

Using the Kinect Sensor with Open Source Tools for the Development of Educational Games for Kids in Pre-school Age

Romina Fernández* and Christian von Lücken†
Polytechnic School, National University of Asuncion
romifz@gmail.com*, vonlucken@gmail.com†

Abstract—The Kinect sensor is a device that can recognize the user’s hands and body movements without controllers or marks. Although Kinect was originally designed for the Xbox 360 game console, programming tools for PC appeared shortly after its release. As a result, many papers and applications explore Kinect’s technology nowadays, in areas such as robotics and medicine. Kinect can be specially useful for pre-school education, since the human-computer interaction with hand movements supports the concept of hand-eye coordination, an ability to be developed during the pre-school age. This work presents a prototype that uses Kinect and includes educational games for pre-schoolers. This prototype was tested in an educational center for pre-school children, and was evaluated positively. From this experience we concluded that these kind of tools has a high potential in the educational field, whereas there is a need of interaction standards to aid the development of such kind of applications.

Keywords—Kinect, Pre-school, Early Childhood Education, Human-Computer Interaction.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las grandes compañías de consolas de videojuegos empezaron a lanzar dispositivos de entrada basados en detección de movimiento para sus consolas. Estos dispositivos permiten que el jugador interactúe con los videojuegos a través de movimientos de manos, brazos e incluso el cuerpo completo, permitiendo una interacción más natural con los mismos. Los dispositivos más populares dentro de esta categoría son el Nintendo Wii de Nintendo [1], el sensor Kinect de Microsoft [2] y el PlayStation Move de Sony [3].

Estas tecnologías despertaron el interés de muchos desarrolladores e investigadores sobre las posibilidades de utilizarlas con una PC. Hoy en día existen herramientas tanto de licencia restringida como libres que permiten integrar estos dispositivos a aplicaciones de escritorio; gracias a ellas se realizaron muchos trabajos que exploran las posibles aplicaciones de estos dispositivos en distintas áreas.

El sensor Kinect se destaca claramente de sus competidores por dos razones: (i) puede detectar los movimientos de cuerpo completo y (ii) no requiere del uso de controles de mano. Estas características le dan más libertad de expresión al jugador y proporciona muchas más alternativas de interacción para los desarrolladores. Aunque existen muchas áreas de interés en las cuales se aplica actualmente el sensor Kinect, se pueden citar algunas de las más comunes:

- *Robótica.* La detección de profundidad del sensor Kinect se utiliza en este campo para mejorar la visión artificial de los robots. Algunos ejemplos de esto son [4] y [5] que tratan sobre la navegación autónoma de robots utilizando Kinect como una fuente de información del entorno.
- *Medicina.* La interacción de cuerpo completo y sin controles que se puede lograr con el sensor Kinect es conveniente para los sistemas terapéuticos y de rehabilitación de pacientes con diversos problemas de movilidad. Ejemplos de estos sistemas se pueden ver en [6], donde se implementa una plataforma configurable para ejercicios físicos y en [7], que presenta un sistema de rehabilitación para pacientes con atrofia muscular y parálisis cerebral.
- *Interfaz humano-computador.* Algunos trabajos buscan llevar la interacción sin controles del sensor Kinect a otras aplicaciones además de los videojuegos, ya que puede constituir una forma de interacción humano-computador más “natural” para los usuarios. Ejemplos de esto son [8], en el que se implementa un sistema para la consulta de imágenes médicas, y [9], que presenta una interfaz para la interacción con Google Earth basada en gestos.
- *Escaneo 3D.* La información de profundidad del sensor Kinect puede utilizarse para el escaneo en 3D de objetos y escenas, como se puede ver en [10] y [11].
- *Educación.* Actualmente muchos trabajos exploran los posibles beneficios que podría tener el uso del sensor Kinect en el aula. En la Sección II se presentan ejemplos de estos trabajos.

Como se ha señalado, el sensor Kinect permite la interacción a través de movimientos y gestos con las manos; lo que podría ser útil para desarrollar la coordinación mano-ojo en los niños en edad pre-escolar. Según Ortega y Obispo [12, p. 145], la coordinación ojo-mano (o coordinación visomanual) se define como “la capacidad que posee un individuo para utilizar simultáneamente las manos y la vista con objeto de realizar una tarea o actividad”. Se considera que el desarrollo de esta habilidad es importante para los niños pequeños porque influirá luego en su facilidad de aprendizaje de la lectura y la escritura [12].

Así, en este trabajo se desarrolló una aplicación que utiliza el sensor Kinect dentro del área de la educación pre-escolar.

Esta aplicación contiene una serie de juegos dirigidos a niños de esta edad; con la ayuda del sensor Kinect los niños interactúan con los juegos a través de movimientos de las manos, ejercitando así la coordinación ojo-mano. El prototipo fue llevado a una prueba de campo en un aula, en la cual los niños pudieron probar cada uno de los juegos y los docentes brindaron su apreciación con respecto a la aplicación y a su utilidad en el trabajo docente. Esta aplicación representa una herramienta novedosa en el área de la educación pre-escolar, y de la información adquirida de la experiencia realizada se pudo concluir que este dispositivo tiene un potencial beneficio en la educación de niños de esta edad.

En las siguientes secciones se exponen los pasos llevados a cabo en la realización de este trabajo. En la Sección II se encuentra un breve resumen de la investigación que se realizó inicialmente sobre Kinect en el campo educativo. En la Sección III se trata el desarrollo del prototipo: su diseño, las herramientas utilizadas y la forma de interacción implementada. En la Sección IV se describe la prueba de campo y la evaluación que se realizó sobre la misma. Por último, en la Sección V se exponen las conclusiones de acuerdo a los resultados obtenidos.

II. EL SENSOR KINECT EN LA EDUCACIÓN

Poco después del lanzamiento del sensor Kinect aparecieron las primeras publicaciones que señalaban que este dispositivo podría ser de utilidad en la educación, en combinación con los juegos comerciales disponibles para el Xbox 360. Por ejemplo, en el “NMC Horizon Report: 2012 K-12 Edition” [13] se hace énfasis en el potencial que tienen los dispositivos de interacción natural (entre los cuales se incluye el sensor Kinect), especialmente para la educación K-12¹ y la asistencia a personas con necesidades especiales. También en el trabajo de DePriest y Barilovits [14], se describe cómo la plataforma Xbox Live en combinación con el sensor Kinect pueden utilizarse con fines educativos. De forma similar, el trabajo de Kandroudi y Bratitsis [15] plantea cómo pueden utilizarse algunos juegos comerciales para los mismos fines.

Entre los análisis realizados sobre el sensor Kinect como herramienta en la educación se destaca el trabajo realizado por Hsu [16], quien estudió los potenciales beneficios del uso de este sensor en el aula. Aunque sin presentar ningún prototipo o sistema, Hsu concluyó que los posibles beneficios son prometedores y que su uso ayudará a mejorar la calidad de la enseñanza, señalando que su éxito o fracaso en el ámbito educativo dependerá en gran medida de la disponibilidad de aplicaciones educativas que puedan ser utilizadas con el dispositivo.

Según Hsu, los beneficios del uso de Kinect son los siguientes:

1. Los docentes pueden interactuar con los contenidos expuestos en pantalla a través de gestos, movimientos y voz en lugar del teclado y el ratón.
2. El docente puede compartir el control de la pantalla con los estudiantes, gracias a que Kinect permite la interacción con más de un usuario. Esto puede

permitir actividades tales como trabajos en grupo o interacción uno a uno entre docente y estudiante.

3. Kinect puede servir como soporte para la enseñanza de actividades físicas, tales como la danza o las artes marciales.
4. Kinect puede incentivar la participación de los estudiantes en clase. Ya que este sensor es una herramienta estimulante se pueden crear interesantes aplicaciones para captar la atención de los estudiantes.

Hsu también expuso los posibles inconvenientes con el uso de esta herramienta en el aula:

1. Kinect requiere de un espacio vacío entre el usuario y el dispositivo (0,8m como mínimo), además del espacio que necesita el usuario para moverse e interactuar con la pantalla. Esta cantidad de espacio podría no estar disponible en el aula.
2. No existen muchas aplicaciones con Kinect disponibles que puedan ser utilizadas por los docentes en clase, de modo que los docentes no cuentan con muchas alternativas si desean llevar el sensor Kinect a sus clases.

A. Trabajos realizados

Actualmente existen muchos trabajos que utilizan el sensor Kinect en el campo educativo; estos se pueden clasificar en alguno de los siguientes grupos de acuerdo al público al cual están dirigidos:

- *Estudiantes de primaria y secundaria:* en estos trabajos se busca complementar el trabajo educativo por medio de juegos que refuercen lo aprendido en clase. Ejemplos de estos trabajos son los de Akazawa, Takei, Suzuki et al. [17] que ayudan a los niños a practicar la tabla de multiplicación “Kuku” a través de gestos y el trabajo de Lee, Liu y Zhang [18], que contiene juegos matemáticos para niños. La Tabla I muestra un resumen de estos trabajos.
- *Niños con necesidades especiales:* este grupo contiene aquellos trabajos que buscan tratar algún impedimento o facilitar la educación de los niños que poseen alguna discapacidad o problema de aprendizaje. Algunos ejemplos son el trabajo de Altanis, Boloudakis, Retalis et al. [19] que desarrolla juegos dirigidos a niños con problemas motrices, y el trabajo de Shahat y Sehat [20] está orientado a ayudar a los niños con dislexia. Los trabajos en esta clasificación pueden verse en la Tabla II.
- *Estudiantes universitarios:* en este grupo existen muy pocos trabajos, así como puede verse en la Tabla III. Algunos de ellos están orientados a asistir en la educación de estudiantes de ciencias de la computación, como los trabajos de Tolgyessy y Hubinsky [21] y Eikerling y Uelschen [22].
- *Estudiantes de cualquier edad:* muchos de los trabajos con el sensor Kinect no están orientados a un grupo en particular. Por ejemplo, el trabajo de Wen y Shienwen [23] consiste en una aplicación 3D interactiva que ayuda al aprendizaje del idioma inglés,

¹K-12: educación primaria y secundaria en EE.UU.

Tabla I
TRABAJOS SOBRE EL SENSOR KINECT: ESTUDIANTES DE PRIMARIA Y SECUNDARIA

#	Título	Contenido	Público Objetivo	Breve descripción
1	<i>Learning Recycling From Playing A Kinect Game</i> [24]	Estudiantes de primaria	Reciclaje	Se implementa un juego educativo con el sensor Kinect con el fin de investigar las ventajas del uso de interfaces basadas en gestos en los juegos educativos.
2	"Improving Learning Performance with Happiness by Interactive Scenarios" [25]	Estudiantes de primaria	Lógica (puzzles)	Implementación de un juego de puzzle con el sensor Kinect que busca motivar a los estudiantes y mejorar su aprendizaje.
3	"Alien Health: A Nutrition Instruction Exergame Using the Kinect Sensor" [26]	Estudiantes (4to al 12vo grado)	Nutrición y ejercicios	Implementación de un juego que motiva a los usuarios a hacer ejercicio al mismo tiempo que enseña hábitos alimenticios.
4	"Trial of Learning Support System Using Kinect in After School Care Programs" [17]	Estudiantes (1ro al 6to grado)	Matemáticas	Implementación de una aplicación que ayuda a los niños a practicar la tabla de multiplicación "Kuku". La aplicación se implementó como una herramienta de entretenimiento para un programa de cuidado después de clases.
5	<i>Xdigit: An arithmetic kinect game to enhance math learning experiences</i> [18]	Niños	Matemáticas	Implementación de juegos matemáticos para niños con el uso del sensor Kinect.
6	"To design an interactive learning system for child by integrating blocks with Kinect" [27]	Niños	Estructuras geométricas	Sistema que propone a los niños diferentes estructuras a construir con bloques, y que luego valida el trabajo del niño con la ayuda del sensor Kinect.
7	"A learning support system for 9x9 multiplication table with Kinect" [28]	Niños	Matemáticas	Implementación de una aplicación que ayuda a los estudiantes a aprender la tabla de multiplicación "Kuku" a través de gestos.
8	"Moved to learn: The effects of interactivity in a Kinect-based literacy game for beginning readers" [29]	Niños (de 5 a 7 años)	Lectura	Estudio que explora el uso del sensor Kinect como estímulo para el aprendizaje de vocabulario en niños pequeños.
9	"Exploring the potential of interactive technology in early stage education with the Microsoft Kinect" [30]	Niños	Lectura, Escritura	Implementación de juegos con el sensor Kinect para ejercitar la lectura y escritura en niños pequeños.
10	"Computer Assisted English Learning System with Gestures for Young Children" [31]	Niños	Aprendizaje del idioma inglés	Implementación de un sistema para el aprendizaje del idioma inglés como segundo idioma con interacción basada en gestos.
11	"Kids Magic Learning: Kinect-based Game Learning Development and Practice" [32]	Niños (de 5 a 8 años)	Varios	Implementación de juegos controlados con el sensor Kinect. Se busca que el sensor Kinect sea un estimulante para la atención y concentración de los niños.
12	"Besound: embodied reflexion for music education in childhood" [33]	Niños	Música	Aplicación que permite a los niños explorar los elementos básicos de la composición musical utilizando movimientos del cuerpo.
13	"Tangible Interfaces and Virtual Worlds: A New Environment for Inclusive Education" [34]	Niños	-	Implementación que integra el sensor Kinect con mundos virtuales para su aplicación en la educación inclusiva de niños que inmigraron recientemente y que no conocen muy bien el idioma.

Tabla II
TRABAJOS SOBRE EL SENSOR KINECT: NIÑOS CON NECESIDADES ESPECIALES

#	Título	Contenido	Público Objetivo	Breve descripción
1	"Children with Motor Impairments Play a Kinect Learning Game: First Findings from a Pilot Case in an Authentic Classroom Environment" [19]	Niños con problemas de motricidad gruesa	Varios	Implementación y prueba de juegos dirigidos a niños con problemas motrices.
2	"A gesture-controlled serious game for teaching emotion recognition skills to preschoolers with autism." [35]	Niños de preescolar con autismo	Reconocimiento de emociones	Implementación de juegos que ayudan a los niños con autismo a identificar emociones. Se facilita la interacción humano-computador con el sensor Kinect.
3	"Kinect in Education: A Proposal for Children with Autism" [36]	Niños con autismo	Memoria, habilidades sociales	Estudio que analiza el uso del juego "Kinect Adventures" como una herramienta auxiliar para la enseñanza de niños con autismo.
4	<i>Assistive Courseware for Dyslexic Children To Increase Learning Abilities Based on Kinect Technology (ABCDyslexic)</i> [20]	Niños de 5 a 10 años	Tratamiento de la dislexia	Desarrollo de un curso y una aplicación con juegos dirigidos a niños con dislexia.
5	"Puppet show for entertaining hearing-impaired, together with normal-hearing people—A novel application of human sensing technology to inclusive education" [37]	Niños con y sin problemas auditivos	Lenguaje, educación emocional	Aplicación que permite a los niños interactuar con la historia desarrollada con gestos. El uso de gestos hace que la aplicación sea inclusiva para los niños con dificultades auditivas.
6	<i>A Game for Teaching Children With disability in Reading and Writing in Portuguese using Voice Recognition and Kinect Sensor</i> [38]	Niños con problemas de lectura y escritura	Leer/escribir	Aplicación que contiene actividades para niños con dificultades de lectura y escritura.
7	"Using Kinect in teaching children with hearing and visual impairment" [39]	Niños con problemas auditivos y de visión	-	Análisis sobre cómo el sensor Kinect puede apoyar la educación de los niños con impedimentos de visión y auditivos.

Tabla III
TRABAJOS SOBRE EL SENSOR KINECT: ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS

#	Título	Contenido	Público Objetivo	Breve descripción
1	"An AR edutainment system supporting bone anatomy learning" [40]	Estudiantes de medicina	Anatomía	Aplicación 3D basada en Kinect que permite visualizar en tiempo real y en forma interactiva los huesos que forman parte del esqueleto humano.
2	"Kinect for interactive AR anatomy learning" [41]	Estudiantes de medicina	Anatomía	Implementación de un "espejo mágico" con el sensor Kinect, que permite al usuario visualizar información de anatomía.
3	"Kinesthetic Learning Applied to Mathematics Using Kinect" [42]	Estudiantes universitarios	Matemáticas	Desarrollo de una plataforma con actividades matemáticas para estudiantes.
4	"The Kinect sensor in robotics education" [21]	Estudiantes de robótica	Artículo de posición	Propone los diferentes usos que puede tener el sensor Kinect en la enseñanza de la robótica.
5	"Gaming Equipment for the Enrichment of Computer Science Education" [22]	Estudiantes de Ciencias de la Computación	Artículo de posición	Propone formas para incluir el sensor Kinect en diferentes asignaturas de Ciencias de la Computación como una manera de motivar a los estudiantes

Tabla IV
TRABAJOS SOBRE EL SENSOR KINECT: ESTUDIANTES DE CUALQUIER EDAD

#	Título	Contenido	Breve descripción
1	<i>Research: Using the Xbox Kinect in Foundation Phase English Language Acquisition</i> [43]	Aprendizaje del idioma inglés	Análisis del uso de juegos del Xbox 360 con Kinect como estímulos para mejorar el desempeño en el aprendizaje del inglés como segundo idioma
2	"Effects of Integrating Total Physical Response into Kinect Technology on Learning English Vocabulary" [44]	Aprendizaje del idioma inglés	Este trabajo integra el sensor Kinect en el método Total Physical Response (TPR), usado para enseñanza del inglés como segundo idioma.
3	"Application of Augmented Reality to English Teaching" [23]	Aprendizaje del idioma inglés	Aplicación 3D interactiva que ayuda al aprendizaje del idioma inglés.
4	"Building an Application for Learning the Finger Alphabet of Swiss German Sign Language through Use of the Kinect" [45]	Lenguaje de señas	Aplicación para aprender el lenguaje de señas suizo-alemán. El mismo puede reconocer y validar los gestos del usuario con la ayuda del sensor Kinect.
5	"Learning Chinese Characters with Gestures" [46]	Escritura de caracteres chinos	Aplicación que permite a los usuarios practicar la escritura de caracteres chinos con gestos.
6	"Interactive manipulation of 3D objects using Kinect for visualization tools in education" [47]	Química	Aplicación que permite la manipulación de moléculas en 3D con gestos de las manos.
7	"Game based approach to learn Martial Arts for beginners" [48]	Artes Marciales	Implementación de un sistema para el aprendizaje de artes marciales con el sensor Kinect.
8	"Kinect and 3D GIS in archaeology" [49]	Historia, arqueología	Implementación que permite la navegación de una reconstrucción digital de una ciudad Maya con el sensor Kinect.
9	"Manipulating molecules: Using kinect for immersive learning in chemistry" [50]	Química	Implementación que permite la manipulación de estructuras moleculares.
10	"The effects of using embodied interactions to improve learning performance" [51]	Lenguaje	Implementación de un entorno que permite la interacción con gestos. Esta implementación busca mejorar la motivación de los estudiantes con el uso del sensor Kinect.
11	"Learning Math Using Gesture" [52]	Matemáticas	Implementación de juegos de matemática con el sensor Kinect.
12	"Teaching natural user interaction using OpenNI and the Microsoft Kinect sensor" [53]	Interacción natural	Uso del Kinect para la enseñanza de interacción natural.
13	"Research on Real-Time Contents for Human Body Experience Edutainment" [54]	Anatomía	Aplicación 3D basada en el sensor Kinect que permite visualizar distintos órganos del cuerpo humano de forma interactiva.
14	"An Interactive Web-Based Navigation System for Learning Human Anatomy" [55]	Anatomía	Sistema de aprendizaje de anatomía que usa el sensor Kinect para facilitar la interacción con el usuario.
15	"Teaching Spatial Visualization Skills Using OpenNI and the Microsoft Kinect Sensor" [56]	Visualización espacial	Implementación de una herramienta que ejercita la visualización espacial a través de la manipulación de objetos 3D en tiempo real.
16	"Exploring the educational perspectives of XBOX kinect based video games" [15]	-	Análisis del uso educativo de los juegos para el Xbox 360 basados en Kinect.

Tabla V
TRABAJOS SOBRE EL SENSOR KINECT: DOCENTES Y DISERTANTES

#	Título	Contenido	Público Objetivo	Breve descripción
1	"Gesture recognition using Kinect in a virtual classroom environment" [57]	Estudiantes	Teleconferencia	Implementación de una aplicación dirigida a los estudiantes a distancia que les permite una mayor interacción en las conferencias virtuales a través del uso de gestos.
2	"Virtualizing Real-Life Lectures with vAcademia, Kinect, and iPad" [58]	Presentador	Teleconferencia	Implementación de una herramienta que lleva al conferencista a un mundo virtual 3D en tiempo real.
3	"Developing an Interactive Learning Environment with Kinect" [59]	Presentador y estudiantes	Pizarra electrónica	Implementación de una pizarra electrónica económica con el sensor Kinect.
4	"Prototype of learning tool with augmented reality and natural hand interaction using depth sensing camera" [60]	Presentador y estudiantes	Realidad aumentada	Implementación de un prototipo que permite al usuario manipular contenido en realidad aumentada.
5	"Using Kinect for Holodeck Classroom: A Framework for Presentation and Assessment" [61]	Estudiantes	Aula virtual	Creación de un aula virtual interactiva con el sensor Kinect.

y el trabajo de Chye y Nakajima [48] implementa un sistema de aprendizaje de artes marciales. La Tabla IV ilustra todos los trabajos encontrados en esta categoría.

- *Docentes y disertantes*: dentro de este grupo los trabajos están dirigidos a auxiliar a los docentes en sus clases, como el trabajo de Hariharan, Padmini y Gopalakrishnan [57] quienes implementan un sistema que asiste a los estudiantes en el desarrollo de clases a distancia en tiempo real a través del uso de gestos, y el trabajo de Şimşek y Durdu [59] que utilizan el sensor Kinect para implementar una “pizarra electrónica”. En la Tabla V pueden verse los trabajos en esta clasificación.

III. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

A. Consideraciones de diseño

Para el prototipo se decidió implementar juegos con funcionalidades sencillas y que contemplaran algunos temas de aprendizaje comunes en la edad pre-escolar, específicamente del área de matemáticas. Para ello se consultaron diferentes materiales, entre ellos manuales y documentación de apoyo para maestros [62], [63]; y también se realizaron entrevistas con docentes del área.

Después de analizar la información reunida se decidió implementar los siguientes juegos:

- *Ordenar*, que permite que el niño ordene objetos de diferentes tamaños de menor a mayor;
- *Parear*, en el cual el niño debe asociar diferentes conjuntos de elementos con su representación numérica, y
- *Sumar*, en el que el niño puede visualizar los componentes de una suma y puede alterar el resultado agregando o quitando elementos de los sumandos.

En el apartado D se darán más detalles sobre la implementación de estos juegos.

También se consideró que el prototipo debería tener cierta flexibilidad en su contenido, de modo que el docente pueda adaptarlo de acuerdo a su criterio. Así se decidió que las imágenes serían configurables, al igual que otras opciones que se verán más adelante.

B. Herramientas

Para el desarrollo con Kinect se consideraron las herramientas disponibles en el momento de realizar el trabajo: *libfreenect*[64], *OpenNI*[65], y el SDK oficial de Microsoft para *Kinect for Windows*[66].

Libfreenect es un controlador (*driver*) open source que permite recibir los datos de salida crudos (*raw output*) del sensor Kinect. Por otro lado, OpenNI es un framework open source que permite el desarrollo de aplicaciones con interfaces naturales; su API proporciona características avanzadas como reconocimiento de cuerpo completo, reconocimiento de manos y detección de gestos y análisis de escena. Por último, el Kinect for Windows SDK es un *framework* completo que ofrece desde información del sensor en crudo (audio, imágenes

RGB y de profundidad) hasta información avanzada como *skeletal tracking* de hasta 6 usuarios a la vez, *face tracking* y reconocimiento de voz.

Para elegir una de estas herramientas se tomaron en consideración varios criterios: un resumen puede verse en la Tabla VI, donde están sombreadas todas las opciones que se consideraron favorables. Primeramente, se decidió dar preferencia a utilizar herramientas open source siempre que sea posible; por lo que se tomó en consideración las licencias de cada herramienta. También se tomaron en consideración los sistemas operativos y los lenguajes que soporta cada herramienta; se consideraron favorables los sistemas operativos libres y la mayor cantidad de alternativas de lenguajes de programación.

Luego se consideraron las funcionalidades que serían útiles para la programación. La grabación es una funcionalidad que permite grabar la salida del sensor Kinect para reproducirla más tarde, lo cual es muy útil para el desarrollo ya que facilita la depuración. El *skeleton tracking* y el reconocimiento de gestos son características que están relacionadas y que implican analizar los datos de salida del Kinect para proporcionar información de alto nivel; el reconocimiento de gestos es especialmente importante para este trabajo, ya que la interacción humano-computador se realiza generalmente a través de movimientos y gestos de las manos. Por último, la calibración es una operación necesaria para realizar seguimiento (*tracking*) tanto de las manos como del cuerpo del usuario.

Desafortunadamente, Libfreenect no posee ninguna capacidad de análisis de datos que se pueda aprovechar para la programación; y el SDK de Microsoft posee una licencia privativa y funciona sólo con las últimas versiones de Windows.

OpenNI reúne la gran mayoría de las características deseadas. Los gestos predefinidos son suficientes para implementar la interacción humano-computador que se busca, es open source y puede utilizarse en diferentes sistemas operativos; por los factores antes señalados se eligió OpenNI para el presente trabajo.

Como lenguaje de programación se utilizó C++. para los gráficos y el audio del prototipo se utilizó SFML, una librería

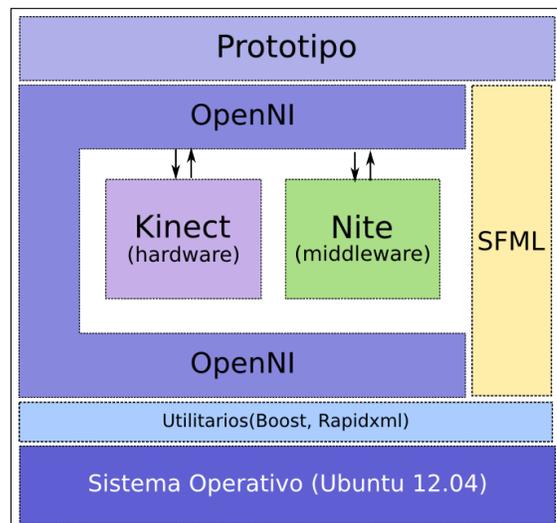


Figura 1. Pila de tecnologías utilizadas para el prototipo

Tabla VI
COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LAS HERRAMIENTAS DISPONIBLES PARA EL DESARROLLO CON KINECT

	libfreenect	Kinect SDK	OpenNI
Licencia	Apache v2/GPL v2	Privativo	Apache v2
Sistemas Operativos	Linux, OSX, Windows	Windows 7, 8	Windows, OSX 10.6+, Ubuntu 12.04+, Linux Mint 12+
Lenguajes de Programación	C, con wrappers para Java, C++, C#, Python, Javascript, entre otros.	C++	C, con wrappers para C++ y Java
Grabación (<i>Recording</i>)	Sí	Sí	Sí
Skeleton tracking	No	Sí	Sí
Reconocimiento de gestos	No	Permite crear gestos	Sólo gestos predefinidos
Calibración	No	Sí	Sí

orientada al desarrollo de videojuegos, y se utilizaron algunas librerías auxiliares como Boost [67] y RapidXml [68]. En la Figura 1 se puede ver una ilustración de la pila de tecnologías utilizadas.

C. Interacción Humano-Computador

Ninguna de las herramientas vistas anteriormente impone la forma de interacción entre el usuario y la aplicación, de modo que esta debe ser diseñada.

En muchas aplicaciones basadas en gestos, el usuario interactúa con la aplicación utilizando la mano como un puntero que se refleja en pantalla. Así como en un entorno de escritorio el usuario usa el ratón para mover el puntero por la pantalla y realiza un clic o un doble clic para indicar una acción (seleccionar, abrir un directorio, etc.) en un entorno basado en gestos el usuario puede usar una mano para señalar y realizar gestos para indicar acciones. Los gestos pueden realizarse con una mano, con ambas o incluso con el cuerpo; en el caso del prototipo los gestos se realizan con una sola mano.

Para manejar el flujo del control de la aplicación (es decir, el control de la aplicación en un entorno en el cual se identifican varios usuarios, siendo que sólo uno puede tener el control a la vez) se utilizó la herramienta Nite[69], que es un *middleware* para OpenNI. Si bien Nite no es open source, no existen alternativas prácticas a esta herramienta que posean una licencia de este tipo; de modo que a pesar de esto fue seleccionado para su utilización en el presente trabajo.

OpenNI soporta algunos gestos predefinidos que se utilizan en el prototipo. Para iniciar la interacción con la aplicación se requiere que el usuario realice el gesto *wave*, y para la activación de botones y selección de elementos se utiliza el gesto *click*.

El gesto *click* se realiza extendiendo la mano abierta, con los dedos apuntando hacia arriba, en dirección al sensor, y luego retrocediendo la mano de vuelta en dirección al cuerpo. El movimiento debe tener una distancia de al menos 20 cm. Por otro lado, el gesto *wave* consiste en mover la mano en forma horizontal repetidas veces. Para poder identificar este gesto correctamente se debe realizar al menos 5 movimientos horizontales. Al igual que en el gesto *click*, el movimiento debe ser continuo y no muy lento o muy rápido. El movimiento se puede empezar de derecha a izquierda o de izquierda a derecha indistintamente.

D. El prototipo

La pantalla principal de la aplicación puede verse en la Figura 2(a). Esta pantalla muestra unos botones que permiten ingresar a cada uno de los juegos. Los botones pueden accionarse con el gesto *click*.

La Figura 2(b) muestra la pantalla inicial del juego Ordenar. En ella se pueden ver las figuras de distintos tamaños alineados en una barra superior y las casillas vacías en la parte inferior. Inicialmente, los elementos aparecen de forma desordenada y se deben ordenar de menor a mayor desde la izquierda hacia la derecha. Los elementos pueden colocarse en las casillas mediante la acción de arrastrar y soltar, que se realiza haciendo un gesto *click* sobre el elemento que se desea mover, y luego haciendo otro gesto *click* sobre donde se desee colocar el elemento. Entre ambos gestos, el elemento flota con el cursor hasta que es “soltado”.

Si un elemento es arrastrado a una casilla que no corresponde, el mismo vuelve a su posición original en la barra superior y la aplicación emite un sonido que indica un movimiento erróneo. Si el elemento se arrastra y suelta dentro del área de la casilla correcta, el elemento se centra dentro de dicha casilla y la aplicación emite un sonido indicando un movimiento correcto. El juego finaliza cuando todos los elementos están colocados en las casillas correctas.

La pantalla inicial del juego Parear puede verse en la Figura 2(c). A la izquierda de la pantalla se encuentran figuras que contienen distintas cantidades de objetos y sus correspondientes representaciones numéricas se encuentran a la derecha de forma desordenada.

Los elementos de ambas columnas se parean seleccionándolos de forma consecutiva, y no importa cuál de los elementos se seleccione primero. Al posicionar la mano sobre un elemento, el mismo se resalta con un encuadre de color verde, y al realizar el gesto *click* sobre el mismo el encuadre se vuelve rojo. Si el segundo elemento seleccionado no corresponde al primero (es decir, si no se elige el número correcto para la cantidad de objetos de la figura o viceversa) la aplicación emite un mensaje de error y el resalte de los elementos seleccionados desaparece. Cuando se parean correctamente dos elementos, la aplicación emite un sonido indicando una acción correcta y los elementos seleccionados desaparecen. El juego termina cuando todos los elementos de ambas columnas han sido emparejados correctamente.

Finalmente, la Figura 2(d) muestra la pantalla inicial del juego Sumar. En el extremo izquierdo de la pantalla se encuentra el contenedor principal del cual se toman los elementos, y

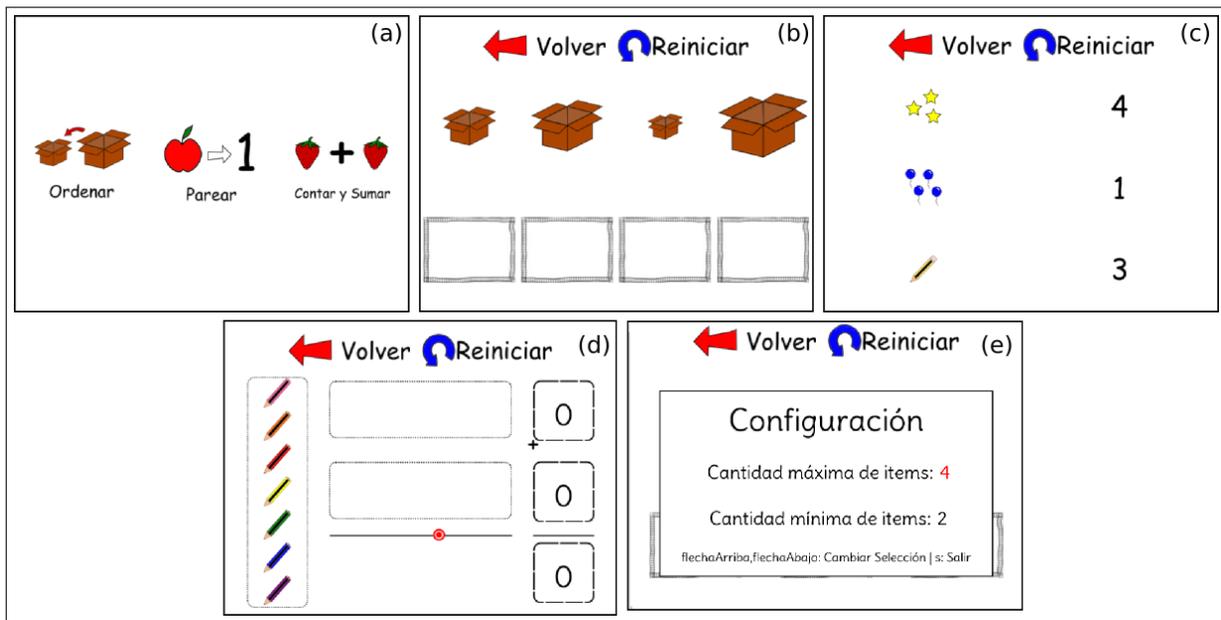


Figura 2. Capturas de pantalla del prototipo

en el centro se encuentran los contenedores de los sumandos. Los elementos del contenedor principal pueden arrastrarse y soltarse en cualquiera de los dos sumandos, y también se puede quitar elementos de los sumandos para regresarlos al contenedor principal. Las casillas que se encuentran a la derecha reflejan los valores de los sumandos y la sumatoria final.

En cada uno de los juegos se puede observar que están disponibles 2 botones en la parte superior de la pantalla. El primero, *Volver*, permite cancelar el juego actual y volver a la pantalla principal; y el segundo, *Reiniciar*, permite comenzar una nueva partida del juego actual.

Como se mencionó anteriormente, el prototipo permite la configuración de algunos de los parámetros y contenidos de los juegos. Específicamente, las opciones que pueden configurarse son:

- La cantidad de elementos que puede utilizar cada juego.
- Las imágenes que utilizarán los elementos de cada juego.
- La cantidad máxima y mínima de elementos que puede mostrarse en una partida del juego. Esta opción se aplica en el caso de los juegos de Ordenar y Parear, en los que se generan partidas mostrando una cantidad aleatoria de elementos.

Estas opciones pueden ser modificadas a través de unos archivos que son leídos al momento de iniciar la ejecución de la aplicación. Como cada juego tiene sus propias características, cada uno de ellos tiene su propio archivo de configuración que se encuentra en el directorio `/config/` de la aplicación. La estructura de los archivos se definen en lenguaje XML.

Para ilustrar el formato de los archivos de configuración, a continuación se muestra el archivo de configuración del juego Ordenar:

```
<game min="2" max="4" >
  <elements emptyImage="slot.jpg">
    <item order="1" img="caja1.png"/>
    <item order="4" img="caja4.png"/>
    <item order="2" img="caja2.png"/>
    <item order="3" img="caja3.png"/>
  </elements>
</game>
```

El archivo inicia con la etiqueta `game`, que se utiliza en las configuraciones de los tres juegos. Los atributos `min` y `max` sirven para indicar las cantidades máximas y mínimas de elementos que pueden aparecer en una partida del juego, como ya se explicó anteriormente.

La etiqueta `elements` agrupa la definición de elementos. Recibe un atributo, `emptyImage`, que define la imagen que se utilizará para las casillas vacías de la barra inferior de la pantalla. Los elementos a mostrar se especifican con la etiqueta `item`, que posee dos parámetros:

- `order`, que indica la posición de ese elemento en la lista ordenada, y
- `img`, que contiene la ubicación del archivo de imagen que se utilizará para ese elemento.

El atributo `order` se utiliza para determinar la posición correcta del elemento en la barra inferior.

Cabe aclarar que el prototipo no redimensiona las imágenes para que se ajusten al orden de los elementos. Las mismas deben crearse con las diferencias de tamaño deseadas.

Las opciones de cantidades de elementos también pueden configurarse en una ventana de configuración del prototipo que puede verse en la Figura 2(e). Esta ventana se despliega al presionar la tecla "c" en la pantalla de los juegos de Ordenar

y Sumar, y los valores se ingresan mediante el teclado. Los cambios realizados se persisten en el archivo de configuración correspondiente al juego activo.

IV. EVALUACIÓN

Para evaluar el prototipo se realizó una prueba de campo en el ABC Children's Center, un centro educativo para niños en edad pre-escolar ubicado en Nuestra Señora de la Asunción 1491 c/ Sicilia de Asunción. En la prueba participaron 20 niños en edades de 4 a 5 años y 4 docentes, y duró aproximadamente 2 horas y media.

Los niños probaron los juegos por turnos, mientras los demás niños y los docentes observaban. En algunas ocasiones, uno de los docentes asistía al niño si se le dificultaba interactuar con el juego o si no comprendía claramente el objetivo de alguno de ellos. Al finalizar la prueba, se entregó a los docentes un cuestionario para evaluar su percepción del prototipo.

Para la prueba fueron necesarias una computadora, el sensor Kinect, un proyector, una mesa y una superficie para la proyección (en este caso, la pizarra).

Según el trabajo de Virzi [70], de 4 a 5 usuarios son suficientes para detectar el 80 % de los errores de usabilidad de un sistema. De acuerdo a esto, la cantidad de niños y docentes presentes en la prueba fue suficiente para detectar la gran mayoría de los problemas de usabilidad que pueda tener el prototipo. También gracias a esta prueba se podrían llegar a detectar problemas potenciales que se podrán evitar en futuras implementaciones, y nuevas características necesarias o deseables para el usuario. Sin embargo, se necesitan pruebas adicionales para analizar con mayor profundidad el grado de utilidad de la herramienta en el proceso educativo.

A. Metodología

Ya que la prueba realizada tiene un aspecto social que no es posible cuantificar al estar dirigido al área educativa, se tratará la evaluación desde dos perspectivas: la cuantitativa, medida a través de los resultados de un cuestionario, y la cualitativa para la cual se describirán las observaciones realizadas durante la prueba. Así se utilizó un enfoque cuanti-cualitativo, con lo cual se buscó cuantificar la aceptación de la aplicación propuesta entre los docentes, y se utilizó el método observacional para intentar captar la percepción de alumnos y docentes sobre la aplicación de forma cualitativa.

Como instrumento del enfoque cuanti-cualitativo se utilizó un cuestionario para la recolección de datos. El cuestionario se elaboró a partir de las heurísticas de usabilidad de juegos propuestas por Desurvire y Wiberg [71] y se agregaron preguntas relativas a la utilidad como juego educativo de la aplicación. Del trabajo de Desurvire y Wiberg [71] se tomaron las heurísticas que eran apropiadas para una aplicación dirigida a niños, como es el presente caso. La Tabla VII muestra las preguntas del cuestionario y los promedios de los resultados obtenidos por cada pregunta. La preguntas se calificaron en una escala del 1 al 5, donde 1 equivalía a "totalmente en desacuerdo" y 5 equivalía a "totalmente de acuerdo".

B. Resultados

De acuerdo a los resultados de la Tabla VII, la puntuación más baja obtenida es de 3,25 y la más alta es de 4,5, lo que indica que los criterios consultados en el cuestionario se cumplieron de forma aceptable. Las preguntas relacionadas a la utilidad del prototipo con fines educativos (Nº20 y 21) obtuvieron puntajes altos.

Examinando más detenidamente los resultados se puede observar que las puntuaciones más bajas (entre 3,25 y 3,75) tienen que ver con dificultades de uso del prototipo, a excepción de la pregunta 10 que se examinará más adelante. Estas puntuaciones pueden deberse a un inconveniente que existe en las interacciones con el sensor Kinect. El reconocimiento de gestos no es 100 % exacto, quizás debido a la baja resolución del mapa de profundidad que proporciona el sensor y también a que ciertos factores en la escena pueden alterar la identificación de usuarios [72, p.9]. Para que un gesto sea reconocido debe cumplir con ciertas condiciones; específicamente, todos los gestos identificados por OpenNI requieren movimientos amplios que deben realizarse con cierta rapidez, de modo que estos pueden resultar poco intuitivos para los usuarios (pregunta 8). Ya que el niño puede necesitar varios intentos para poder realizar los gestos correctamente, en los primeros se puede dar la impresión de que el niño falla de forma repetida (preguntas 2, 5 y 17). Una mejora que se puede introducir para tratar estos inconvenientes sería incluir una guía para los docentes e incluso una actividad introductoria para poder ensayar los gestos antes de jugar (preguntas 7 y 19).

La pregunta 10 se refiere a la música y los efectos de sonido. Cada uno de los juegos reproduce sonidos de acuerdo a las acciones del jugador; pero desafortunadamente, durante la prueba no se pudo disponer de un equipo de audio apropiado para el tamaño de la sala y la cantidad de presentes, lo que probablemente afectó la puntuación de este criterio. La música de fondo es un elemento común en los videojuegos, pero no se tuvo en cuenta para el prototipo.

En cuanto a lo observado durante la prueba, nos resultó evidente el entusiasmo de los niños ante los juegos, hasta el punto en que en ciertos momentos los docentes debían poner orden para que el niño que estaba jugando en ese momento no fuera interrumpido. Todos los niños mostraron interés en jugar y participaron activamente, jugando o intentando ayudar al compañero que estaba jugando si no les correspondía el turno. Así pudimos ver cómo se cumple lo planteado por Hsu [16], quien afirmó que una aplicación con esta tecnología puede estimular la atención de los estudiantes.

La mayoría de los niños no tuvo inconvenientes en jugar, algunos incluso no necesitaron ayuda para la interacción ni para comprender los objetivos de cada juego. Sin embargo también hubieron niños que no podían comprender las actividades a realizar y/o los movimientos correspondientes a los gestos. En estos casos los docentes asistían al niño para que pudiera completar una partida de alguno de los juegos.

Aunque en general consideramos que la experiencia fue muy positiva y que el prototipo cumplió con los objetivos propuestos, pudimos observar algunos inconvenientes:

1. Debido a las dificultades que tenían algunos niños en realizar los gestos, en ocasiones accionaban ac-

Tabla VII
CUESTIONARIO UTILIZADO PARA LA EVALUACIÓN, CON SUS RESULTADOS.

#	Característica	Puntuación
1	El jugador encuentra el juego divertido, sin tareas repetitivas o aburridas	4,25
2	El jugador no es penalizado repetitivamente por la misma falla	3,75
3	El juego mantiene interesado al jugador	4,5
4	Los objetivos del juego son claros	4
5	El jugador se siente en control	3,5
6	El juego ofrece algo diferente en términos de atraer y retener el interés del jugador	4,5
7	El jugador no necesita un manual o un tutorial para jugar	3,75
8	Los controles son consistentes dentro del juego y son intuitivos	3,75
9	El juego reacciona ante las acciones del jugador de forma consistente e inmediata	4
10	El juego proporciona música y efectos de sonido apropiados	3,25
11	El juego no pone una carga innecesaria al jugador (controles, botones o movimientos innecesarios por ejemplo)	4,25
12	El juego proporciona controles que son lo suficientemente básicos para aprender rápidamente, y son expandibles para jugadores avanzados	4,25
13	Los objetos, acciones y opciones del juego son visibles y fácilmente reconocibles	4,25
14	La organización de la pantalla es eficiente, integrada y agradable a la vista	4
15	La interfaz del usuario es consistente en cuanto a colores, tipografía, etc.	4,25
16	La navegación es consistente, lógica y minimalista	4,25
17	El juego evita los errores del jugador	3,5
18	El juego puede ser interrumpido, de forma que los jugadores pueden entrar y salir del juego y guardar los estados del juego	4
19	Al entrar al juego, el jugador tiene suficiente información para empezar a jugar	3,75
20	Las actividades del juego estimulan la coordinación visomotriz del niño/a	4,5
21	Las actividades del juego incluyen contenidos específicos que se desarrollan en la educación pre-escolar, específicamente en el área de matemáticas	4,5

cidentalmente alguno de los botones superiores de la pantalla, y reiniciaban o salían del juego sin intención.

- En el juego de Ordenar faltó una indicación en la pantalla de que el orden de los elementos empezaban desde el menor en el extremo izquierdo de la pantalla.
- Por último, el juego de Sumar no resultó muy llamativo. Ya que este juego no tiene un objetivo final como los demás, los niños no se entretenían mucho tiempo cambiando los elementos de lugar.

En el caso del problema 1, se puede plantear una alternativa a los botones de la barra superior. Una opción sería que se introduzca una pantalla separada de la aplicación principal desde la cual los docentes puedan controlar la navegación y reiniciar los juegos.

El caso del juego de Sumar puede solucionarse indicando un objetivo para el juego; por ejemplo, el docente podría indicar los sumandos deseados y el niño debería colocar los elementos correspondientes, o el mismo juego podría indicar los sumandos rellenando las casillas que despliegan los números.

V. CONCLUSIONES

En general, consideramos esta experiencia como muy positiva y alentadora. Durante la prueba de campo se pudo comprobar que el prototipo tuvo una muy buena recepción por parte de los alumnos y docentes, y que los inconvenientes que se presentaron tuvieron efectos mínimos. La herramienta cumplió con su misión de ser un estímulo para la atención de los niños, y esto lleva a concluir que las aplicaciones que utilicen la tecnología del sensor Kinect o similares pueden llegar a ser efectivas herramientas auxiliares de la enseñanza.

El sensor Kinect es una herramienta novedosa que presenta muchas posibilidades en cuanto a aplicaciones en el campo educativo. En el presente trabajo se utilizó sólo una de muchas posibles formas de interacción que pueden implementarse con este sensor, de modo que existen muchas opciones para los

desarrolladores que quieran involucrarse en el diseño de juegos educativos con esta tecnología.

La aparición reciente del sensor Kinect for Windows v2 brinda la posibilidad de implementar interacciones mucho más avanzadas. Este sensor ofrece un mapa de profundidad de mejor resolución que el sensor Kinect original, lo que permite nuevas características como el seguimiento de rostros (*facial tracking*) que es ofrecido por el SDK oficial de Microsoft [73]. Así se puede ver que esta tecnología sigue avanzando y ofrecerá más y mejores alternativas en el futuro.

La experiencia en el diseño y desarrollo del prototipo fue positiva en general. Al inicio del trabajo se planteó la idea de aprovechar la información del sensor Kinect para crear juegos en 3D, pero luego se desechó esa idea para proveer en su lugar un modelo más simplificado de interacción teniendo en cuenta el público objetivo. Así se optó por un diseño en 2D simple, en el cual se usaron imágenes con formas y colores básicos. En cuanto a la programación, se pudo concluir que OpenNI es una buena herramienta que se comporta de forma estable y provee de una gran cantidad de funcionalidades. Las pocas dificultades que se encontraron fueron debido a que la documentación de este framework no es madura y tampoco existen muchos ejemplos en código.

La principal limitante que posee actualmente OpenNI es que no proporciona un mecanismo por el cual el programador pueda definir sus propios gestos. Aunque no fue indispensable en este trabajo, sí es importante para dar más alternativas a los programadores en el futuro. En este sentido, actualmente este framework es superado por el SDK oficial de Microsoft, y puede que OpenNI esté condenado a desaparecer si no sigue las últimas tendencias.

Desafortunadamente, todavía existe un vacío en lo que se refiere a estándares de interacción con tecnologías sin controles. Como hoy en día este tipo de interacción es usado mayormente en el mercado de los videojuegos, casi no existen guías o convenciones que ayuden al programador a diseñar este tipo de interacciones. Recientemente, Microsoft lanzó una guía de interacciones humano-computador dirigido hacia el uso del

sensor Kinect for Windows v2 [74].

El potencial que el sensor Kinect tiene en el campo educativo abre las puertas a muchas investigaciones y aplicaciones futuras. Como continuaciones al presente trabajo, pueden desarrollarse nuevos juegos que propongan otras temáticas u otras formas de interacción facilitadas por este sensor, como la interacción de cuerpo completo. También pueden proponerse heurísticas que ayuden a determinar la usabilidad de juegos dirigidos a niños, ya que estos presentan diferencias notables en comparación a los videojuegos comerciales, que son el objeto de las heurísticas propuestas por Desurvire y Wiberg [71]. Por último, la usabilidad de aplicaciones con tecnologías sin controles similares a Kinect es un campo poco explorado.

REFERENCIAS

- [1] J. C. Lee, "Hacking the nintendo wii remote", *Pervasive Computing, IEEE*, vol. 7, n.º 3, págs. 39-45, 2008.
- [2] *Kinect para xbox 360*. URL: <http://www.xbox.com/en-US/xbox-360/accessories/kinect/>.
- [3] *Playstation move*. URL: <http://latam.playstation.com/ps3/playstation-move/>.
- [4] C. Romero Molano y C. Díaz Celis, "Navegación de robot móvil usando kinect y opencv", en *Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica-UNAB*, vol. 2, 2011.
- [5] J. Stowers, M. P. Hayes y A. Bainbridge-Smith, "Quadrotor helicopter flight control using hough transform and depth map from a microsoft kinect sensor.", en *MVA*, Citeseer, 2011, págs. 352-356.
- [6] E. de desarrollo SINPROMI, *Advant: Advanced therapeutics. plataforma accesible en el marco de la rehabilitación físico-cognitiva*.
- [7] J.-D. Huang, "Kinerehab: A kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities", en *The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, ACM, 2011, págs. 319-320.
- [8] L. Gallo, A. P. Placitelli y M. Ciampi, "Controller-free exploration of medical image data: Experiencing the kinect", en *Computer-Based Medical Systems (CBMS), 2011 24th International Symposium on*, IEEE, 2011, págs. 1-6.
- [9] M. N. K. Boulos, B. J. Blanchard, C. Walker, J. Montero, A. Tripathy, R. Gutierrez-Osuna et al., "Web gis in practice x: A microsoft kinect natural user interface for google earth navigation", *International Journal of Health Geographics*, vol. 10, n.º 1, pág. 45, 2011.
- [10] Y. Cui y D. Stricker, "3d shape scanning with a kinect", en *ACM SIGGRAPH 2011 Posters*, ACM, 2011, pág. 57.
- [11] S. Izadi, D. Kim, O. Hilliges, D. Molyneaux, R. Newcombe, P. Kohli, J. Shotton, S. Hodges, D. Freeman, A. Davison et al., "Kinectfusion: Real-time 3d reconstruction and interaction using a moving depth camera", en *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, ACM, 2011, págs. 559-568.
- [12] J. Ortega y J. Obispo, *Manual de psicomotricidad. (Teoría, exploración, programación y práctica)*, ép. Educación actual. Ediciones La Tierra Hoy, S.L., 2007, ISBN: 9788496182387.
- [13] L. Johnson, S. Adams y M. Cummings, "Nmc horizon report: 2012 k-12 edition", en *The New Media Consortium*, 2012, págs. 32-35.
- [14] D. DePriest y K. Barilovits, "Live: Xbox kinect© s virtual realities to learning games", en *TCC-Teaching Colleges and Community Worldwide Online Conference*, vol. 2011, 2011, págs. 48-54.
- [15] M. Kandroudi y T. Bratitsis, "Exploring the educational perspectives of xbox kinect based video games", *Proceedings of ECGBL*, págs. 219-227, 2012.
- [16] H.-m. J. Hsu, "The potential of kinect as interactive educational technology.", *International Proceedings of Economics Development & Research*, vol. 13, 2011.
- [17] N. Akazawa, Y. Takei, M. Suzuki, Y. Nakayama y H. Kakuda, "Trial of learning support system using kinect in after school care programs", *Journal of Information Processing*, vol. 22, n.º 4, págs. 574-582, 2014.
- [18] E. Lee, X. Liu y X. Zhang. (feb. de 2015). Xdigit: An arithmetic kinect game to enhance math learning experiences, URL: <http://www.elwinlee.com/portfolio/game/xdigit/>.
- [19] G. Altanis, M. Boloudakis, S. Retalis y N. Nikou, "Children with motor impairments play a kinect learning game: First findings from a pilot case in an authentic classroom environment", *Interaction Design and Architecture (s) Journal-IxD&A* 19, págs. 91-104, 2013.
- [20] M. Shahat y M. Sehat, *Assistive courseware for dyslexic children to increase learning abilities based on kinect technology (abcdyslexic)*, 2012.
- [21] M. Tolgyessy y P. Hubinsky, "The kinect sensor in robotics education", *Proceedings of 2nd International Conference on Robotics in Education*, págs. 143-146, 2011.
- [22] H.-J. Eikerling y M. Uelschen, "Gaming equipment for the enrichment of computer science education", en *2013 International Conference on Advanced ICT and Education (ICAICTE-13)*, Atlantis Press, 2013.
- [23] J.-r. Wen y T. Shien-wen, "Application of augmented reality to english teaching", *IAMURE International Journal of Mathematics, Engineering and Technology*, vol. 7, n.º 1, 2013.
- [24] A. I. Wang y J. Ibáñez. (feb. de 2015). Learning recycling from playing a kinect game, URL: <http://www.idi.ntnu.no/~alfw/publications/kinect-recycling-game-draft.pdf>.
- [25] C.-H. Chuang, Y.-N. Chen, L.-W. Tsai, C.-C. Lee y H.-C. Tsai, "Improving learning performance with happiness by interactive scenarios", *The Scientific World Journal*, vol. 2014, 2014.
- [26] M. C. Johnson-Glenberg, C. Savio-Ramos y H. Henry, "Alien health: A nutrition instruction exergame using the kinect sensor", *GAMES FOR HEALTH: Research, Development, and Clinical Applications*, vol. 3, n.º 4, págs. 241-251, 2014.
- [27] K.-W. Chen, F.-C. Hsu, Y.-Z. Hsieh y C.-H. Chou, "To design an interactive learning system for child by integrating blocks with kinect", en *Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2014 IEEE*, IEEE, 2014, págs. 20-22.
- [28] N. Akazawa, Y. Takei, Y. Nakayama, H. Kakuda y M. Suzuki, "A learning support system for 9× 9 multiplication table with kinect", en *Consumer Electronics*

- (GCCE), 2013 IEEE 2nd Global Conference on, IEEE, 2013, págs. 253-257.
- [29] B. D. Homer, C. K. Kinzer, J. L. Plass, S. M. Letourneau, D. Hoffman, M. Bromley, E. O. Hayward, S. Turkay e Y. Kornak, "Moved to learn: The effects of interactivity in a kinect-based literacy game for beginning readers", *Computers & Education*, vol. 74, págs. 37-49, 2014.
- [30] R. Berry, "Exploring the potential of interactive technology in early stage education with the microsoft kinect", BSc Dissertation, University of Portsmouth, 2013.
- [31] S. I. Jung, J. Y. Choeh, S.-W. Baik, S. Kwon y J.-W. Lee, "Computer assisted english learning system with gestures for young children", en *Ubiquitous Information Technologies and Applications*, Springer, 2014, págs. 403-408.
- [32] J.-R. Y. Chen y D.-Y. Li, "Kids magic learning: Kinect-based game learning development and practice", en *Taiwan Academic Network Conference*, 2012.
- [33] G. Volpe, G. Varni, A. R. Addressi y B. Mazzarino, "Besound: Embodied reflexion for music education in childhood", en *Proceedings of the 11th International Conference on Interaction Design and Children*, ACM, 2012, págs. 172-175.
- [34] J. Mateu, M. J. Lasala y X. Alamán, "Tangible interfaces and virtual worlds: A new environment for inclusive education", en *Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence. Context-Awareness and Context-Driven Interaction*, Springer, 2013, págs. 119-126.
- [35] E. Christinaki, G. Triantafyllidis y N. Vidakis, "A gesture-controlled serious game for teaching emotion recognition skills to preschoolers with autism.", en *8th International Conference on the Foundations of Digital Games*, 2013, págs. 417-418.
- [36] E. Boutsika, "Kinect in education: A proposal for children with autism", *Procedia Computer Science*, vol. 27, págs. 123-129, 2014.
- [37] M. Goseki, R. Egusa, T. Adachi, H. Takemura, H. Mizoguchi, M. Namatame, F. Kusunoki y S. Inagaki, "Puppet show for entertaining hearing-impaired, together with normal-hearing people—a novel application of human sensing technology to inclusive education", en *Innovative Engineering Systems (ICIES), 2012 First International Conference on*, IEEE, 2012, págs. 121-124.
- [38] E. S. S. E. B. Sales, D. M. Cavalcante, L. B. Marques y D. S. das Graças, *A Game for Teaching Children With disability in Reading and Writing in Portuguese using Voice Recognition and Kinect Sensor*. IEEE, 2011.
- [39] K. Armin, Z. Mehrana y D. Fatemeh, "Using kinect in teaching children with hearing and visual impairment", en *E-Learning and E-Teaching (ICELET), 2013 Fourth International Conference on*, IEEE, 2013, págs. 86-90.
- [40] P. Stefan, P. Wucherer, Y. Oyamada, M. Ma, A. Schoch, M. Kanegae, N. Shimizu, T. Kodera, S. Cahier, M. Weigl et al., "An ar edutainment system supporting bone anatomy learning", en *Virtual Reality (VR), 2014 IEEE*, IEEE, 2014, págs. 113-114.
- [41] M. Meng, P. Fallavollita, T. Blum, U. Eck, C. Sandor, S. Weidert, J. Waschke y N. Navab, "Kinect for interactive ar anatomy learning", en *Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2013 IEEE International Symposium on*, IEEE, 2013, págs. 277-278.
- [42] N. A. R. Ayala, E. G. Mendivil, P. Salinas y H. Rios, "Kinesthetic learning applied to mathematics using kinect", *Procedia Computer Science*, vol. 25, págs. 131-135, 2013.
- [43] P. de Lisle, "Research: Using the xbox kinect in foundation phase english language acquisition", SchoolNet-Sudáfrica, inf. téc., 2011.
- [44] C.-C. Hsu, "Effects of integrating total physical response into kinect technology on learning english vocabulary", Tesis de Masterado, National Sun Yat-sen University, Taiwan, 2013.
- [45] P. L. Nguyen, V. Falk y S. Ebling, "Building an application for learning the finger alphabet of swiss german sign language through use of the kinect", en *Computers Helping People with Special Needs*, Springer, 2014, págs. 404-407.
- [46] J. Ji, H. Yu, B. Li y H. Zhang, "Learning chinese characters with gestures", *International Journal of Information Technology*, vol. 19, n.º 1, 2013.
- [47] J. Lee, H. Gu, H. Kim, J. Kim, H. Kim y H. Kim, "Interactive manipulation of 3d objects using kinect for visualization tools in education", en *Control, Automation and Systems (ICCAS), 2013 13th International Conference on*, IEEE, 2013, págs. 1220-1222.
- [48] C. Chye y T. Nakajima, "Game based approach to learn martial arts for beginners", en *Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA), 2012 IEEE 18th International Conference on*, IEEE, 2012, págs. 482-485.
- [49] H. Richards-Rissetto, F. Remondino, G. Agugiaro, J. Robertsson, J. von Schwerin y G. Girardi, "Kinect and 3d gis in archaeology", en *Virtual Systems and Multimedia (VSM), 2012 18th International Conference on*, IEEE, 2012, págs. 331-337.
- [50] I. M. Jamie y C. McRae, "Manipulating molecules: Using kinect for immersive learning in chemistry", *Proceedings of The Australian Conference on Science and Mathematics Education (formerly UniServe Science Conference)*, vol. 17, 2011.
- [51] W.-J. Lee, C.-W. Huang, C.-J. Wu, S.-T. Huang y G.-D. Chen, "The effects of using embodied interactions to improve learning performance", en *Advanced Learning Technologies (ICALT), 2012 IEEE 12th International Conference on*, IEEE, 2012, págs. 557-559.
- [52] V. Thakkar, A. Shah, M. Thakkar, A. Joshi y N. Mendjoge, "Learning math using gesture", en *Education and e-Learning Innovations (ICEELI), 2012 International Conference on*, IEEE, 2012, págs. 1-3.
- [53] N. Villaroman, D. Rowe y B. Swan, "Teaching natural user interaction using openni and the microsoft kinect sensor", en *Proceedings of the 2011 conference on Information technology education*, ACM, 2011, págs. 227-232.
- [54] S. Hong, H. Y. Jung y U. Kim, "Research on real-time contents for human body experience edutainment", en *Advanced Science and Technology Letters Vol.46 (Games and Graphics)*, 2014, págs. 285-291.
- [55] H. Zhu, W. Wang, J. Sun, Q. Meng, J. Yu, J. Qin y P.-A. Heng, "An interactive web-based navigation system for learning human anatomy", en *Advanced Technologies, Embedded and Multimedia for Human-centric Computing*, Springer, 2014, págs. 73-81.

- [56] C.-H. Tsai y J.-C. Yen, “Teaching spatial visualization skills using openni and the microsoft kinect sensor”, en *Future Information Technology*, Springer, 2014, págs. 617-624.
- [57] B. Hariharan, S. Padmini y U. Gopalakrishnan, “Gesture recognition using kinect in a virtual classroom environment”, en *Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP), 2014 Fourth International Conference on*, IEEE, 2014, págs. 118-124.
- [58] A. Smorkalov, M. Morozov, M. Fominykh y E. Prasolova-Førland, “Virtualizing real-life lectures with vacademia, kinect, and ipad”, en *HCI International 2014-Posters’ Extended Abstracts*, Springer, 2014, págs. 156-161.
- [59] S. Şimşek y P. Durdu, “Developing an interactive learning environment with kinect”, en *HCI International 2014-Posters’ Extended Abstracts*, Springer, 2014, págs. 150-155.
- [60] K. Jeong, J. Shim y T. Han, “Prototype of learning tool with augmented reality and natural hand interaction using depth sensing camera”, en *Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference*, ACM, 2012, págs. 281-284.
- [61] W. Sommoool, B. Battulga, T. K. Shih y W.-Y. Hwang, “Using kinect for holodeck classroom: A framework for presentation and assessment”, en *Advances in Web-Based Learning-ICWL 2013*, Springer, 2013, págs. 40-49.
- [62] M. de Educación de Chile, *Programa Pedagógico del Primer Nivel de Transición*, ép. Programa Pedagógico Educación Parvularia. Setiembre de 2008, ISBN 978-956-292-186-2.
- [63] M. de Educación y Cultura del Paraguay, *Módulo 1: Estrategia de construcción del concepto de número. Matemática*, ép. Campaña de apoyo a la Gestión Pedagógica de docentes en Servicio. mayo de 2011.
- [64] <http://openkinect.org>, Página del proyecto OpenKinect.
- [65] <https://github.com/OpenNI/OpenNI>, Página de OpenNI en Github.
- [66] <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/develop/>, Página oficial del SDK de Kinect for Windows.
- [67] *Boost, librerías para c++*. URL: <http://www.boost.org>.
- [68] *Rapidxml, librería para parseo de xml*. URL: <http://rapidxml.sourceforge.net/>.
- [69] <https://wiki.debian.org/PrimeSenseNite>, Nite Middleware.
- [70] R. A. Virzi, “Refining the test phase of usability evaluation: How many subjects is enough?”, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 34, n.º 4, págs. 457-468, 1992.
- [71] H. Desurvire y C. Wiberg, “Game usability heuristics (play) for evaluating and designing better games: The next iteration”, en *Online Communities and Social Computing*, Springer, 2009, págs. 557-566.
- [72] *Primesense™ nite algorithms 1.5*, PrimeSense Inc., 2011.
- [73] *Página oficial del kinect for windows v2*. URL: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/meetkinect/features.aspx>.
- [74] *Human interface guidelines v2.0*, Microsoft©, 2014.