Adventure* in the Down Madrid facilities during May and June 2017. Sessions length were 1 hour. As previously stated, students were asked to play the game for at least three hours to be finally included in the case study.

ID individuals present difficulties in attentional control and literacy that impact in the use of the game and the learning process (Lanfranchi, Cornoldi, & Vianello, 2004). To minimize the effect of these conditions, two researchers and two trainers were helping the users during the sessions (Figure 2).

Participants began the sessions by listening to instructions about the operational mode of the game: controls, accessibility options, interface and an explanation about the tasks that they must accomplish. Each game session was individual: researchers provided an anonymous token to each user. Users have the same token in all of the game sessions that they play. The game sessions are identified by tracking both the timestamp when the game starts and the token of the user.

Then, they are asked to create and customize the main character of the videogame. They can choose between different types of hair styles, faces, bodies and apparel according to their personal preferences (Figure 3).

Students must navigate the accessibility menu provided by the game before starting to play with supervision from the trainers. They are asked to modify the pace of the game, the text size, the colors of the text and background and the volume of the dialogs and music. By adapting the accessibility options specifically for each individual, researchers make sure that the interface of the game is not interfering in the gameplay and the knowledge acquisition.



Figure 3: Down character selected in customization screen. [Colour figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

Once they are comfortable with the game environment, users start playing the game. The game offers four different levels (easy, medium, hard and expert). All users start playing in the easy level, and progress to the higher one once the previous is completed. Origin and destination sub-way stations, number of transfers and complexity of the route is assigned automatically by the game depending on the difficulty level chosen by the player/trainer.

We consider that one level is completed when all the tasks, missions and minigames included in the level are completed.

Downtown is a replica of Madrid (Spain) subway network where players can travel around the stations as they wish simulating the real environment. At the beginning of the game, users start their routes in a random station and are asked to travel to another one. Like in real life, they need to plan the route using the metro maps, choose the transfer stations and wait for the trains.

Observables

Data collected were anonymized and only linked with each user by the token provided at the beginning of the sessions. Only Down Madrid trainers (but not researchers) can relate each user with the game data.

The game does not collect any personal information. The variables collected about the user interaction are: character preferences, accessibility preferences, user id data, game session total time, time completing a session/minigame, total inactivity time, attempts to complete a minigame (number of fails before success), time traveling from origin to destination, number of correct/incorrect stations during the route, number of clicks in the accessibility menu during the game, number of clicks in "help" items, time completing tasks after help, number of attempts completing tasks after help and percentage of game progress for every timestamp.

Data analysis

The case study provides insight about the effectiveness of *Downtown* using an evidence-based model based on the data collected. More than three hundred thousand traces (ie, interaction data) were gathered and analyzed using GLA techniques. To organize and guide the analysis, we proposed six questions each with an associate hypothesis. The questions were determined by an

examination of the literature available as a result of observational methods (not data-based driven):

- Q1: Is the identification with the avatar an important issue when learning with an educational game?
- Q2: Do the cognitive skills of the users impact in their performance with the game?
- Q3: Do users with previous transportation training obtain better results in the game than users without training?
- Q4: Do heavy-technology users learn faster how to play with the videogame?
- Q5: Are videogames a motivational learning environment for users with ID?
- Q6: Does the game design impact on the way the users interact with the videogame?

To address these questions, the following hypothesis are tested:

- H1: Users that identify themselves with the avatar obtain better game results than users choosing a random character.
- H2: HF users do a better performance using the game than MF users.
- H3: Users with previous experience in transportation training have a better performance using the game.
- H4: Users that play videogames on a regular basis record better performances using the game.
- H5: ID users are engaged and motivate while learning with a videogame.
- H6: *Downtown's* game design is effective as a learning tool.

H1: Users that identify themselves with the avatar obtain better game results than users choosing a random character

Literature suggests that the more similar a videogame character is to each player, the easiest the learning transfer from the game to reality is and the best results in learning games they obtain (Griebel, 2006; Klimmt, Hefner, Vorderer, Roth, & Blake, 2010; Newman, 2002).

Data analyzed from *Downtown* showed that most of the users selected the preconfigured character despite the fact that they were asked to customize the avatar at the beginning of each game session. Thirty users (71.4%) stayed attached to their avatars while 12 (28.5%) users changed their avatars from one session to another. Trainers and researchers encouraged them to modify the main character and assisted the users in the process. None of the users selected the avatar with Down features, despite the trainers showed them the avatar and pointed that the avatar was Down.

After the analysis, we did not observe significant evidence in the user's play patterns between those players who customized the character and those who did not: average time completing levels, inactivity times and success/mistakes ratio are alike between the two groups of users. Our evidence-based analytics data initially refutes the statement presented in previous research (that mainly was derived from external observation) suggesting that more research is needed on the topic.

H2: HF users do a better performance using the game than medium-functioning users

As previously stated, cognitive abilities, skills and autonomy of the users were obtained using the SSA scale with the help of the trainers. Users were divided into two groups: 19 students (45.2%) were considered MF users and 23 (54.8%) were considered HF users depending on their SSA scores. Both groups of users are comparable in number for the analysis.

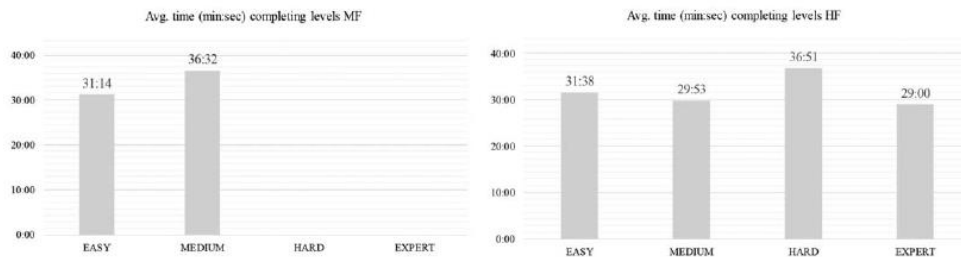


Figure 4: Average time (min: sec) completing levels for medium-functioning users vs. high-functioning users.

Data show that 86.9% of the HF users were able to complete the easiest level of the game and played the medium level compared to 36.8% of the MF users (We used the chi-square statistic to compare our dependent variables: $\chi^2 = 11.3815$, $p\text{-value} = .00074 < .05$. The results are statistically significant). Only 5.2% of the MF finished the medium level versus 39.13% of the HF users ($\chi^2 = 6.5787$, $p\text{-value} = .01032 < .05$. The results are statistically significant). However, despite the first impression of the trainers, average times completing tasks for MF users is almost the same compared to HF users while playing the easiest level (Figure 4). Note that as the cognitive abilities can highly vary from one user to another, the game was designed to offer very simple and intuitive tasks in the easiest levels.

Differences appear in medium level, where MF are not able to finish the tasks proposed or take too long to complete them. Some of the blockages, they encounter are: difficulty finding the right paths, confusion when finding and reading signals or disorientation when changing lines in the same station. This fact may occur for two different reasons: there are deficiencies in the game design (tasks are too complex) and/or the learning curve for MF users is slower compared to HF users, which means that they need more time to complete the tasks. According to the trainers' opinion, a difference of almost 7 minutes of gameplay is relatively high. Note that tasks in medium level are designed to be accessible enough for both groups, so there should not be differences between MF and HF performances. Neither of the only two MF users that completed the medium level could finish the levels hard or expert.

H3: Users with previous experience in transportation training have a better performance using the game

Downtown was developed as a supporting learning tool to include as supplementary content in the traditional transportation training provided by Down Madrid. Some of the users that played the game participated in previous transportation trainings and already knew how to move around the city using the public transportation system (17.6% of the total game population).

After playing *Downtown*, no significative differences were observed between previously trained and untrained students while playing the game regarding time completing tasks, inactivity times and success/mistakes ratio. Data show that the ability demonstrated when using the videogame or completing the tasks proposed by the game is independent of the previous experience using public transportation.

H4: Users that play videogames on a regular basis record better performances using the game

Of the students included in the research, 40.5% play videogames at home. Trainers considered them heavy-technology users based on their previous experience in class. They are used to handle mobile devices, PCs and consoles as neurotypical users. In this instance, data confirm that users that play commercial videogames in a regular basis completed the levels faster than

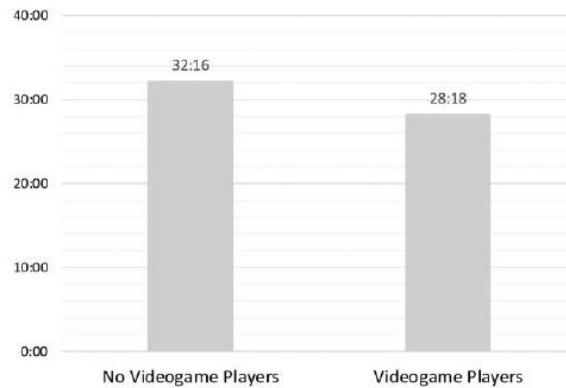


Figure 5: Average time completing tasks (min: sec): videogame players vs. non-players.

non-player users. Average time completing tasks for videogame players is 28:18 minutes which represent a difference of 12% less time than non-players (Figure 5).

There is also evidence that students that play videogames have less inactivity times and made less mistakes than non-players.

H5: ID users are engaged and motivated while learning with a videogame

Motivation and engagement are crucial in the learning acquisition process. ID users are slow learners due to their difficulties in the process of abstractions, conceptualization, generalization and learning transfer American Association on Intellectual and Developmental Disabilities [AAIDD], 2010). According to their trainers, they experience a lack of motivation in a short period of time, especially if the tasks to complete are difficult or monotonous.

We evaluated the user engagement analyzing the average inactivity time during game sessions (objective, using the data tracker) and reviewing the videos of the game sessions (subjective). We define inactivity time as the time elapsed between two events inside the game. The events in *Downtown* are automatic and related to tasks, which means that as soon as one task is completed another event pops-up. All the events are designed to be completed in a certain period of time, so we assume that if a new event is not appearing after that time, the user is “inactive” in the game. Inactive periods of time may be an indicator of discouragement.

We also reviewed the videos of the sessions, matching the heavy inactivity times with the records. Some users used the bathroom while playing the videogame or asked the trainers for help. That data were excluded from the analysis.

Data show that the average inactivity time is reduced by a 57.7% percentage average from session 1 to session 8 (Figure 6), which means that the users improved in the use of the videogame from one session to the following and, in combination with the decrease of mistakes through sessions, may suggest that the more they play the more engaged in the game they are.

H6: *Downtown*'s game design is effective as a learning tool

Latest research agree with the statement that SG provide more learning benefits compared to traditional teaching approaches, but empirical and data-based studies proving the effectiveness of serious gaming are still scarce (Roozeboom, Visschedijk, & Oprins, 2017; Torrente, del Blanco, Moreno-Ger, & Fernández-Manjón, 2012). We consider *Downtown* a supplementary content to the traditional training, not as a learning object per se, but our data can provide information

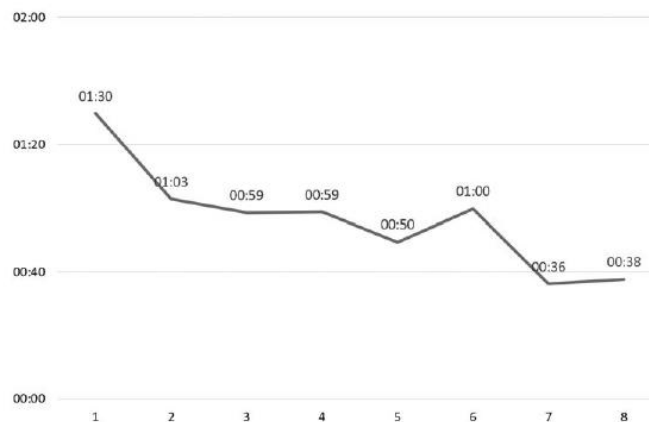


Figure 6: Average inactivity time through sessions (min: sec).

about the suitability of the game design's decisions made. Designing SG for ID students is complex and laborious because every mechanic must be adapted to their cognitive features and the intellectual skills of each individual are different.

Our data reveal promising results about how ID users can learn to interact with a SG. All the trainers agree that the use of *Downtown* would enhance the users' learning acquisition (Perceived Usefulness) (Davis, 1989) and plan to include it as supplementary content in the traditional training.

Each game sessions lasted 1 hour and during that time, students were asked to complete as many routes as they could. Each route takes between 10 (easy level) and 40 (expert level) minutes to complete. The higher the level, the longer the path and, consequently, the more time spent playing in that level. We decided to adjust the time for each level depending on two factors: (1) the advice of the psychologists and trainers and (2) the time that it would take to complete the route in real life.

During the sessions, all of the students were allowed to rest, go to the bathroom, talk with the trainers, etc to minimize the effect of mental fatigue. Thus, the number of routes completed by each individual was different. Most of the users (85.8%) were able to reach a destination, by following the right path, proposed by the game (both MF and HF).

Half of the mistakes and wrong paths (50.8%) occurred during the first 30 minutes of effective playing, once they completed two or three routes (Figure 7).

Since the difficulty of the paths proposed increase in each level, the fact that the mistakes are made at the beginning of the sessions may suggest that the users are learning how to interact with the game.

Once that they know how the video game works the routes are more accurate and the mistakes rate decrease. These figures suggest that users are improving in the use of the game.

The fact that almost all the students completed at least one route without mistakes means that the instructions and tasks proposed in the game are clear and well-adapted to a wide range of ID users, despite their cognitive abilities. Moreover, all the students improved their performance from one session to another, although the complexity of the tasks increase in higher levels.

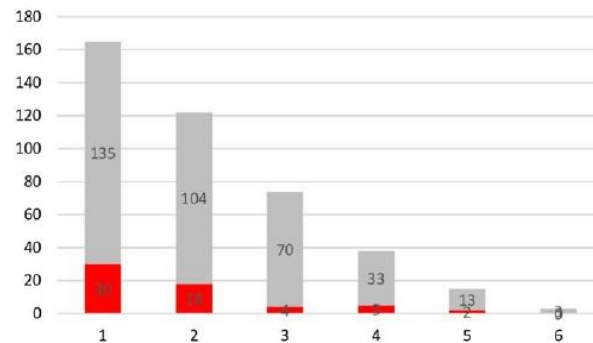


Figure 7: Number of correct (grey) versus incorrect stations (red) per game session. [Colour figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

Conclusion

This paper describes the methodology and main outcomes of the case study to validate the game design of *Downtown* using GLA techniques. Data obtained allow us to contrast the design decisions to validate the game. After reviewing the data, the results validated in both the game design and the tasks and activities proposed in *Downtown* as a potential supplementary tool to train skills in transportation. There is evidence based on the analytics data that the game is adapted to the cognitive skills of the users despite the very variable degree of their intellectual abilities.

Both MF and HF individuals did experience improvement performing the activities proposed by the game despite the negative initial impression of the trainers, who thought that the only ones who would improve were the HF users. All the trainers agree that the use of *Downtown* would enhance the user learning acquisition.

Although the results show a tendency for users to use the same character in all the sessions, we did not observe differences in the play patterns between the players that customized the character and those who did not. Future research will have to show if hypothesis number one is valid with users that play the game before doing the actual training in the subway.

HF users were able to complete more levels in a shorter period of time than MF users. HF users perform the tasks proposed by *Downtown* faster and with less errors than MF users. These facts are consistent with the number of mistakes and the average inactivity times of HF users, that are lower.

Results suggest that users need to understand how the videogame works (mechanics, interface and controls) before starting to assimilate the game content. Previous training on transportation seems to have no impact on game performance. Users that were previously trained commented things like “the subway looks so real” or “I travel this line every day” but their performances inside the game were not different compared to untrained users. As expected, users that play videogames completed the levels faster than non-players.

Trainers consider the game a positive and motivational learning environment: almost all the users show improvement and engagement performing the videogame tasks. The fact that almost all the students completed at least one route without mistakes, the gameplay improvement through sessions and the low-mistake ratio are good indicators about the appropriateness of the game design.

In future studies, we would like to confirm the value of the game as a learning tool based on learning outcomes after playing the game. Phase two will take place in Madrid during December 2017. A group of users that played the game in phase one will combine on-site training in the

subway with game sessions and will be compared to untrained players. Data will be collected, analyzed and compared to pretest and posttest data collected by the trainers. The results of this further investigation will give more information about the learning patterns, outcomes and the effectiveness of the game as a learning tool.

Statements on open data, ethics and conflicts of interest

Full research protocol was examined by the Down Madrid Ethics Committee before the beginning of the study and approval was granted. Down Madrid included the testing of *Downtown* in their mobility program. All of the ID students and their families were carefully informed and agree to participate in the study while enrolling in the technology classes. Furthermore, all the data gathered were anonymized and exclude any personal information (besides the age of the users, for statistical purposes). Only Down Madrid, not researchers, can match the information analyzed with each student, as described in section “Observables,” in order to help them in the training process. Informed Consent between researchers and Down Madrid is attached when submitting this paper.

Rights and exploitation over data belong exclusively to Down Madrid and Complutense University of Madrid and can be only used for research purposes defined in the experimental design. Data are stored in the e-UCM group repository and is available upon request. For more information can be contacted at anarcano@ucm.es

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors thank the assistance of Maria Luisa Berdud, Director of the TIC Service in Fundación Síndrome de Down de Madrid, for her assessment in choosing the users, providing the facilities for the research and her commitment with the project. The CEIEC Institute has been partially funded by the Francisco de Vitoria University (UFV-2015-05). This work has been partially funded by Regional Government of Madrid (eMadrid S2013/ICE-2715), by the Ministry of Education (TIN2013-46149-C2-1-R, TIN2017-89238-R) and by the European Commission (RAGE H2020-ICT-2014-1-644187, BEACONING H2020-ICT-2015-687676, Erasmus+ IMPRESS 2017-1-NL01-KA203-035259).

References

- American Association on Intellectual and Developmental Disabilities (2010). *Intellectual disability: Definition, classification, and systems of supports* (11th ed.). Washington: Author. ISBN 978-1-935304-04-3
- Ablegamers Foundation (2012–2017). *Game Accessibility Guidelines*. Retrieved March 9, 2016, from <http://gameaccessibilityguidelines.com/>
- Burack, J., Hodapp, R., & Zigler, E. (1988). Issues in the classification of mental retardation: differentiating among organic etiologies. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 29, 765–779.
- Cano, A., Fernández-Manjón, B., & García-Tejedor, Á. (2015). Highlights in the literature available in serious games for intellectual disabilities. *ICWL International Conference on Web-Based Learning*. Guangzhou, China.
- Cano, A., Fernández-Manjón, B., & García-Tejedor, Á. (2016). *Downtown, a subway adventure: using learning analytics to improve the development of a learning game for people with intellectual disabilities*. Austin, TX: IEEE Computer Society Publications, ICALT Advanced Learning Technologies.
- Chang, Y., Kang, Y., & Liu, F. (2014). A computer-based interactive game to train persons with cognitive impairments to perform recycling tasks independently. *Research in Developmental Disabilities*, 35, 3672–3677. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.09.009>
- Connolly, T., Boyle, E., MacArthur, E., Hainey, T., & Boyle, J. (2012, September). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education*, 59, 661–685.

- Davis, F. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13, 319–340. doi:10.2307/249008
- Freire, M., Serrano-Laguna, Á., Iglesias, B. M., Martínez-Ortiz, I., Moreno-Ger, P., & Fernández-Manjón, B. (2016). Game Learning Analytics: Learning Analytics for Serious Games. In Learning, Design, and Technology (pp. 1–29). Cham: Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-319-17727-4_21-1
- Griebel, T. (2006). Self-portrayal in a simulated life: projecting personality and values in the Sims 2. *The International Journal of Computer Game Research*, 6. Retrieved from <http://www.gamestudies.org/0601/articles/griebel>
- Kato, P. & de Klerk, S. (2017). Serious games for assessment: welcome to the jungle. *Journal of Applied Testing Technology*, 18, 1–6.
- Klimmt, C., Hefner, D., Vorderer, P., Roth, C., & Blake, C. (2010). Identification with video game characters as automatic shift of self-perceptions. *Media Psychology*, 13, 323–338.
- Kwon, J., & Lee, Y. (2016). Serious games for the job training of persons with developmental disabilities. *Computers & Education*, 95, 328–339. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.001>
- Lanfranchi, S., Cornoldi, C., & Vianello, R. (2004, November). Verbal and visuospatial working memory deficits in children with Down syndrome. *American Journal of Mental Retardation*, 109, 456–466. doi: 10.1352/0895-8017(2004)109<456:VAVWMD>2.0.CO;2
- Long, P., & Siemenes, G. (2011). *Penetrating the fog: analytics in learning and education*. Paper presented at the 1st International Conference on Learning Analytics and Knowledge. Banff, Alberta, Canada.
- Michael, D., & Chen, S. (2006). *Serious games: games that educate, train, and inform*. Boston, MA: Thomson Course Technology, c2006.
- Newman, J. (2002). The myth of the ergodic videogame. *The International Journal of Computer Game Research*, 2. Retrieved from <http://gamestudies.org/0102/newman/>
- OIDAP, Occupational Information Development Advisory Panel. (2009, June 8). *Mental cognitive subcommittee: content model and classification recommendations*. Retrieved from <https://www.ssa.gov/oidap/Documents/AppendixC.pdf>
- RAGE H2020 Project. (2014–2017). *RAGE realising an applied gaming ecosystem*. Retrieved from <http://rageproject.eu/>
- Roozeboom, M., Visschedijk, G., & Oprins, E. (2017, January). The effectiveness of three serious games measuring generic learning features. *British Journal of Educational Technology*, 48, 83–100. doi: 10.1111/bjet.12342
- Serrano-Laguna, A., Martínez-Ortiz, I., Haag, J., Regan, D., Johnson, A., & Fernández-Manjón, B. (2017). Applying standards to systematize learning analytics in serious games. *Computer Standards & Interfaces*, 50, 116–123. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.csi.2016.09.014>
- Torrente, J., del Blanco, A., Moreno-Ger, P., & Fernández-Manjón, B. (2012). *Designing serious games for adult students with cognitive disabilities*. Paper presented at the 19th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP2012). Doha.

6.6 Game Analytics Evidence-Based Evaluation of a Learning Game for Intellectual Disabled Users

6.6.1 Cita completa

Cano, A. R., García-Tejedor, A, Alonso-Fernández, C. & Fernández-Manjón, B. (2019). **Game Analytics evidence-based evaluation of a learning game for intellectual disabled users**. IEEE Access. <http://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2938365>. ISBN: 2169-3536

6.6.2 Resumen original de la publicación

Learning games are becoming popular among teachers as educational tools. However, despite all the game development quality processes (e.g., beta testing), there is no total assurance about the game design appropriateness to the students' cognitive skills until the games are used in the classroom. Furthermore, games designed specifically for Intellectual Disabled (ID) users are even harder to evaluate because of the communication issues that this type of players have. ID users' feedback about their learning experience is complex to obtain and not always fully reliable. To address this problem, we use an evidence-based approach for evaluating the game design of *Downtown, A Subway Adventure*, a game created to improve independent living in users with ID. In this paper we exemplify the whole process of applying Game Analytics techniques to gather actual users' gameplay interaction data in real settings for evaluating the design. Following this process, researchers were able to validate different game aspects (e.g., mechanics) and could also identify game flaws that may be difficult to detect using formative evaluation or other observational-based methods. Results showed that the proposed evidence-based approach using Game Analytics information is an effective way to evaluate both the game design and the implementation, especially in situations where other types of evaluations that require users' involvement are limited.

6.6.3 Referencias de citas bibliográficas de la publicación

(Michael & Chen, 2005); (Conolly et al., 2012); (Wouters et al., 2013); (Freeman et al., 2014); (Prieto de Lope et al., 2015); (Rigaki et al. 2019); (APA, 2013); (González-Ferreras et al., 2017); (Lanfranchi, Cornoldi y Vianello, 2004); (Tsikinas et al., 2011); (Hulusic y Pistoljevic, 2017); (Kato y de Klerk, 2017); (Serrano-Laguna et al., 2017); (Djuric-Zdravkovic et al., 2010); (Kirk et al. 2015); (Rahman et al., 2011); (Rogers, 2014); (Hunicke, LeBlanc y Zubek, 2004); (Cano, García-Tejedor y Fernández-Manjón, 2018); (McLeskey, Rosenberg y Westling, 2012); (Rodrigues, Zárata y Isotani, 2018); (Freire et al., 2016); (RAGE)

Date of publication xxxx 00, 0000, date of current version xxxx 00, 0000.

Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2019.Doi Number

Game Analytics Evidence-Based Evaluation of a Learning Game for Intellectual Disabled Users

Ana Rus Cano¹, Álvaro García-Tejedor², Cristina Alonso-Fernández¹ and Baltasar Fernández-Manjón¹, Senior Member, IEEE

¹ Department of Software Engineering and Artificial Intelligence, Complutense University of Madrid, Spain

² CEIEC Centro de Estudios e Innovación en Gestión del Conocimiento, Francisco de Vitoria University, Madrid, Spain

Corresponding author: Ana Rus Cano (e-mail: anarcano@ucm.es).

ABSTRACT Learning games are becoming popular among teachers as educational tools. However, despite all the game development quality processes (e.g., beta testing), there is no total assurance about the game design appropriateness to the students' cognitive skills until the games are used in the classroom. Furthermore, games designed specifically for Intellectual Disabled (ID) users are even harder to evaluate because of the communication issues that this type of players have. ID users' feedback about their learning experience is complex to obtain and not always fully reliable. To address this problem, we use an evidence-based approach for evaluating the game design of *Downtown, A Subway Adventure*, a game created to improve independent living in users with ID. In this paper we exemplify the whole process of applying Game Analytics techniques to gather actual users' gameplay interaction data in real settings for evaluating the design. Following this process, researchers were able to validate different game aspects (e.g., mechanics) and could also identify game flaws that may be difficult to detect using formative evaluation or other observational-based methods. Results showed that the proposed evidence-based approach using Game Analytics information is an effective way to evaluate both the game design and the implementation, especially in situations where other types of evaluations that require users' involvement are limited.

INDEX TERMS evidence-based learning, game analytics, game design, game evaluation, intellectual disability, learning games, serious games

I. INTRODUCTION

Recently, Learning Games (also known as serious games, educational games or applied games) became popular learning tools so there are many research and application projects about this type of games [1]. Most of the literature available praises their advantages compared to traditional teaching methods, like the positive attitude of the students toward the games or the authentic highly interactive learning environment that they promote [2][3][4][5]. However, more research about how to create effective designs that optimize both the development process and the adequacy of the game mechanics to the users' cognitive abilities is still scarce [6] [7].

This problem is particularly evident when developing an educational game for people with Intellectual Disabilities (ID) [8]. The American Psychiatric Association defines intellectual disabilities as neurodevelopmental disorders that begin in childhood and are characterized by intellectual difficulties as well as difficulties in conceptual, social, and practical areas of living [9]. In particular, users with ID

present certain cognitive characteristics that affect the way they learn like limited memory, difficulty sustaining attention during long periods of time or confusion in the process of abstraction, conceptualization and transferring the conceptual learning to real settings [10].

ID students acquire skills and knowledge at a different pace than neurotypical learners and face a set of learning challenges that should be taken into account when designing learning games [11]. As ID users typically struggle with communication problems [12], the application of traditional observational methods for evaluating learning games is complex, expensive and even not fully reliable [13]. Serious game designing process is a complex task where there are not standardized methodologies to guarantee that the designers' ideas are adequately translated into playful game mechanics (e.g. missions, minigames) [14]. Beta testing and early user involvement are common formative evaluation practices to test and improve serious games [15], but some users, such as students with ID, have

specific peculiarities, like communication problems, that make these practices even more challenging.

As budget is usually very limited, and the game testing in ecological situations (real users, actual environment) is so complex and expensive, developers usually have no assurance about the effectiveness of their game designs and the adequacy of the final product to the users' skills. This often means that game shortcomings are identified too late after testing the final game in the actual class [16].

In this paper we present an evidence-based approach for evaluating the game design of *Downtown, A Subway Adventure*, developed for players with ID. The purpose of this game is to help the users in navigating in the complex Metro network of Madrid (a public subway system) and acquire skills to solve problems that can appear when traveling independently. We consider that this approach can be used as a reference and somewhat can be generalized to other game designs and developments created for users with ID. The game includes the use of Game Analytics techniques, to verify if the game objectives are appropriate and were accomplished by the users that tested the game.

The structure of the paper is as follows: Section 2 presents related work on serious games for individuals with disabilities. Section 3 briefly describes our game *Downtown, A Subway Adventure*. In section 4 we explain the approach used for the evaluation of the design and development of the game, describing each of the stages. An analysis of the data obtained through the traces collected is shown as a result in section 5. Section 6 summarizes the outcomes from the data analysis and the conclusions obtained.

II. RELATED WORK

Previous research has addressed different applications of learning analytics in serious games. However, few research studies have investigated the needs of individuals with

cognitive disabilities [17]. The work of [18] reviewed the effects of serious games on people with intellectual disabilities or autism spectrum disorder and found that games had a positive impact on the players.

The games tested with users with disabilities were mainly computer serious games; we have not found many studies where more advanced technologies (e.g. augmented reality) are applied to players with intellectual disabilities [19]. From our experience, the use of physical immersive devices in users with intellectual disabilities is discouraged by their trainers and educators, as most of them get anxious and uncomfortable when they are touched (especially these with Down syndrome or Autism) and most of them present limitations in the communication capabilities [12], which leads to a lack of concentration when playing the game.

We didn't find any research that can be comparable with *Downtown* in its educational purpose (training ID users in Subway transportation) or typology of targeted users (wide range of users with ID like Down syndrome, ASD or mild cognitive disability).

Regarding the analysis to be performed on the collected data, the sample size restricts the application of artificial intelligence techniques as they require a high amount of data. However, comparing our work with the applications of data science to game and learning analytics data in general contexts [20], we consider that the sample size reached for participants with intellectual disabilities is highly representative. The number of students with ID in each classroom is substantially lower compared with other ordinary educational environments. With larger samples, artificial intelligence techniques could be adequate to improve the game, but their application will increase the already high costs and delay the gathering timelines.

III. DOWNTOWN, A SUBWAY ADVENTURE

Downtown, A Subway Adventure is a 3D realistic graphic



Figure 1. The game is designed realistically to promote the learning transfer to reality. Snapshot of the interior of a wagon in *Downtown* (left) and the real wagon in the subway of Madrid (right)

adventure game specifically designed for players with ID, like Down syndrome, certain types of ASD (Autistic Spectrum Disorder) or Mild Cognitive disabilities. The aim of the game is to train the students in moving around the city using the public subway system to promote their autonomy, improving their independent life.

The game was designed as a tool for trainers in the transportation program instructed in Down Madrid, one of the biggest educational associations for ID adults and their families in Spain. Madrid subway network is simulated in the game in a 3D realistic perspective (Figure 1), to help users in transferring the in-game experience to the real world when they are traveling by their own. When playing *Downtown* the users must travel around the subway map finding objects and reaching specific destinations. While the user is traveling, different tasks and events automatically pop-up. These tasks not only train the users but also promote the acquisition of other skills that educators find useful to promote independency, like eye-hand coordination, short-term memory, language skills or spatial memory. The game is also enriched with other situations that are more difficult to train in real life, as how to respond to unwanted social interactions with other travelers or how to deal with access machines malfunctions.

Next section explains in detail the objectives, the tasks proposed and the mechanics of the game as well as the process followed to design and develop *Downtown*.

IV. DESIGN AND DEVELOPMENT PROCESS OF DOWNTOWN

To address the several issues of designing and developing serious games for users with intellectual disabilities, we propose an evidence-based approach driven by Game Analytics data. We have tested this approach in the design and development process of the serious game *Downtown*. The process is divided in four stages as depicted in Figure 2.

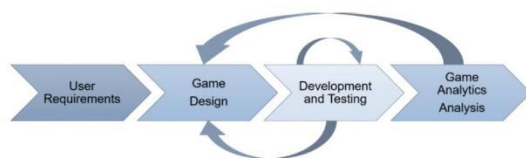


Figure 2. Design and development process cycle used in *Downtown*, A Subway Adventure

To assure that both the educational purpose and the playability of the game are represented in the design and then adequately transferred into the game implementation, we involved in our design and development process three main stakeholders: (1) psychologists and trainers, which main role is to assure the adequacy of the game and its mechanics to the disabled users' cognitive features and abilities (2) researchers and developers, which role is to assure the

playability and accessibility of the learning game and (3) ID users, which role is to early and continuously test the game and provide feedback about the learning experience. We consider that including these actors in the design and development process is a must that, even adding some complexity to the development, in the medium/long run can help to optimize and reduce the total cost of a serious games. Next, we describe each of the stages of the process and their incomes/outcomes.

A. OBTAINING USER REQUIREMENTS FROM EXPERTS

For designing *Downtown*, we interviewed four experts (psychologists and trainers) from Down Madrid to identify the main barriers affecting the capacity of the users about learning concepts with a videogame and other general issues that may affect to their ability for traveling in the subway independently.

The trainers provided a list of aspects that ID students typically find difficult to, like sustaining attention in one particular activity during long periods of time (their attention becomes easily dispersed so any distraction or event that is not directly related with the task which they are working on can scatter it), understanding sequential instructions given at the same time, addressing new problems (even though they could be similar to others than they solved before), executing tasks under time pressure or persisting if don't receive constant feedback [21] [22] [23]. These cognitive characteristics, among others, shaped and delimited the design of *Downtown* since the very beginning of the process.

The game design was guided by these characteristics and included features to fulfill these requirements, for instance, dynamics were included to sustain attention, instructions were constantly kept in screen for users to be able to go back to them easily (Figure 3), no time constraints were set for any part of the game, and constant feedback was provided to players.

Trainers also asked researchers for specific in-game tasks, finally implemented as minigames, to help them improve problem-solving strategies and other skills that can be useful when traveling independently. In particular, minigames should train spatial vision, short-term memory, numerical sequencing and eye-hand coordination.

B. GAME DESIGN

Game Design can be described as the process of designing the rules, the story, the content and the mechanics of a videogame [24]. Usually, this is a creative phase where designers have freedom to create a compelling and engaging game universe. But when developing a game for ID users some of the options are limited by the restrains of their capabilities, as previously explained.



Figure 3. The game asks for tasks sequentially and remain in the screen to help the user remind what the ongoing duty is

First thing in the game design stage is to define the main objectives of the game and the mechanics associated to them. In particular, *Downtown* was designed to accomplish two main educational objectives:

1. Complete a random subway route assigned by the game, changing trains when required
2. Improve the abilities identified by the trainers, required to travel independently: spatial vision, short-term memory, numerical skills and eye-hand coordination)

According to Hunicke [25] a mechanic describes the particular components and dynamics of the game, at the level of data representation and algorithms. Mechanics define the game user interaction and should take into account the specific ID user barriers identified in the requirements phase.

In *Downtown* the user must help the police following and capturing a robber that is traveling in the subway. The game assigns a random starting and ending station and the user must complete the route changing trains when required. There are four levels (easy, medium, hard and expert) that can be selected by the user or the trainer. The length of the route and the number of transfers are related to the difficulty level, from no transfers in easy level to three transfers in the expert level.

Downtown map is designed as a sandbox scenario where users can explore and travel freely through the Madrid Metro map but each game session is programmed to last between 20 and 40 minutes, based on the level of difficulty. This means that the users do not have time pressure while completing the tasks, but educators and researchers can use this observable to analyze the performance of the users while playing.

During the progress of a game session, the game automatically assigns tasks accordingly to the level of difficulty selected. The higher the level, the more difficult the tasks are. Contextual instructions will be given to the user to

find a correct route. Each instruction proposed by the game launch a different problem that the user needs to solve in order to complete the game.

There are also secondary in-game tasks that pop-up during the game that are designed as minigames inside the main plot of the game. These tasks were designed following the specific requirements of the trainers, as described in the previous subsection. Their purpose is not only to sustain the engagement of the users offering new challenges, but also to train practical skills that may be useful when traveling in the subway by their own. These minigames make the progress of the game more dynamic and fun, maintaining the whole game flow.

The resolution time of the minigames and other observables are also tracked and analyzed to evaluate the performance of the users while resolving specific tasks, but users do not have any visual hint of the time spent as we also want to avoid the time pressure element in those minigames.

The main mechanics of the four minigames are described in Table 1.

TABLE I
MAIN MECHANICS ASSOCIATED TO THE MINIGAMES THAT POP-UP DURING A GAME SESSION

Minigame	Skill	Mechanic
Message in a puzzle	Spatial vision	The user has to rotate and sort the pieces of a puzzle to complete a "coded" message. The message gives the user the name of the next station to travel to. The number of pieces in the puzzle increases with the difficulty level.
Simon	Short-term memory	A button-like machine appears in the screen and gives the user a sequence of lights. The user has to remember a sequence of colors and the order of the lights to complete the minigame. The length of the sequence depends on the difficulty level (from 3 colors in the easy level to 6 colors in the expert level)
The safe box	Numerical sequencing	The user finds a safe box in a metro station. To open it and get the clue about the next destination the user has to remember a sequence of numbers. The length of the sequence depends on the difficulty level (from 3 numbers in the easy level to 6 numbers in the expert level)
Shoot your camera	Eye-hand coordination	Once the user reaches the final destination, the game asks for a picture of the robbers. The number of people that should appear in the picture depends on the difficulty level (from 1 character in the easy level to 4 characters in the expert level)

C. DEVELOPMENT AND TESTING

Downtown is a complex game due to its features, learning goals and target players that we have already discussed. We applied SCRUM as the development methodology to have flexibility for testing the game mechanics at the end of each development cycle. This method allowed us to analyze if the initial design was playable to the users' motor and cognitive skills. Down Madrid ID users' beta-tested *Downtown* game six times before releasing the final version, playing parts of the game as they were developed (formative evaluation observed by experts). This feedback provided useful information about the playability and the user experience, reporting what initial game design decisions worked or didn't work. After releasing the final version of *Downtown*, the game was re-engineered to collect the relevant user interaction data using game analytics, so researchers can evaluate the effectiveness of the game.

1) METHODOLOGY

The final version of the game was formally evaluated in an actual classroom. A quasi-experimental design was used to evaluate if the game objectives were achievable by the users and therefore, the game design was adequate to their skills and abilities. The testing sessions took place in the facilities of Down Madrid (Spain). The testing sessions were performed with the totality of the Down Madrid students that attend to the technology class: Fifty-one (51) adults, ages between 19 and 41, with diverse types of intellectual disabilities played the game for three one-hour sessions of effective playing ($n=51$, $M_{age}=29$, $SD_{age}=7.07$). *Downtown* has four difficulty levels. All the players started playing in the easy level and were allowed to start the next difficulty level once they completed all the routes and minigames proposed by the game.

Users were randomly divided in six groups, depending on the schedule availability of each student. Individuals in each group had different IQ, cognitive competences and autonomy. Thirty users were Down (58.8%) while Twenty-one (41.2%) had another type of ID like, Mild Cognitive disability or certain types of ASD.



Figure 4. Users playing *Downtown* during a testing session

All the players played *Downtown* a total of 3 hours. Both trainers and researchers conducted the training sessions, giving advice and helping the users when needed (Figure 4). Parents, guardians and the users themselves were informed about the study and approved the data gathering by signing a consent form.

All the data captured was anonymized to guarantee the privacy of the users. Only trainers, not researchers, were able to match the data with the students for later assessment purposes.

Initial experiment results about gameplays, engagement and the general motivation of the students playing with the game and a more detailed explanation about the methodology used were published in [26], where interaction data was analyzed to refute or validate some of the assumptions that educators expected from the game sessions (e.g., user performance depending on their degree of functionality or user attachment with the main character).

D. GAME ANALYTICS ANALYSIS

One of the major problems that trainers find while working with ID users is the difficulty obtaining reliable feedback about the learning experience of the students. Communication problems are frequent in people with ID, so traditional game evaluation methods, like tests or questionnaires, are not as reliable as when used with neurotypical students [27].

Using evidence-based methods can help both educators and researchers to address this issue. Educators can benefit by obtaining near real-time game user interaction data about the performance of the students while they are playing a game (e.g., they can monitor when users get stuck in one task, check their number of fails vs wins, etc.). Researchers need to validate the decisions made in the game design understanding the capabilities of the users [28], the restrictions that may apply to the design and the learning goals that the trainers expect users to achieve with the game [29].

To address this issue, we applied Game Analytics techniques that can be defined as the process of analyzing the interaction data in serious games, trying to obtain relevant information about the users' behavior in the game (and their learning process in the case of learning games in what has been called game learning analytics [30]).

Downtown game includes a tracker module for sending out relevant in-game information about the users' gameplay interactions. The tracker is open source and has been developed as part of the H2020 RAGE project [31]. All the information captured follows the standard xAPI (Experience

Application Programming Interface), a new specification for collecting, storing and reporting user interactions on learning systems [13]. All this analytics data gathered during the gameplay was sent to a cloud-based data analytics server that provides analyses and dashboards visualizations in near-real time. Using the data analytics services, trainers and researchers were monitoring the users' performance during the game sessions, allowing to identify students that were struggling and helping them when required.

1) IN-GAME METRICS

The tracker captured timestamped information about all the user interactions within the game. Every time an event occurs (e.g., starting/ending a game session, reaching a station, starting/ending a minigame or interacting with the interface elements), the tracker sends out the information to an online server that provides dashboards and metrics visualizations. With all the interaction information, the following metrics were used to perform an analysis to verify if the objectives of the game were accomplished, and therefore validate the design:

- **Total game session time** referred to the average total time spent in one level, from the selection of the character to the completion of the final mission. We consider that one level is complete once a user reaches the final station proposed by the game. If users are able to complete an entire game session, means that they are understanding the mechanics and that they are following the correct route to reach the destination.
- **Average time completing routes** is the time that the users spend traveling in the metro wagon. This time also includes the time spent changing trains when a transfer is required.
- **Inactivity time:** When the user is not progressing in the game (e.g. minigames are not launching because the user is not completing tasks or when the user is clicking randomly in the interface buttons) we consider that the user is inactive. Evidence of high inactivity times in a particular task or level may suggest that the users are having troubles understanding or resolving a mechanic. The inactivity time can also give researchers insights about the engagement of the users in the tasks proposed by the game. Long periods of inactivity time may suggest a passive attitude of the user towards the game and so, a deficit of attention.
- **Overall minigame performance** referred to the number of attempts to resolve a minigame and the total time spent in completing it.

- **Other observables:** like the use of the accessibility options, the number of clicks in the help button or how many times the user consults the metro map.

Using all the in-game data analytics gathered, we created specific constructs to validate the design and the development process of *Downtown* but we consider that this approach can be generalized to other game designs for ID users. Through these constructs we can analyze the data obtained and identify design anomalies. If no anomalies are found in the data analysis, we consider that the game design is adequate for the users. If we find inconsistencies in the data analyzed, next step would be to diagnose the design problem.

V. RESULTS

This section provides an overview about the data analysis conducted at the end of the design and development process. The purpose of the analysis is to verify if the main objectives of *Downtown*, and therefore its game design, is adequate and achievable by the users. More than 163.000 data points regarding the users' interaction data were included in the analysis. Both trainers and researchers took part in the process: data collected were analyzed by the researchers and it serves to validate or refute the impressions of the trainers about the interaction of the users with the game. The purpose of this process is to confirm if the game can be used as a learning tool. It is also an example of how to use Game Analytics to validate a game design and its mechanics, identifying errors.

A. TOTAL GAME SESSION TIME

At the beginning of the game design phase, experts believed that not all the users were going to be able to complete the routes proposed by the game, which is the main objective of *Downtown*. To verify this hypothesis, we analyzed the average total game time and the average number of incorrect stations transited in a game session.

92.15% of the users ($n=47$) were able to complete at least one correct route during the game sessions. Only four Down users were not able to reach any destination ($n=4$, 7.85%). More than 72.8% of the incorrect paths occurred in the first 30 minutes of playing which suggest that the users needed to play the game at least once to fully understand the mechanics of the game and be familiar with the interface (note that the users played the game for three hours). This result was not consistent with the initial experts' expectations in the game design phase but confirms that both the tutorial of the game and the difficulty levels were adequate for the users.

Trainers also expected that the ID users that play videogames in a regular basis as part of their daily life entertainment ($n=21$, 41.1%) would complete the tasks faster and would do less mistakes than the rest of the users. Only 10.56% of the

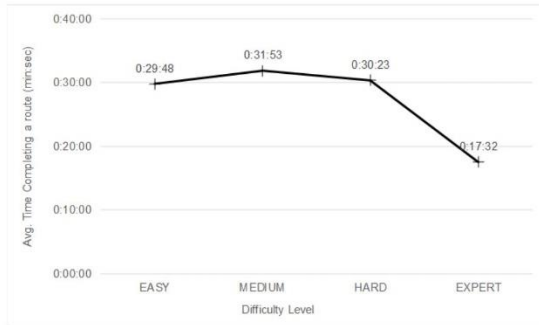


Figure 5. Average total session time per difficulty level routes followed by those ID players were wrong, compared to a 20.37% of the non-players routes ($\chi^2 = 4.3761$ p -value = 0.0364 < 0.05). The results are statistically significant). The average time completing tasks for ID players was 28:18 minutes, compared to the non-players that spent an average of 32:16 minutes per game session which confirms the initial opinion of the trainers.

B. AVERAGE TIME COMPLETING ROUTES

The experts also aimed to verify if the complexity of the difficulty levels was well-adjusted to the users' cognitive skills, so they could adapt and customize the game sessions to the capabilities of each user in the classroom. We analyzed the average time completing routes of all users per difficulty level to validate the design of the game levels.

In average, users spent 30:41 minutes completing a route in the levels easy, medium and hard. The expert level is not significant for the analysis as there were only five users that reached the expert level ($n=5$). All these users were regular players and their capacities were above the average, according to the trainers.

When analyzing this observable, we found that it takes more time to complete the medium level than the easy and hard level (Figure 5). As stated before, *Downtown* automatically assigns random starting and ending stations, depending on the level of difficulty that the users are playing. In the easy level, the route is direct, which means that there are no transfers during the journey. The number of transfers increases progressively with the levels: one transfer in medium level, two in hard and three in the expert level. Thus, the higher the level, the more time that the user needs to reach the final destination.

Researchers find two possible explanations for this abnormality: (1) the tasks are not appropriate for the users' cognitive abilities, so they are getting stuck in the medium level trying to complete it or (2) there is a design/development flaw in the game when assigning the routes.

C. AVERAGE INACTIVITY TIME

One method to verify if the design of the tasks is adequate to the users is to analyze the average inactivity time (Figure 6). If the users are playing the game and are not 'inactive' means that they are understanding the mechanics proposed by the game.

This metric decreases as the users reach higher levels, from an average of 00:55 seconds in the easiest level to 00:32 seconds (-41.8%) in hard and expert levels (Figure 6) and is not co-related with the average time completing routes. This data is in accordance with the initial expectations of the trainers: even though the complexity of the routes proposed by the game increases as the difficulty level is higher, the users are more 'active' because they have previously learned the mechanics of the game and understand better how to resolve the puzzles. Trainers also noticed that the users asked less for help as the difficulty level of the game increases.

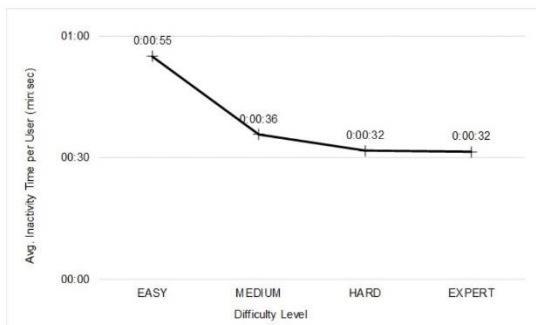


Figure 6. Average inactivity time per difficulty level

The analysis suggests that the design of the tasks is in accordance with the users' competences.

D. AVERAGE NUMBER OF STATIONS TRANSITED

As data showed no abnormal behavior of the average inactivity time, we analyzed the average number of stations that the users transited during a game session, sorted by level (Table 4) and found that the number of stations is higher in medium level than in hard and expert level. Also, this number remains the same in hard and expert level.

This evidence indicates that the game is not accurately selecting the optimal routes for the levels to be balanced what can be considered a flaw in the development of the game.

Researchers think that even though almost all the users completed the routes that the game asked, and so the objective of the game can be considered as achieved from an observational perspective, the game analysis uncovered a design flaw that is making the users complete the paths slower than they should. This bug could have been difficult

to detect using formative evaluation or other observational-based methods.

TABLE II
AVERAGE NUMBER OF STATIONS TRANSITED IN A GAME SESSION SORTED BY DIFFICULTY LEVEL

Difficulty level	Average number of stations transited per route
Easy	5
Medium	11
Hard	10
Expert	10

E. OVERALL MINIGAME PERFORMANCE

Trainers and researchers designed four minigames to train four skills that can be useful when traveling in the subway. These minigames are embedded in the main plot so they break the routine of the game and promote the user engagement (Figure 7). By analyzing the average completion time of each minigame, experts could evaluate the competences of the users related to each skill.

From a general perspective, users spent more time and did more mistakes in the Simon minigame (short-term memory) and in the in-game camera minigame (eye-hand coordination) and obtained better results in the puzzle (spatial vision) and safe box (numerical sequencing) minigames (Figure 7).



Figure 7. Screenshots of the minigames (puzzle, Simon, safe box, camera)

In the puzzle minigame all the users put the pieces in their place without mistakes, even though the number of pieces increased with the difficulty level. The average resolution time remained constant in all levels (01:32 minutes) which is considered normal by the experts, as the users played puzzles with the computer before.

The resolution time of the safe box minigame remains constant between levels too (01:23 minutes). Only two users out of Twenty-seven (7,4%) failed in remembering the

sequence of numbers in the safe box minigame. Both were Down and non-regular players.

Almost all users (77.7%) did more than one try before completing the camera minigame ($\bar{X}=2.02$). While two tries are not considered a high number by the trainers, the data analysis shows a standard deviation of the completion time of almost one minute (00:57), which means that for some users it took almost twice the time to resolve the minigame compared to the rest of the classroom. Data didn't show a pattern about the type of ID or the frequency of playing videogames of the players that spent more time in this minigame.

The same scenario happened in the Simon minigame where users had to remember a sequence of color lights in the right order. Almost all of the users (91.3%) tried almost three different sequences before inserting the right combination ($\bar{X}=2.57$, $\sigma=2.93$), regardless the level that they were playing in. Users spent an average of 2:07 minutes, the highest resolution time of all minigames. The data analysis shows a standard deviation of the completion time of 01:15 minutes. In this case, almost the 70% of the users that spent less time than the average in completing the minigame were regular videogame players, which suggests that playing videogames can help in enhancing the short-term memory.

According to the data, the difficulty of the Simon and the camera minigame is higher than expected by the trainers, which means that either (1) the design of the tasks is not completely adequate to the users' cognitive skills or (2) the abilities that these two minigames promote (eye-hand coordination and short-term memory) are not as developed as the other two in this sample. In both cases these two minigames unexpectedly increased the total complexity of *Downtown*.

Nevertheless, the total number of mistakes done by the users in this two last minigames decreases as the users reached higher levels. This circumstance shows an improvement of the users' performance at higher levels, so it seems that users are able to complete the tasks related to eye-hand coordination and short-term memory after practicing, despite their type of disability or previous experience with videogames.

VI. CONCLUSION

In this paper we aimed to exemplify an approach that uses Game Analytics data to evaluate the design and development of a learning game for users with ID. Applying game analytics techniques researchers can investigate if the in-game observables provide useful information about the effectiveness of the game design and if the objectives of the game are adequate to the users' cognitive abilities. This approach has been applied to *Downtown, A Subway*

Adventure, a game that aims to train users with ID in traveling in the subway independently. However, we consider that the process described is generalizable to validate other learning games and, in particular, in domains where the opinion of the users is difficult to obtain or not even fully reliable (as it is the case with ID users).

First step of the process is the user requirements stage where we interviewed the experts from Down Madrid to understand the cognitive restrains related with the use of videogames that ID students have. Next, in the game design stage, researchers established the main objectives of the game and the mechanics associated. In particular, *Downtown* goal is to complete a random route assigned by the game and train the abilities required to travel in the subway independently. We tested the game in the facilities of Down Madrid with 51 users with ID. Trainers and researchers conducted the training sessions capturing in-game data about the interaction of the users with the game.

After capturing the data, researchers and trainers performed an analysis to verify if the users were able to achieve the objectives of the game, validating the game design.

Almost all of the users were able to complete the routes that the game proposed, making less mistakes after the first thirty minutes of gameplay. Also, users that play videogames in a regular basis did less mistakes and completed the tasks faster than non-players.

A flaw in the game implementation was hidden behind these promising results: the analysis of game analytics data showed an error in the game mechanics. *Downtown* was assigning longer routes in the medium level than in the advance one. This mistake was hidden to other traditional approaches (e.g. beta-testing, observational-based methods).

Regarding the results related to the minigames focused in training the abilities to travel independently, from a general perspective, the data analysis shows a good performance in spatial vision and numerical sequencing. However, users struggled in the minigames that train eye-hand coordination (camera) and short-term memory (Simon) despite their type of disability. From the data gathered, we cannot determine if these results uncover a problem in the game design of the minigames or if our users find harder to improve these skills. To get detailed information about this issue it would be necessary to re-capture and analyze new data, which is now unfeasible as the development is completed. This situation could be avoided if the game analytics approach were used also with the mini-games in the early game testing.

Next step in our research will be conducting a case study with a group of users that played the videogame and evaluate their competences when traveling in the subway in real life. We will later compare their performance with users that were

not previously trained with the game to verify the effectiveness of the game design and test the transfer of knowledge from the game to reality.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the assistance of Maria Luisa Berdud, Director of the TIC Service in Fundación Síndrome de Down de Madrid, for her assessment in choosing the users, providing the facilities for the research and her commitment with the project. We also want to thank Rodrigo Ribeiro-Pinto Carvajal for his excellent work developing *Downtown*. The CEIEC Institute has been partially funded by the Francisco de Vitoria University (UFV-2015-05). This work has been partially funded by Regional Government of Madrid (eMadrid P2018/TCS4307), by the Ministry of Education (TIN2017-89238-R) and by the European Commission (RAGE H2020-ICT-2014-1-644187, BEACONING H2020-ICT-2015-687676, Erasmus+ IMPRESS 2017-1-NL01-KA203-035259).

REFERENCES

- [1] D. R. Michael and S. L. Chen (2005). *Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform*. Muska & Lipman/Premier-Trade.
- [2] T. M. Connolly, E. a. Boyle, E. MacArthur, T. Hainey, and J. M. Boyle (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers and Education*, vol. 59, no. 2, pp. 661–686, Sep.
- [3] Boyle, E. A., Hainey, T., Connolly, T. M., Gray, G., Earp, J., Ott, M., Pereira, J. (2016). An update to the systematic literature review of empirical evidence of the impacts and outcomes of computer games and serious games. *Computers and Education*, 94, 178–192. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.11.003>
- [4] P. Wouters, C. van Nimwegen, H. van Oostendorp, and E. D. van der Spek (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, vol. 105, pp. 249–265, 2013.
- [5] S. Freeman et al., (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, no. 23, pp. 8410–8415.
- [6] R. Prieto de Lope, N. Medina-Medina, P. Paderewski, and F. L. Gutiérrez-Vela. (2015). Design methodology for educational games based on interactive screenplays, in *Cosecivi, Congreso de la Sociedad Española para las Ciencias del Videojuego*.
- [7] G. Petri, and C. Gresse von Wangenheim (2016). How to Evaluate Educational Games: a Systematic Literature Review. *Journal of Universal Computer Science*, 22(7), 992–1021.
- [8] A. Rigaki, A. Ntagianta, A. Leonidis, D. Ioannidi, M. Korozi, and C. Stephanidis. (2019). Learning Analytics for Ami Educational Games Targeting Children With Cognitive Disabilities. *INTED2019 Proc.*, vol. 1, no. March, pp. 8916–8926, 2019.
- [9] American Psychiatric Association, *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). (2013). Arlington, VA: American Psychiatric Publishing.
- [10] C. González-Ferreras, D. Escudero-Mancebo, M. Corrales-Astorgano, L. Aguilar-Cuevas, and V. Flores-Lucas. (2017). Engaging Adolescents with Down Syndrome in an Educational Video Game. *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 33, no. 9, pp. 693–712.
- [11] M. Terras, E. Boyle, J. Ramsay and D. Jarrett. (2018). The opportunities and challenges of serious games for people with an intellectual disability. *British Journal of Educational Technology*, 49. 690-700. 10.1111/bjet.12638.

- [12] S. Lanfranchi, C. Cornoldi, and R. Vianello. (2004). Verbal and Visuospatial Working Memory Deficits in Children With Down Syndrome. *Am. Journal of Mental Retardation*, vol. 109, no. 6, pp. 456–466, 2004.
- [13] S. Tsikinas, S. Xinogalos, M. Satratzemi, and L. Kartasidou (2011) Using Serious Games for Promoting Blended Learning for People with Intellectual Disabilities and Autism: Literature vs Reality.
- [14] V. Hulusic and N. Pistoljevic. (2017). A curriculum for developing serious games for children with autism: A success story. 2017 9th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games) - Proc., no. September, pp. 149–152.
- [15] P. Kato and S. de Klerk. (2017). Serious Games for Assessment: Welcome to the Jungle.” *Journal of Applied Testing Technology*, vol. 18, no. S1, pp. 1–6.
- [16] Á. Serrano-Laguna, I. Martínez-Ortiz, J. Haag, D. Regan, A. Johnson, and B. Fernández-Manjón. (2017). Applying standards to systematize learning analytics in serious games. *Computer Standard Interfaces*, vol. 50, no. June 2016, pp. 116–123.
- [17] A. Nguyen, L. A. Gardner and D. Sheridan (2018). A framework for applying learning analytics in serious games for people with intellectual disabilities. *British Journal of Educational Technology*, 49(4), 673–689. <https://doi.org/10.1111/bjet.12625>
- [18] S. Tsikinas and S. Xinogalos. (2018). Studying the effects of computer serious games on people with intellectual disabilities or autism spectrum disorder: A systematic literature review. *Journal of Computer Assisted Learning*. 10.1111/jcal.12311.
- [19] A. Rigaki, A. Ntagianta, A. Leonidis, D. Ioannidi, M. Korozi and C. Stephanidis (2019). Learning Analytics For AMI Educational Games Targeting Children With Cognitive Disabilities. *Proceedings of INTED2019 Conference 11th-13th March 2019, Valencia, Spain*. 8916–8926. 10.21125/inted.2019.2220.
- [20] C. Alonso-Fernández, A. Calvo-Morata, M. Freire, I. Martínez-Ortiz, B. Fernández-Manjón. (2019). Applications of data science to game learning analytics data: a systematic literature review. *Computers and Education*, vol. 141. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103612>
- [21] A. Djuric-Zdravkovic, M. Japundza-Milislavjevic, D. Macesic-Petrovic, and A. Djuric-Zdravkovic. (2010). Attention in children with intellectual disabilities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 5, no. 2, pp. 1601–1606.
- [22] H. E. Kirk, K. Gray, D. M. Riby, and K. M. Cornish. (2015). Cognitive training as a resolution for early executive function difficulties in children with intellectual disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, vol. 38, pp. 145–160.
- [23] M. M. Rahman, S. M. Ferdous, S. I. Ahmed, and A. Anwar. (2011). Speech development of autistic children by interactive computer games. *Interactive Technology and Smart Education*, vol. 8, no. 4, pp. 208–223.
- [24] S. Rogers, *Level Up! The guide to great video game design*, 2nd ed. Wiley (2014).
- [25] R. Hunnicke, M. LeBlanc, and R. Zubek. (2004). MDA: A Formal Approach to Game Design and Game Research. AAAI Workshop - Technical Report, pp. 1–4.
- [26] A. R. Cano, B. Fernández-Manjón, and Á. J. Garcia-Tejedor. (2018). Using game learning analytics for validating the design of a learning game for adults with intellectual disabilities. *British Journal of Educational Technology*, vol. 49, no. 4, pp. 659–672.
- [27] J. L. McLeskey, M. S. Rosenberg, and D. L. Westling, *Inclusion: Effective Practices for All Students*, 2 edition. Pearson (2012).
- [28] M. W. Rodrigues, L. E. Zárate, and S. Isotani. (2018). Educational Data Mining: A review of evaluation process in the e-learning. *Telematics and Informatics*.
- [29] D. Hicks, M. Eagle, E. Rowe, J. Asbell-Clarke, T. Edwards and T. Barnes (2016). Using game analytics to evaluate puzzle design and level progression in a serious game. *Proceedings of the Sixth International Conference on Learning Analytics & Knowledge - LAK '16*, 440–448. <https://doi.org/10.1145/2883851.2883953>
- [30] M. Freire, Á. Serrano-Laguna, B. Manero, I. Martínez-Ortiz, P. Moreno-Ger, and B. Fernández-Manjón. (2016). *Game Learning Analytics: Learning Analytics for Serious Games*. Learning, Design and Technology (pp. 1-29). Cham: Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-319-17727-4_21-1.

- [31] “RAGE Realizing an Applied Gaming Eco-System.” [Online]. Available: <http://rageproject.eu/>.



ANA RUS CANO was born in Madrid, Spain, in 1983 and lives in Chicago, IL, since 2014. She received her B.S. degree in computer science from the University Francisco de Vitoria, Madrid, in 2009. She also received a M.S. degree in new technologies and animation, from the University Francisco de Vitoria, Madrid, in 2009, a M.S. degree in business advisory, from EOI (industrial organization school), Madrid, in 2011 and a M.S. degree in marketing of the entertainment business, from ESIC business school, Madrid, in 2011. She is a PhD candidate since 2014 in the e-UCM e-learning research group at UCM, Madrid. She has worked for advisory firms like IBM, PwC and Prisa as a senior consultant and business developer, in technology, media and entertainment departments.

Her research interest is focused on game design and learning games, and more specific, in serious game developments for users with intellectual disabilities. Her latest articles are focused on the application of learning analytics, game learning analytics and data analysis to improve the design of serious games.



ÁLVARO J. GARCÍA-TEJEDOR Ph.D. in Biochemistry and passionate about computer science, he has been linked to the University since 1.994. He has been Lecturer in UCM, UC3M and Universidad Francisco de Vitoria, where he is now Associate Professor in Artificial Intelligence. He has made compatible for fifteen years his university profile with his work in Consulting and Software Development companies (Indra and Telefonica Data, among others), involved in more than 20 R&D projects mainly in Artificial Intelligence (11 of them in European Programs), leading National and European teams and directing development and innovation departments. He has also been appointed as external consultant by the European Commission for several Research Framework Programs (FP5 and 6). As a researcher, he started doing mathematical modeling of biological systems. Now his areas of interest are bio-inspired computing (neurocomputing, evolutionary computation), philosophy of AI and serious games. His current work is focused on neural models, deep learning techniques and their applications in several fields. He especially contributes to the practice of eHealth and social care by exploiting massive biomedical data for remote care, diagnostic and optimization.



CRISTINA ALONSO FERNÁNDEZ obtained her Bachelor in Computer Science and her Bachelor in Mathematics for the Complutense University of Madrid in 2016. A year later, she finished the Master in Data Mining and Business Intelligence, also from the UCM. Since September 2016, she is part of e-UCM. She has worked as a researcher of the H2020 Beaconing Project until October 2018. Her research interests include educational videogames and application of data analysis and data mining for their improvement.

Learning Analytics techniques and standards are one of her main research areas.



BALTASAR FERNANDEZ-MANJON received the PhD degree in physics from the Universidad Complutense de Madrid in 1996. He is a Full Professor of computer science at UCM and director of the e-UCM e-learning research group. He has the Honorary Complutense-Telefonica Chair on Digital Education and Serious Games. He is the co-author of two books, more than 200 articles His research interest is focused on the applications of ICT in education and in serious

games and educational simulations applied to different domains (e.g. medicine, education). He is also working in game learning analytics and the application of e-learning standards to the integration of games in e-learning systems. He is a senior member of the IEEE.

Referencias bibliográficas

- Ablegamers Foundation. (2012). Game Accessibility Guidelines. Retrieved August 20, 2005, from <http://gameaccessibilityguidelines.com/>
- Abt, C. (1970). *Serious Games*. New York: The Viking Press.
- Alaribe, I. (2015). Design a Serious Game to Teach Teenagers with Intellectual Disabilities How to Use Public Transportation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 176, 840–845. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.548>
- Alonso-Fernández, C., Calvo-Morata, A., Freire, M., Martínez-Ortiz, I., Fernández-Manjón, B. (2019). Applications of data science to game learning analytics data: A systematic literature review. *Computers and Education*, 141, 103612. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103612>.
- Alonso-Fernández, C., Cano, A.R., Calvo-Morata, A., Freire, M., Martínez-Ortiz, I., Fernández-Manjón, B., (2019) Lessons learned applying learning analytics to assess serious games. *Computers in Human Behavior*, 99, 301-309. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.05.036>.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.)*. Arlington, VA: American Psychiatric Publishing.
- Annetta, L. A., Minogue, J., Holmes, S. Y., & Cheng, M. T. (2009). Investigating the impact of video games on high school students' engagement and learning about genetics. *Computers and Education*, 53(1), 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.12.020>
- Archambault, D., Gaudy, T., Miesenberger, K., Natkin, S., & Ossmann, R. (2008). Towards generalized accessibility of computer games. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 5093 LNCS, pp. 518–527). https://doi.org/10.1007/978-3-540-69736-7_55
- Arranz, P. (2002). *Niños y jóvenes con Síndrome de Down*. Egido Editorial.
- Australian Government (2009). Department of Families, Housing, Community Services and Indigenous Affairs, "Intellectual disabilities, communication and learning," [Online]. Available: http://resources.fahcsia.gov.au/consumertrainingsupportproducts/employers/intellectual_disability/sec3.htm. [Accessed 11 March 2016].
- Baker, R. S., & Inventado, P. S. (2014). Educational Data Mining and Learning Analytics. In *Learning Analytics: From Research to Practice* (pp. 61–75). <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3305-7>

- Bakhuys Roozeboom, M., Visschedijk, G., & Oprins, E. (2017). The effectiveness of three serious games measuring generic learning features. *British Journal of Educational Technology*, 48(1), 83–100. <https://doi.org/10.1111/bjet.12342>
- Benveniste, S., Jouvelot, P., Pin, B., & Péquignot, R. (2012). The MINWii project: Renarcissization of patients suffering from Alzheimer's disease through video game-based music therapy. *Entertainment Computing*, 3(4), 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2011.12.004>
- Bergeron, B. (2006). *Developing Serious Games*. Charles River Media.
- Bernardini, S., Porayska-Pomsta, K., & Smith, T. J. (2014). ECHOES: An intelligent serious game for fostering social communication in children with autism. *Information Sciences*, 264, 41–60. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.10.027>
- Blum-Dimaya, A., Reeve, S. A., Reeve, K. F., & Hoch, H. (2010). Teaching Children with Autism to Play a Video Game Using Activity Schedules and Game-Embedded Simultaneous Video Modeling. *Education and Treatment of Children*. <https://doi.org/10.1353/etc.0.0103>
- Boyle, E. A., Hainey, T., Connolly, T. M., Gray, G., Earp, J., Ott, M., Pereira, J. (2016). An update to the systematic literature review of empirical evidence of the impacts and outcomes of computer games and serious games. *Computers and Education*, 94, 178–192. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.11.003>
- Brandão, A., Trevisan, D. G., Brandão, L., Moreira, B., Nascimento, G., Vasconcelos, C. N., Mourão, P. (2010). Semiotic Inspection of a Game for Children with Down Syndrome. 2010 Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment, 199–210. <https://doi.org/10.1109/SBGAMES.2010.24>
- Brown, D. J., McHugh, D., Standen, P., Evett, L., Shopland, N., & Battersby, S. (2011). Designing location-based learning experiences for people with intellectual disabilities and additional sensory impairments. *Computers & Education*, 56(1), 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.04.014>
- Campbell, D. (2013). "Xbox Data is XXL," Strata Conference 2013. Santa Clara, California, 28 02 2013. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=ZLKf1AhLQ30&feature=youtu.be>. [Accessed 10 03 2016].
- Campbell, C., Landry, O., Russo, N., Flores, H., Jacques, S., & Burack, J. a. (2013). Cognitive flexibility among individuals with Down syndrome: assessing the influence of verbal and nonverbal abilities. *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, 118(3), 193–200. <https://doi.org/10.1352/1944-7558-118.3.193>
- Cankaya, S., & Kuzu, A. (2010). Investigating the characteristics of educational computer games developed for children with autism: A project proposal. In *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (Vol. 9, pp. 825–830). <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.12.242>

- Cano, A.R., García-Tejedor, Á. J., & Fernández-Manjón, B. (2015a). A literature Review of Serious games for intellectual Disabilities. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 9307). https://doi.org/10.1007/978-3-319-24258-3_59
- Cano, A.R., García-Tejedor, Á. J., & Fernández-Manjón, B. (2015b). Highlights in the literature available in serious games for intellectual disabilities. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 9412). https://doi.org/10.1007/978-3-319-25515-6_9
- Cano, A.R., Fernández-Manjón, B., & García-Tejedor, Á. J. (2017). GLAID: Designing a game learning analytics model to analyze the learning process in users with intellectual disabilities. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST* (Vol. 176 LNICST). https://doi.org/10.1007/978-3-319-51055-2_7
- Cano, A.R., Fernandez-Manjon, B., & Garcia-Tejedor, A. J. (2016). Downtown, a subway adventure: Using Learning analytics to improve the development of a learning game for people with intellectual disabilities. In *Proceedings - IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2016*. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2016.46>
- Cano, Ana R., Fernández-Manjón, B., & García-Tejedor, Á. J. (2018). Using game learning analytics for validating the design of a learning game for adults with intellectual disabilities. *British Journal of Educational Technology*, 49(4), 659–672. <https://doi.org/10.1111/bjet.12632>
- Cano, A. R., García-Tejedor, A, Alonso-Fernández, C. & Fernández-Manjón, B. (2019). Game Analytics evidence-based evaluation of a learning game for intellectual disabled users. *IEEE Access* (Aceptado en proceso de publicación)
- Chang, Y.-J., Kang, Y.-S., & Liu, F.-L. (2014). A computer-based interactive game to train persons with cognitive impairments to perform recycling tasks independently. *Research in Developmental Disabilities*, 35(12), 3672–3677. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.09.009>
- Chatti, M. A., Dyckhoff, A. L., Schroeder, U., & Thüs, H. (2012). A reference model for learning analytics. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 4(5/6), 318. <https://doi.org/10.1504/IJTEL.2012.051815>
- Connolly, T. M., Boyle, E. a., MacArthur, E., Hainey, T., & Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education*, 59(2), 661–686. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.004>
- Cook, D. A., Hatala, R., Brydges, R., & et al. (2011). Technology-Enhanced Simulation for Health Professions Education A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA*, 306(9), 978–988. <https://doi.org/10.1001/jama.2011.1234>

- Curatelli, F., Martinengo, C., Bellotti, F., & Berta, R. (2013). Paths for Cognitive Rehabilitation: From Reality to Educational Software, to Serious Games, to Reality Again. In *International Conference on Games and Learning Alliance* (pp. 172–186).
- Davis, A. S. (2008). Children with down syndrome: Implications for assessment and intervention in the school. *School Psychology Quarterly*, 23(2), 271–281. <https://doi.org/10.1037/1045-3830.23.2.271>
- De Freitas, S. (2006). Learning in Immersive worlds A review of game-based learning Prepared for the JISC e-Learning Programme. *JISC ELearning Innovation*, 3.3(October 14), 73. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01024.x>
- De La Torre-Ubieta, L., Won, H., Stein, J. L., & Geschwind, D. H. (2016). Advancing the understanding of autism disease mechanisms through genetics. *Nature Medicine*, 22(4), 345–361. <https://doi.org/10.1038/nm.4071>
- Delavarian, M., Bokharaeian, B., Towhidkhan, F., & Gharibzadeh, S. (2014). Computer-based working memory training in children with mild intellectual disability. *Early Child Development and Care*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/03004430.2014.903941>
- Djaouti, D., Álvarez, J., & Jessel, J.-P. (2011). Classifying Serious Games: the G/P/S model. In *Handbook of Research on Improving Learning and Motivation through Educational Games: Multidisciplinary Approaches* (p. 19). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-60960-495-0.ch006>
- Djuric-Zdravkovic, A., Japundza-Milisavljevic, M., Macesic-Petrovic, D., & Djuric-Zdravkovic A. (2010). Attention in children with intellectual disabilities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 5(2), 1601–1606. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.07.332>
- Down, J. L. H. (1866). Observations on an ethnic classification of idiots. In *Clinical lectures and reports by the medical and surgical staff of the London Hospital vol.3* (pp. 259–262).
- Durkin, K., Boyle, J., Hunter, S., & Conti-Ramsden, G. (2013). Video Games for Children and Adolescents With Special Educational Needs. *Zeitschrift Für Psychologie*, 221(2), 79–89. <https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000138>
- Elakloun, A. M., Azan, N., Zin, M., & Shapii, A. (2013). A Conceptual Framework for Designing Brain Injury Cognitive Rehabilitation Gaming System. *International Journal of Digital Content Technology and Its Applications (JDCTA)*, 7(November), 31–41. Retrieved from <http://www.aicit.org/JDCTA/pp/JDCTA3605PPL.pdf>
- Elakloun, A., & Mat Zin, N. A. (2012). Requirements for game based cognitive intervention system for acquired brain injury. *GSTF Journal on Computing (JoC)*, 2(3), 25–31. <https://doi.org/10.5176/2010-3043>

- Elias, T. (2011). Learning Analytics: Definitions, Processes and Potential. *Learning*, 23.
- Facoetti, A., Franceschini, S., Gaggi, O., Galiazzo, G., Gori, S., Palazzi, C. E., & Ruffino, M. (2014). Multiplatform games for Dyslexia identification in preschoolers. In 2014 IEEE 11th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC). Las Vegas. <https://doi.org/10.1109/CCNC.2014.6940496>
- Fernandes, T., Alves, S., Miranda, J., Queirós, C., & Orvalho, V. (2011). LIFEisGAME: A facial character animation system to help recognize facial expressions. In *Communications in Computer and Information Science* (Vol. 221 CCIS, pp. 423–432). https://doi.org/10.1007/978-3-642-24352-3_44
- Fernández-Aranda, F., Jiménez-Murcia, S., Santamaría, J. J., Gunnard, K., Soto, A., Kalapanidas, E., ... Penelo, E. (2012). Video games as a complementary therapy tool in mental disorders: PlayMancer, a European multicentre study. *Journal of Mental Health*, 21(4), 364–374. <https://doi.org/10.3109/09638237.2012.664302>
- Field, M. A., & Sanchez, V. A. (1999). *Equal Treatment for People with Mental Retardation: Having and Raising Children*. Harvard University Press.
- Foran, A. C., & Cermak, S. A. (2013). Active and Traditional Videogame Ownership and Play Patterns Among Youths With Autism Spectrum Disorders. *Palaestra*, 27(1), 42–48. Retrieved from <http://ezproxy.gsu.edu/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=95786410&site=eds-live>
- Freeman, A., Adams Becker, S., Cummins, M., Davis, A., & Hall Giesinger, C. (2017). *The NMC/CoSN Horizon Report: 2017 K–12 Edition*. Austin, Texas. Retrieved from <https://cdn.nmc.org/media/2017-nmc-cosn-horizon-report-k12-EN.pdf>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Freire, M., Serrano-Laguna, Á., Manero, B., Martínez-Ortiz, I., Moreno-Ger, P., & Fernández-Manjón, B. (2016). Game Learning Analytics: Learning Analytics for Serious Games. *Learning, Design, and Technology*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17727-4>
- García, Ó. (2012). *Lectura fácil: Métodos de redacción y evaluación*. Real patronato sobre Discapacidad.
- Gartner (2008). "Introduction to the Gartner Maturity Model for Web Analytics," [Online]. Available: <https://www.gartner.com/doc/713210/introduction-gartner-maturity-model-web>. [Accessed 03 March 2016].
- Girard, C., Ecalle, J., & Magnan, A. (2013). Serious games as new educational tools: how effective

- are they? A meta-analysis of recent studies. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(3), 207–219. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2012.00489.x>
- Golomb, M. R., McDonald, B. C., Warden, S. J., Yonkman, J., Saykin, A. J., Shirley, B., Burdea, G. C. (2010). In-Home Virtual Reality Videogame Telerehabilitation in Adolescents With Hemiplegic Cerebral Palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 91(1). <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2009.08.153>
- González-Ferreras, C., Escudero-Mancebo, D., Corrales-Astorgano, M., Aguilar-Cuevas, L., & Flores-Lucas, V. (2017). Engaging Adolescents with Down Syndrome in an Educational Video Game. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 33(9), 693–712. <https://doi.org/10.1080/10447318.2017.1278895>
- Gonzalez, J. L., Cabrera, M. J., & Gutierrez, F. L. (2007). Using videogames in special education. *LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE*, 4739, 360–367. https://doi.org/10.1007/978-3-540-75867-9_46
- González Sánchez, J. L., Cabrera, M. J., Gutiérrez, F. L., Zea, N. P., & Paderewski, P. (2009). Design of videogames in special education. In *New Trends on Human-Computer Interaction: Research, Development, New Tools and Methods* (pp. 43–51). https://doi.org/10.1007/978-1-84882-352-5_5
- Greenspan, S., & Switzky, H. N. (2003). Execution Exemption Should Be Based on Actual Vulnerability, Not Disability Label. *Ethics & Behavior*, 13(1), 19–26. https://doi.org/10.1207/S15327019EB1301_04
- Griffiths, M. (2002). The Educational Benefits Of Video Games. *Education and Health*, 20(3), 47–51. Retrieved from <http://www.sheu.org.uk/pubs/eh203mg.pdf>
- Grynszpan, O., Martin, J. C., & Nadel, J. (2008). Multimedia interfaces for users with high functioning autism: An empirical investigation. *International Journal of Human Computer Studies*, 66(8), 628–639. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2008.04.001>
- Harris, J. C. (2006). *Intellectual Disability: Understanding Its Development, Causes, Classification, Evaluation, and Treatment*. USA: Oxford University Press.
- Hicks, D., Eagle, M., Rowe, E., Asbell-Clarke, J., Edwards, T. and Barnes, T. (2016). Using game analytics to evaluate puzzle design and level progression in a serious game. *Proceedings of the Sixth International Conference on Learning Analytics & Knowledge - LAK '16*, 440–448. <https://doi.org/10.1145/2883851.2883953>
- Horne-Moyer, H. L., Moyer, B. H., Messer, D. C., & Messer, E. S. (2014). The Use of Electronic Games in Therapy: a Review with Clinical Implications. *Current Psychiatry Reports*, 16(12). <https://doi.org/10.1007/s11920-014-0520-6>
- Hulusic, V., & Pistoljevic, N. (2017). A curriculum for developing serious games for children with

- autism: A success story. 2017 9th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications, VS-Games 2017 - Proceedings, (September), 149–152. <https://doi.org/10.1109/VS-GAMES.2017.8056586>
- Hunicke, R., LeBlanc, M., & Zubek, R. (2004). MDA: A Formal Approach to Game Design and Game Research. Workshop on Challenges in Game AI, 1–4. <https://doi.org/10.1.1.79.4561>
- Hussaan, A., Sehaba, K., & Alain Mille. (2011). Helping children with cognitive disabilities through serious games: project CLES. In 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility (ASSETS 2011) (pp. 251–252). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1145/2049536.2049592>
- Iacopetti, F., Fanucci, L., Roncella, R., Giusti, D., & Scebba, A. (2008). Game Console Controller Interface for People with Disability. In 2008 International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems.
- Isleyen, F., Gulkesen, K. H., Cinemre, B., Samur, M. K., Zayim, N., & Sen Kaya, S. (2014). Evaluation of the Usability of a Serious Game Aiming to Teach Facial Expressions to Schizophrenic Patients. *Studies in Health Technology and Informatics*, 205, 662–666. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-432-9-662>
- Jiménez, J. E., & Rojas, E. (2008). Efectos del videojuego Tradislexia en la conciencia fonológica y reconocimiento de palabras en niños disléxicos. *Psicothema*, 20(3), 347–353.
- Kafai, Y. (2001). The educational potential of electronic games: From games-to-teach to games-to-learn. In *Playing By The Rules*, Cultural Policy Center, University of Chicago, Chicago, IL.
- Karal, H., Kokoç, M., & Ayyildiz, U. (2010). Educational computer games for developing psychomotor ability in children with mild mental impairment. In *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (Vol. 9, pp. 996–1000). <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.12.274>
- Kato, P., & de Klerk, S. (2017). Serious Games for Assessment: Welcome to the Jungle. *Journal of Applied Testing Technology*, 18(S1), 1–6. Retrieved from <http://www.jattjournal.com/index.php/atp/article/viewFile/118669/81852>
- Kato, P. M. (2010). Video Games in Health Care: Closing the Gap. *Review of General Psychology*, 14(2), 113–121. <https://doi.org/10.1037/a0019441>
- Kirk, H. E., Gray, K., Riby, D. M., & Cornish, K. M. (2015). Cognitive training as a resolution for early executive function difficulties in children with intellectual disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, 38, 145–160. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.12.026>
- Kostoulas, T., Mporas, I., Kocsis, O., Ganchev, T., Katsaounos, N., Santamaria, J. J., ... Fakotakis, N. (2012). Affective speech interface in serious games for supporting therapy of mental disorders. *Expert Systems with Applications*, 39(12), 11072–11079.

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.03.067>

- Lanfranchi, S., Cornoldi, C., & Vianello, R. (2004). Verbal and Visuospatial Working Memory Deficits in Children With Down Syndrome. *American Journal on Mental Retardation*, 109(6), 456–466.
- Lányi, C. S., Brown, D. J., Standen, P., Lewis, J., & Butkute, V. (2012). Results of user interface evaluation of serious games for students with intellectual disability. *Acta Polytechnica Hungarica*, 9(1), 225–245. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14097-6_37
- Lecavalier, L., Snow, A. V., & Norris, M. (2011). Autism Spectrum Disorders and Intellectual Disability. *International Handbook of Autism and Pervasive Developmental Disorders*, 127–157. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8065-6>
- Lee, C.-N., Park, M. H., Park, K.-W., Choi, M.-G., & Jung, J. (2012). Clinical applications for the Intelligent geriatric serious games for mild cognitive impairment IMPAIRMENT.
- Long, P., & Siemens, G. (2011). Penetrating the Fog: Analytics in Learning and Education. *EDUCAUSE Review*, 46, 30–32. <https://doi.org/10.1145/2330601.2330605>
- Lord, C., Cook, E. H., & Leventhal, B. L. (2000). Autism Spectrum Disorders. *Neuron*, 28, 355–363. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(00\)00115-X](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(00)00115-X)
- Lott, I. T., & Dierssen, M. (2010). Cognitive deficits and associated neurological complications in individuals with Down's syndrome. *Lancet Neurology*, 9(6), 623–633. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(10\)70112-5](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(10)70112-5)
- Mazurek, M. O., & Engelhardt, C. R. (2013). Video game use and problem behaviors in boys with autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 7(2), 316–324. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2012.09.008>
- Mazurek, M. O., & Wenstrup, C. (2013). Television, video game and social media use among children with ASD and typically developing siblings. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(6), 1258–1271. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1659-9>
- McLeskey, J. L., Rosenberg, M. S., & Westling, D. L. (2012). *Inclusion: Effective Practices for All Students* (2 edition). Pearson.
- Michael, D. R., & Chen, S. L. (2005). *Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform*. Muska & Lipman/Premier-Trade.
- Montani, V., De Grazia, M. D. F., & Zorzi, M. (2014). A new adaptive videogame for training attention and executive functions: Design principles and initial validation. *Frontiers in Psychology*, 5(MAY). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00409>
- Moreno-Ger, P., Burgos, D., Martínez-Ortiz, I., Sierra, J. L., & Fernández-Manjón, B. (2008).

- Educational game design for online education. *Computers in Human Behavior*, 24(6), 2530–2540. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.03.012>
- Moya, S., Tost, D., & Grau, S. (2012). Interactive Graphical Design of 3D Serious Neurorehabilitation Games. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 21(1), 58–68. Retrieved from <http://eserv.uum.edu.my/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=76151299&site=ehost-live&scope=site>
- National Down Syndrome Society. (2018). What causes Down Syndrome? Retrieved August 15, 2018, from <https://www.ndss.org/about-down-syndrome/down-syndrome/>
- Nguyen, A., Gardner, L. A. and Sheridan, D. (2018). A framework for applying learning analytics in serious games for people with intellectual disabilities. *British Journal of Educational Technology*, 49(4), 673–689. <https://doi.org/10.1111/bjet.12625>
- Noor, H. A. M., Shahbodin, F., & Che Pee, N. (2012). Serious Game for Autism Children: Review of Literature. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 64, 647–652. Retrieved from [http://eprints2.utm.edu.my/1252/1/Serious Game for Autism Children-Review of Literature_HelmiAdly_ICCGMAT2012\[1\].pdf](http://eprints2.utm.edu.my/1252/1/Serious%20Game%20for%20Autism%20Children-Review%20of%20Literature_HelmiAdly_ICCGMAT2012[1].pdf)
- Oblinger, D. G. (2004). The Next Generation of Educational Engagement. *Journal of Interactive Media in Education*, 2004(8), 1–18. <https://doi.org/10.5334/2004-8-oblinger>
- OIDAP Occupational Information Development Advisory Panel. (n.d.). Mental cognitive subcommittee: Content model and classification recommendations. Retrieved from <https://www.ssa.gov/oidap/Documents/AppendixC.pdf>
- Pavlas, D., Heyne, K., Bedwell, W., Lazzara, E., & Salas, E. (2010). Game-based Learning: The Impact of Flow State and Videogame Self-efficacy. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. <https://doi.org/10.1177/154193121005402808>
- Perera Mezquida, J. (2009). El Síndrome de Down. (CEPE. Ciencias de la educación preescolar y especial).
- Perez-Colado, I. J., Alonso-Fernández, C., Freire-Moran, M., Martínez-Ortiz, I., & Fernández-Manjón, B. (2018). Game Learning Analytics is not informagic! *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, (February), 1–10. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363443>
- Prensky, M. (2007). *Digital Game-Based Learning*. Paragon House.
- Petri, G. and Gresse von Wangenheim, C. (2016). How to Evaluate Educational Games: a Systematic Literature Review. *Journal of Universal Computer Science*, 22(7), 992–1021
- Prieto de Lope, R., Medina-Medina, N., Paderewski, P., & Gutiérrez-Vela, F. L. (n.d.). Design

methodology for educational games based on interactive screenplays. In Cosecivi, Congreso de la Sociedad Española para las Ciencias del Videojuego. Barcelona.

PwC. (2018). Global Entertainment & Media Outlook 2018-2022.

RAGE Realising an Applied Gaming Eco-System. (n.d.). Retrieved from <http://rageproject.eu/>

Rahman, M. M., Ferdous, S. M., Ahmed, S. I., & Anwar, A. (2011). Speech development of autistic children by interactive computer games. *Interactive Technology and Smart Education*. <https://doi.org/10.1108/17415651111189450>

Rigaki, A., Ntagianta, A., Leonidis, A., Ioannidi, D., Korozi, M., & Stephanidis, C. (2019). Learning Analytics for Ami Educational Games Targeting Children With Cognitive Disabilities. *INTED2019 Proceedings*, 1(March), 8916–8926. <https://doi.org/10.21125/inted.2019.2220>

Ripamonti, L. A., & Maggiorini, D. (2011). Learning in virtual worlds: A new path for supporting cognitive impaired children. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 6780 LNAI, pp. 462–471). https://doi.org/10.1007/978-3-642-21852-1_53

Roberts, J. E., Price, J., & Malkin, C. (2007). Language and communication development in down syndrome. *Developmental Disabilities Research Reviews*, 13(Special Issue: Language and Communication), 26–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/mrdd.20136>

Rodrigues, M. W., Zárate, L. E., & Isotani, S. (2018). Educational Data Mining: A review of evaluation process in the e-learning. *Telematics and Informatics*. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.04.015>

Rogers, S. (2014). *Level Up! The guide to great video game design* (2nd ed.). Wiley.

Rowe, J., Lavender, A., & Turk, V. (2006). Cognitive executive function in Down's syndrome. *The British Journal of Clinical Psychology / the British Psychological Society*, 45(Pt 1), 5–17. <https://doi.org/10.1348/014466505X29594>

Sajjad, S., Abdullah, A., Sharif, M., & Mohsin, S. (2014). Psychotherapy Through Video Game to Target Illness Related Problematic Behaviors of Children with Brain Tumor. *Current Medical Imaging Reviews*, 10(1), 62–72. <https://doi.org/10.2174/1573405610666140313004302>

Salem, Y., Gropack, S. J., Coffin, D., & Godwin, E. M. (2012). Effectiveness of a low-cost virtual reality system for children with developmental delay: A preliminary randomised single-blind controlled trial. *Physiotherapy (United Kingdom)*, 98(3), 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2012.06.003>

Salen, K., & Zimmerman, E. (2003). *Rules of play. Game design fundamentals*. MIT Press.

- Sauvé, L., Renaud, L., Kaufman, D., & Dupl a, E. (2015). Validation of the Educational Game for Seniors: "Live Well, Live Healthy!" *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 176, 674–682. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.526>
- Sawyer, B., & Smith, P. (2008). Serious games taxonomy. In *Serious Games summit at the Game Developers Conference* (pp. 23–27). San Francisco, US.
- Schoene, D., Lord, S. R., Delbaere, K., Severino, C., Davies, T. A., & Smith, S. T. (2013). A randomized controlled pilot study of home-based step training in older people using videogame technology. *PLoS ONE*, 8(3), e57734. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057734>
- Seif El-Nasr, M., Grachen, A., & Canossa, A. (2013). *Game Analytics Maximizing the Value of Player Data*. Springer-Verlag London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4769-5>
- Serrano-Laguna,  ., Martínez-Ortiz, I., Haag, J., Regan, D., Johnson, A., & Fern andez-Manjón, B. (2017). Applying standards to systematize learning analytics in serious games. *Computer Standards and Interfaces*, 50(June 2016), 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2016.09.014>
- Serret, S., Hun, S., Iakimova, G., Lozada, J., Anastassova, M., Santos, A., ... Askenazy, F. (2014). Facing the challenge of teaching emotions to individuals with low- and high-functioning autism using a new Serious game: a pilot study. *Molecular Autism*, 5(37). <https://doi.org/10.1186/2040-2392-5-37>
- Shalock, R., & et al. (2010). *Intellectual Disability: Definition, Classification, and Systems of Supports* (11th Edition). AAIDD American Association on Intellectual and Developmental Disabilities.
- Silva, G. F. M., Raposo, A., & Suplino, M. (2014). PAR: A Collaborative Game for Multitouch Tabletop to Support Social Interaction of Users with Autism. *Procedia Computer Science*, 27, 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.02.011>
- Squire, K. D. (2008). Video Games and Education: Designing Learning Systems for an Interactive Age. *Educational Technology*, 48(2), 17–26.
- Terras, M., Boyle, E., Ramsay, J. and Jarrett, D. (2018). The opportunities and challenges of serious games for people with an intellectual disability. *British Journal of Educational Technology*. 49. 690-700. 10.1111/bjet.12638
- Tomé, R. M., Pereira, J. M., & Oliveira, M. (2014). Using Serious Games for Cognitive Disabilities. In *Serious Games Development and Applications*, 34–47.
- Torrente, J. (2012). Reusable game interfaces for people with disabilities. In *ASSETS '12 Proceedings of the 14th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility* (pp. 301–302).

- Torrente, J., Blanco, Á., Moreno-Ger, P., & Fernández-Manjón, B. (2014). Designing Serious Games for Adult Students with Cognitive Disabilities. Retrieved from http://www.e-ucm.es/drafts/e-UCM_draft_208.pdf
- Torrente, J., del Blanco, Á., Moreno-Ger, P., Martínez-Ortiz, I., & Fernández-Manjón, B. (2009). Implementing accessibility in educational videogames with e-Adventure; Proceedings of the First ACM International Workshop on Multimedia Technologies for Distance Learning - MTDL '09, 57. <https://doi.org/10.1145/1631111.1631122>
- Torrente, J., del Blanco, Á., Serrano-Laguna, Á., Vallejo-Pinto, J. Á., Moreno-Ger, P., & Fernández-Manjón, B. (2014). Towards a low cost adaptation of educational games for people with disabilities. *Computer Science and Information Systems*, 11(1), 369–391. <https://doi.org/10.2298/CSIS121209013T>
- Tsikinas, S., Xinogalos, S., Satratzemi, M., & Kartasidou, L. (2011). Using Serious Games for Promoting Blended Learning for People with Intellectual Disabilities and Autism: Literature vs Reality
- Tsikinas, S., Xinogalos, S., & Satratzemi, M. (2016). Conference: 10th European Conference on Games Based Learning (ECGBL 2016) At: 6 - 7 October 2016, Paisley, Scotland
- Tsikinas, S. and Xinogalos, S. (2018). Studying the effects of computer serious games on people with intellectual disabilities or autism spectrum disorder: A systematic literature review. *Journal of Computer Assisted Learning*. 10.1111/jcal.12311
- UNESCO United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. (2005). Guidelines for inclusion: Ensuring access to education for all. Paris, France.
- Verdugo Alonso, M. Á., & Schalock, R. L. (2011). Últimos avances en el enfoque y concepción de las personas con discapacidad intelectual. *Revista Española Sobre Discapacidad Intelectual*, 4(236), 7–21. Retrieved from http://www.sindromedown.net/adjuntos/cEnlacesDescargas/611_1_ultimos.pdf
- Vicari, S. (2006). Motor development and neuropsychological patterns in persons with Down syndrome. *Behavior Genetics*, 36(3), 355–364. <https://doi.org/10.1007/s10519-006-9057-8>
- Wallace, B., Goubran, R., Knoefel, F., Petriu, M., & McAvoy, A. (2014). Design of games for measurement of cognitive impairment. 2014 IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics, BHI 2014, 1, 117–120. <https://doi.org/10.1109/BHI.2014.6864318>
- Warner, G., Howlin, P., Salomone, E., Moss, J., & Charman, T. (2017). Profiles of children with Down syndrome who meet screening criteria for autism spectrum disorder (ASD): a comparison with children diagnosed with ASD attending specialist schools. *Journal of Intellectual Disability Research*, 61(1), 75–82. <https://doi.org/10.1111/jir.12344>
- Wehmeyer, M. L., Brown, I., Percy, M., Fung, W. L. A., & Shogren, K. A. (2017). A

Comprehensive Guide to Intellectual and Developmental Disabilities, Second Edition. Brookes.

- Westin, T., Bierre, K., Gramenos, D., & Hinn, M. (2011). Advances in Game Accessibility from 2005 to 2010. In C. Stephanidis (Ed.), *Universal Access in Human-Computer Interaction. Users Diversity. 6th International Conference, UAHCI 2011, Held as Part of HCI International 2011* (Vol. 6766, pp. 400–409). Orlando, Florida: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-21663-3>
- Whyte, E. M., Smyth, J. M., & Scherf, K. S. (2014). Designing Serious Game Interventions for Individuals with Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. <https://doi.org/10.1007/s10803-014-2333-1>
- Wilkinson, P. (2016). *Entertainment Computing and Serious Games*, 9970, 17–41. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46152-6>
- World Health Organization, & The World Bank. (2011). *World Report on Disability*. Retrieved from http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/report.pdf
- World Wide Web Consortium W3C. (2018). *Web content accessibility guidelines 2.1*. Retrieved from <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
- Wouters, P., van der Spek, E. D., & van Oostendorp, H. (2009). Current practices in serious game research: A review from a learning outcomes perspective. *Effective Practices*, 232–250. <https://doi.org/10.4018/978-1-60566-360-9>
- Wouters, P., van Nimwegen, C., van Oostendorp, H., & van der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, 105, 249–265. <https://doi.org/10.1037/a0031311>
- Wuang, Y. P., Chiang, C. S., Su, C. Y., & Wang, C. C. (2011). Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in children with Down syndrome. *Research in Developmental Disabilities*, 32(1), 312–321. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.10.002>
- Yuan, B., Folmer, E., & Harris, F. C. (2010). Game accessibility: a survey. *Universal Access in the Information Society*, 10(1), 81–100. <https://doi.org/10.1007/s10209-010-0189-5>
- Zyda, M. (2005). *From Visual to Virtual Reality to Games*. IEEE Computer Society, (September), 25–32. Retrieved from <http://mikezyda.com/resources/pubs/Zyda-IEEE-Computer-Sept2005.pdf>