



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Desarrollo y evaluación de una técnica de interacción aérea basada
en marcadores fiduciales para entornos multi-superficies

Adrián Heráclito Alcívar Santander

Trabajo Final de Master

Master en Ingeniería y Tecnología de Sistemas Software

Departamento de Sistemas Informáticos y Computación

Dirigido por:

Dr. Francisco Javier Jaén Martínez

Septiembre 2016

RESUMEN

El uso de tabletas en entornos educativos ofrece amplias ventajas y beneficios tanto a docentes como estudiantes, aumenta significativamente el desempeño y genera un ambiente de interacción constante que mantiene la atención y el enfoque en las actividades y se ha considerado recientemente un recurso estratégico en los centros educativos, como una oportunidad única para aumentar la motivación de los estudiantes y mejorar los resultados del aprendizaje.

El objetivo de la presente investigación es el desarrollo y evaluación de una técnica de interacción aérea basada en marcadores fiduciales para entornos multi-superficie. La interacción permitió la selección y transporte de elementos entre espacios interactivos sin necesidad de establecer contacto con la superficie. A diferencia de algunas técnicas de interacción consultadas, no hace uso de hardware externo, lo que representa ventajas a la hora de realizar implementaciones en entornos de producción.

Se detalla el desarrollo de markerFrame, un framework que permite el traslado y manipulación de objetos digitales entre tabletas. Para evaluarlo se realizó un experimento y se implementó un juego educativo colaborativo y multi-dispositivo, en el cual han participado 78 niños comprendidos entre nueve y 10 años. El objetivo es medir y fomentar la forma de comunicación, colaboración y planificación en entornos multi-superficies.

Los resultados muestran la preferencia de la interacción natural con respecto a la interacción con tabletas en entornos multi-superficie en ambientes iguales, es decir sin explotar todas las ventajas a nivel de gráficos y experiencia de usuarios de los equipos actuales. Sin embargo se realiza un análisis con respecto a la interacción natural, frente a las tabletas que permiten dotar al escenario de elementos digitales con interactividad y alta percepción visual.

PALABRAS CLAVES

Interacción alrededor de los dispositivos, interacción aérea, marcadores fiduciales, tabletas, evaluación, juegos colaborativos.

ABSTRACT

The use of tablets in educational environments offers wide advantages and benefits both teachers and students, significantly increases the performance and creates an environment of constant interaction that keeps the attention and focus on activities and has recently been considered a strategic resource in educational centers, as a unique opportunity to increase student motivation and improve learning outcomes.

The goal of this research is the development and evaluation of air interaction technique based on fiducial markers for multi-surface environments. The interaction allows the selection and transport of items between interactive spaces without contacting the surface. Unlike some consulted interaction techniques, it does not use external hardware, which represents advantages when it comes to implementations in production environments.

The development of the markerFrame framework, which allows the transfer and manipulation of digital objects between tablets, is detailed. To evaluate the framework, an experiment was performed and a collaborative educational multi-device game was developed, in which 78 children between the ages nine and ten participated. The aim is to measure and encourage the type of communication, collaboration and planning in multi-surface environments.

The results show the preference of natural interaction with respect to interaction with tablets in a multi-surface environment in the same setting, i.e. without exploiting all the advantages in terms of graphics and user experience of existing equipment. However, an analysis with respect to the natural interaction compared to tablets which allow to endow the scenario with digital elements with high interactivity and visual perception.

KEYWORDS

Around-Device Interactions (ADI); mid-air interactions; fiducial markers; tablets; evaluation; precision, collaborative game, matching games.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
TABLA DE CONTENIDOS	3
TABLA DE ILUSTRACIONES	5
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. MOTIVACIÓN	7
1.1.1. BENEFICIOS DE LA COLABORACIÓN EN LA EDUCACIÓN	7
1.1.2. JUEGOS SERIOS EN ENTORNOS EDUCATIVOS	8
1.1.3. JUEGOS COLABORATIVOS CON MÓVILES.....	9
1.1.4. INTERACCIÓN ALREDEDOR DE LOS DISPOSITIVOS	12
2. TRABAJOS RELACIONADOS	14
2.1. USANDO HARDWARE EXTERNO.....	14
2.2. SIN USO DE HARDWARE EXTERNO	17
3. UN FRAMEWORK GENÉRICO PARA EL SOPORTE DE INTERACCIONES AÉREAS EN AMBIENTES COLABORATIVOS.....	20
3.1. INTERACCIONES AÉREAS CON MARCADORES FIDUCIALES.....	20
3.1.1. CURSOR	20
3.1.2. INTERACCIONES SOPORTADAS	21
3.2. MARKERFRAME: UN MODELO CONCEPTUAL PARA MANIPULACIONES AÉREAS EN AMBIENTES COLABORATIVOS	22
4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN JUEGO COLABORATIVO BASADO EN MARKERFRAME	28
5. IMPLEMENTACIÓN.....	40
5.1. INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA.....	40
5.1.1. ESTRUCTURA DEL CLIENTE	40
5.1.2. ESTRUCTURA DEL SERVIDOR.....	41

6.	EVALUACIÓN EXPERIMENTAL	43
6.1.	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	46
6.2.	PARTICIPANTES.....	48
6.3.	PROCESO EXPERIMENTAL.....	49
6.4.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	50
7.	RESULTADOS	52
7.1.	RESULTADOS CUALITATIVOS	52
7.2.	RESULTADOS CUANTITATIVOS	56
7.3.	RESULTADOS OBSERVACIONALES.....	58
7.4.	DISCUSIÓN	59
7.4.1.	RESULTADOS CUALITATIVOS.....	60
7.4.2.	RESULTADOS CUANTITATIVOS.....	61
7.4.3.	RESULTADOS OBSERVACIONALES	61
8.	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	63
8.1.	AGRADECIMIENTO	64
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	65

TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Imagen tomada de Kratz and Rohs (2009)	14
Figura 2 Imagen tomada de Knibbe, et al. (2014)	15
Figura 3 Imagen tomada de Cheng (2012)	16
Figura 4 Interacción con marcadores fiduciales tomada de Garcia-SanJuan (2016).....	18
Figura 5 Porcentajes de distribución según el uso de tecnología para generar ADI	19
Figura 6 Representación del cursor en el entorno multi-dispositivo	20
Figura 7 Representación y animación del cursor	21
Figura 8 Diagrama de clases correspondiente al MarkerFrame.....	23
Figura 9 Diagrama de clases extendido	29
Figura 10 Diagrama de dependencia de módulos.....	41
Figura 11 Participantes realizando la comprobación en enfoque sin tecnología	43
Figura 12 Captura de pantalla de una tableta del entorno interactivo	44
Figura 13 Captura de pantalla de una tableta del entorno interactivo	44
Figura 14 Pantalla interactiva para consultas, y sistema web que muestra los puntos en tiempo real	45
Figura 15 Aula utilizada para el experimento	46
Figura 16 Participantes interactuando en enfoque sin tecnología	47
Figura 17 Participantes interactuando en enfoque con tecnología.....	48

Figura 18 Marcadores fiduciales utilizados durante el experimento.	48
Figura 19 Diseño del experimento.....	49
Figura 20 Cuadro comparativo por genero.....	54
Figura 21 Resultados respecto a percepción de ambas plataformas.....	54
Figura 22 Pastel resultado de tabulación de encuestas	55

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN

Los avances tecnológicos han cambiado la forma en que los estudiantes y el profesor interactúan en el aula y han proporcionado nuevas oportunidades para mejorar la interactividad (Blasco et al, 2013). En este contexto los juegos educativos de ordenador han sido reconocidos como un enfoque prometedor para motivar a los estudiantes a aprender. (Hwang, 2013).

Song, et al. (2014) expresa que los dispositivos móviles de hoy en día han dado cuenta de la visión de un acceso ubicuo a la información. Los datos están literalmente al alcance de nuestras manos, sin importar en dónde estemos. Está claro que estos dispositivos han cambiado la forma de consumir y producir información. Sin embargo, el tema encontrar la mejor manera de interactuar con el contenido móvil en ambientes colaborativos, aún está lejos de ser resuelto.

1.1.1. BENEFICIOS DE LA COLABORACIÓN EN LA EDUCACIÓN

El aprendizaje colaborativo, definido como trabajar con otro u otros, en la práctica significa que los estudiantes trabajan en grupos pequeños o en pares para lograr los objetivos de aprendizaje compartidos (Barkley, et. al. 2014). Blasco (2013) define el aprendizaje colaborativo como una filosofía de aprendizaje que implica el intercambio de conocimientos, experiencias y autoridad, en el que los estudiantes enseñan y aprenden unos de otros y desarrollan una interdependencia positiva

El aprendizaje en colaboración no sólo permite a los estudiantes aprender el espíritu de respeto a los demás, sino que también facilita su capacidad de aprendizaje. A través del proceso de colaboración y de intercambio de ideas en un grupo de aprendizaje cooperativo, los estudiantes son capaces de recibir eficientemente una gran cantidad de información, que es útil para ellos en la generación de nuevas ideas para la realización de tareas de aprendizaje (Sung y Hwang, 2013).

Hasta hace poco, los estudios de entornos tecnológicos de aprendizaje tienden a centrarse en cómo optimizar el procesamiento de la información contenida en documentos multimedia o hipermedia (Clark y Mayer, 2008; Mayer, 2005). Ahora, sin embargo, los investigadores han empezado a dirigir su atención a los efectos en el aprendizaje de un nuevo medio: juegos digitales. El aprendizaje basado en juegos digitales pueden ser diseñados ya sea para promover el aprendizaje, el desarrollo de habilidades cognitivas, o tomar la forma de simulaciones que permiten a los estudiantes practicar sus habilidades en un entorno virtual. Además podría ser una actividad competitiva en la que los estudiantes se fijen metas educativas destinadas a promover la adquisición de conocimientos (Erhel y Jamet, 2013).

1.1.2. JUEGOS SERIOS EN ENTORNOS EDUCATIVOS

El desarrollo de herramientas informáticas que apoyen los procesos de aprendizaje han sido ampliamente estudiados, en este contexto, Sung y Hwang, (2013) manifiestan que los juegos educativos de ordenador podrían ser una manera eficaz de proporcionar un entorno de aprendizaje más interesante para la adquisición de conocimientos.

Adicionalmente, Blasco et al. (2013) menciona que, con el objetivo de apoyar el proceso de aprendizaje, cada vez son más las instituciones educativas que integran las nuevas tecnologías en sus sistemas de aprendizaje., Es decir, es mayor la necesidad de tener un conocimiento profundo de los mecanismos subyacentes de estas tecnologías avanzadas y los efectos positivos en aprendizaje y desempeño de los estudiantes.

Con el avance y la popularidad de los entornos informáticos y de red, los investigadores están profundamente conscientes de la importancia y la tendencia del aprendizaje potenciado por la tecnología. Una gran cantidad de esfuerzo se ha puesto en la investigación relacionada con el desarrollo del aprendizaje con la tecnología informática.

Entre los diversos enfoques de aprendizaje potenciado por la tecnología, los juegos de ordenador educativos han sido reconocidos como un enfoque prometedor para motivar a los estudiantes para aprender (Hwang, et.al. 2013).

Los juegos de ordenador satisfacen las necesidades actuales e intereses de los niños, y de a poco se están convirtiendo en la actividad de la computadora con mayor demanda por su modo de interacción. Algunas de las ventajas de los juegos es que son atractivos, originales, proporcionan un mejor ambiente y ayudan a mantener el alumno centrado en la tarea (Cheng y Su, 2012).

Así, Martín (2015) detalla que, en términos generales se puede hablar de un incremento en el aprendizaje del alumnado al momento de realizar prácticas educativas colaborativas en torno a un videojuego. Es decir, al realizar actividades educativas en las que el recurso educativo principal es un videojuego y los alumnos han de colaborar para la realización de actividades de aprendizaje, ya sea dentro o fuera del videojuego.

1.1.3. JUEGOS COLABORATIVOS CON MÓVILES

El uso de dispositivos inteligentes como por ejemplo, teléfonos móviles o tabletas, ha crecido rápidamente en los últimos cinco años, tanto así, que incluso están remplazando los tradicionales computadores personales (PC, del inglés *Personal Computer*). Si se comparan a los PCs con los teléfonos móviles, estos últimos ofrecen poder de cómputo semejante, pero con un tamaño físico considerablemente inferior, menor peso e interacción más amistosa con las interfaces (Du, et al. 2016). Las tendencias recientes en *mobile computer supported collaborative*, centrándose en la educación primaria en todo el mundo, muestran que en los últimos cinco años las tabletas y dispositivos portátiles pequeños son utilizados casi con la misma frecuencia que los dispositivos móviles de aprendizaje. Los resultados mostraron moderadamente más alta representación de los Tablet PC (44%) en comparación con los dispositivos de mano (41%). Los otros dispositivos, por ejemplo, ordenadores personales o

pantallas de proyección, se utilizaron 15% de las veces en combinación con los dispositivos portátiles y computadoras de tableta Carapina y Boticky (2015).

Adicionalmente, Gupta, et al. (2016) también manifiesta que los recientes avances en los dispositivos inteligentes han surgido como una mejor alternativa para el diseño de interacción hombre-máquina, debido a que están mejor equipados y poseen un sistema operativo más avanzado.

Algunos defensores del aprendizaje basado en juegos argumentan que los juegos educativos involucran a los estudiantes y ofrecen mejores resultados de aprendizaje. Además los dispositivos portátiles ofrecen varias ventajas con respecto a tableros de mesa en términos de costos, escalabilidad y la movilidad para construir espacios de colaboración.

Se ha demostrado la eficacia de utilizar juegos en entornos educativos. Boticki (2013) en un estudio demuestra que la introducción de tecnología fomenta las apariciones de habilidades como la negociación, la instrucción por pares, y en general la colaboración en los ámbitos físicos y sociales, además de generar una mayor diversidad en los patrones de colaboración de los estudiantes y procesos de aprendizaje más ricos. De igual manera, Adam et. al. (2013) presentó un juego educativo, cuyo objetivo era reforzar el conocimiento de los niños acerca del ciclo del agua; desarrollaron un estudio para probar que incluso la diferencia entre dispositivos, es decir el tamaño y peso no influyeron en los conocimientos adquiridos de los niños, el compromiso, la satisfacción, la facilidad de uso, o la experiencia.

Otro trabajo similar presentado por Hung, et. el. (2014) explora la influencia de un enfoque de juego interactivo en el rendimiento del aprendizaje y la satisfacción, cuyos resultados indicaron que el rendimiento de aprendizaje de cada grupo mejoró significativamente después del experimento, el análisis de la evaluación de la satisfacción de los alumnos mostró que hubo diferencias estadísticamente significativas en las medidas de satisfacción de aprendizaje.

Otra perspectiva presentada por Hung et. al. (2015) construyó un entorno de colaboración y competición en el aprendizaje basado en juegos para mejorar las competencias en inglés y presenta la utilización de juegos en entornos

educativos con el objetivo de cerrar la brecha en el rendimiento de los estudiantes, los resultados indican que la integración del esquema de aprendizaje basado en el juego en el entorno de colaboración y competencia lleva a los estudiantes a una mejor interacción.

Melero, et. al. (2015) también evaluó los efectos de compartir un dispositivo móvil y el rendimiento dentro de grupos en actividades de colaboración en ambientes educativos, El análisis de los datos muestra que, si bien no existen diferencias importantes en la satisfacción con la actividad de los estudiantes que llevan y que no llevan el dispositivo móvil dentro de sus grupos, llevar el dispositivo tiene un impacto significativo (positivo) en su rendimiento.

De todo lo anterior se puede concluir sobre la importancia y las ventajas que significan el uso de medios tecnológicos en entornos educativos, sin embargo, la explotación de todas estas ventajas no se ha podido implementar en su totalidad en ambientes cotidianos por muchos factores. Adicionalmente las interfaces de interacción como las pantallas se ven afectadas por el desarrollo de tecnología cuyo objetivo es hacer más portables y pequeños los dispositivos electrónicos, esta realidad puede ser un problema en tareas específicas o complejas que requieren muchos controles en la pantalla de interacción y a la hora de aprovechar el espacio.

En las aproximaciones anteriores la interacción tradicional (táctil) es claramente intuitiva y popular, pero presenta algunos inconvenientes en tareas específicas. En este contexto se introducen las interacciones alrededor de los dispositivos o en inglés "*Around device interaction*" (ADI). Actualmente los desarrollos y avances presentados en ADI hacen visible una gran cantidad de aplicaciones y ventajas, las interfaces gestuales se están introduciendo a los dispositivos móviles para permitir la entrada más expresiva con las interfaces que los usuarios interactúan. Los investigadores tienen desarrollado una variedad de técnicas de detección para la interacción alrededor del dispositivo.

1.1.4. INTERACCIÓN ALREDEDOR DE LOS DISPOSITIVOS

Song, J. et al. (2014) presentó algunos enfoques en los cuales la interacción alrededor del dispositivo puede ser útil, por ejemplo el uso en panorámica y zoom de un documento, en un mapa de navegación con un lente de aumento, el uso de gestos para controlar la parametrización de una aplicación de dibujo, entre otros.

Así, el uso del mecanismo de interacción alrededor del dispositivo permite que las personas utilicen sus teléfonos sin necesidad de cogerlos o alcanzarlos a diferencia de la interacción táctil, que no lo permite. Por ejemplo, los usuarios podrían realizar gestos para interactuar con sus teléfonos durante la cocción, evitando tocar la pantalla con las manos sucias tal como lo menciona Freeman (2014). Además, las interacciones aéreas o interacciones en torno al dispositivo pueden ser usados para permitir manipulaciones en espacios 3D por encima de las superficies (García, et al. 2016).

Es por ello que en el presente trabajo se aborda el uso e implementación de interacciones alrededor de los dispositivos, que representan una solución importante a la hora de explotar y expandir las capacidades de interacción de los dispositivos, permite utilizar espacios y áreas de trabajo que en primera instancia no son aprovechados por los dispositivos convencionales y habilita escenarios de colaboración.

El resto del documento está organizado como sigue: el Capítulo 2 detalla una revisión de trabajos relacionados respecto a soluciones aportadas en interacciones alrededor de los dispositivos, el Capítulo 3 especifica la propuesta de markerFrame como un framework genérico para el soporte de interacciones aéreas en ambientes colaborativos, el Capítulo 4 describe el diseño e implementación de un juego colaborativo basado en markerFrame, el Capítulo 5 detalla la infraestructura tecnológica utilizada e implementada para el soporte de las interacciones multi-dispositivos, el Capítulo 6 describe la evaluación experimental donde se cuenta un juego colaborativo desarrollado y evaluado, el

Capítulo 7 detalla los resultados de la evaluación y finalmente los capítulos 8 y 9 están relacionados a las conclusiones del trabajo y bibliografía respectivamente.

2. TRABAJOS RELACIONADOS

En el contexto de las interacciones alrededor de dispositivos, se detallan a continuación algunas soluciones aportadas, y su análisis se dividirá en dos enfoques: soluciones que hagan uso de hardware externo para extender las zonas de interacción de los diferentes dispositivos, y las que no, aquellas que utilizan y explotan el hardware existente en el dispositivo para ampliar sus capacidades.

2.1. USANDO HARDWARE EXTERNO

A continuación se detallarán soluciones aportadas que hacen uso de hardware externo: Bergé, et al. (2015) basado en características de interacciones táctiles y tangibles en entornos de interacciones basadas en teléfonos inteligentes; desarrolló una técnica “around smartphone” que implica el uso gestos de la mano alrededor del teléfono inteligente para manipular elementos 3D que se muestran en una pantalla distante. Los resultados revelan que su técnica alrededor del dispositivo (ASP) se evalúa mucho mejor que la solución táctil (OSP). Por otra parte, la técnica de ASP ofrece un rendimiento equivalente a la solución tangible (WSP). Además, se probó que ASP se identifica en gran medida como la técnica preferida entre los enfoques considerados.

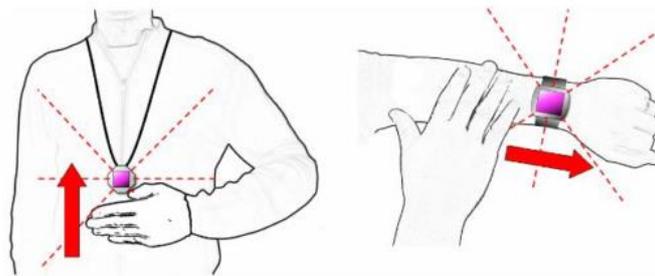


Figura 1 Imagen tomada de Kratz and Rohs (2009)

En una perspectiva similar, Kratz y Rohs (2009) presentaron una interfaz de interacción alrededor del equipo que permite realizar un seguimiento de los gestos de las manos realizadas por encima de la pantalla del dispositivo. Su prototipo utiliza sensores infrarrojos de proximidad para realizar un seguimiento de las posiciones de manos y dedos en la proximidad del dispositivo (ver Figura 1), de igual manera Knibbe, et al. (2014) propone una forma que permite el uso de gestos manuales y bimanuales, hacen uso de sensores de corto rango en la zona de la parte posterior de la mano del usuario, lo que admite a los relojes inteligentes una ampliación de la zona de interacción. También utilizando sensores similares Kratz, et al. (2012) presenta una técnica utilizando los gestos de la palma de la mano, tal como lo muestra la Figura 2.



Figure 2. By moving the interaction to the side of the device, the interaction area can increase significantly and remove the problem of occlusion. The green area now indicates a much larger interaction space.

Figura 2 Imagen tomada de Knibbe, et al. (2014)

De manera semejante Chen, et. al. (2014) presentó una nueva clase de interacciones que entrelazan eventos de contacto con gestos en el aire, ofreciendo una modalidad de entrada unificada con mayor expresividad que una sola modalidad de entrada, su enfoque utiliza una cámara de profundidad para la detección, posición y seguimiento de los gestos (ver Figura 3).



Figure 3. Our prototype smart phone uses a depth camera to simulate future, more advanced hover-capable devices. We used this setup as a vehicle for exploration and also as a platform to develop several Air+Touch augmented applications.

Figura 3 Imagen tomada de Cheng (2012)

Jones, et al. (2012) desarrolló un trabajo en el cual propone el uso de marcadores de referencia para tales interacciones, su enfoque requiere hardware de alto costo diseñado especialmente para controlar el grado de transparencia de la superficie, de modo que la proyección de imágenes y detección de las posturas están intercalados.

Hilliges et al. (2009) presentó una lámpara de escritorio con una cámara integrada RGB-D que realiza un seguimiento con precisión de los movimientos y posiciones de las pantallas móviles y las manos sobre la mesa, lo que a su criterio hace posible una nueva generación de aplicaciones multi-usuario y multi-dispositivo espacialmente conscientes de entornos de colaboración “around the-tablet”.

Sodhi, et al. (2013) presentó también una tecnología que ofrece experiencias táctiles interactivas al aire libre sin la necesidad de que un usuario use o toque cualquier dispositivo físico, pero al igual que otras soluciones hace uso de dispositivos externos para permitir o generar interacciones aéreas.

2.2. SIN USO DE HARDWARE EXTERNO

Muchas de las tecnologías presentadas y documentadas hacen efectivamente una ampliación del área de interacción de los dispositivos móviles, pero haciendo uso de hardware externo, lo que dificulta su implementación en entornos de producción, ya que cuando las ADI se han aplicado en el pasado han requerido pre-instalado hardware especializado que limita la elección del lugar donde estas interacciones podrían tener lugar, no han sido lo suficientemente precisa para realizar manipulaciones de alta precisión de los objetos en los dispositivos, o se han basado en gestos de las manos y de los dedos que no permiten la identificación de los usuarios

En ese contexto los enfoques de interacción presentados no solucionan el problema en el sentido de la identificación de los usuarios que realizan las tareas, lo cual no permite su implementación en entornos donde se desee conocer quien realizó que tarea.

En contraste con las propuestas descritas en la sección anterior, algunas soluciones presentadas no hacen uso de hardware externo para ampliar la capacidad de interacción de los dispositivos actuales. Por ejemplo, Song, et. al. (2014) presentó una técnica de interacción que solo usa la cámara del dispositivo, reconoce una amplia gama de gestos en el aire y soporta condiciones de iluminación, sin embargo no consideraba la necesidad de la identificación de los usuarios que realizaban determinadas tareas.

También Garcia-Sanjuan, et al. (2016) desarrolló un estudio y presentó una técnica de interacción que hace uso de la cámara integrada frontal de los dispositivos móviles y marcadores de referencia que permiten precisas interacciones alrededor de los dispositivos, el enfoque usaba marcadores fiduciales como elemento de interacción en entornos alrededor del dispositivo, su propuesta consideraba la necesidad de la identificación de usuarios, presentó un estudio de evaluación del uso y facilidad de uso de marcadores fiduciales (ver Figuras 4 y 13), consistió en determinar el nivel de precisión en fases de terminación y ejecución de las manipulaciones, como son traslación, rotación y escalado, como lo muestra en la figura a continuación.



Figura 4 Interacción con marcadores fiduciales tomada de Garcia-SanJuan (2016).

Los resultados presentados muestran que se consiguieron buenos niveles de precisión en todas las interacciones aéreas propuestas, traslación, rotación y escalado, con errores promedios de 11.92 píxeles, 3.09° y 2.91% respectivamente en manipulaciones individuales. También describen que cuando los usuarios tienen que realizar todas las manipulaciones conjuntamente para mover, rotar y cambiar el tamaño de un elemento, la traducción y la ampliación de los errores promedio aumentan ligeramente, pero de manera insignificante.

Además, expresa las ventajas de utilizar marcadores aéreos. Por ejemplo, la capacidad de incrementar el número de marcadores en función de las necesidades, adicionalmente pueden ser detectadas incluso cuando no sean totalmente visibles, y manifiesta la facilidad de generación de nuevos marcadores.

En conclusión, como lo muestra la Figura 5 el 80% de los trabajos documentados en este informe hacen uso de hardware externo para realizar interacciones alrededor de los dispositivos, lo cual es un claro punto de vista de la necesidad de optimizar las técnicas de interacción que no hacen uso de este tipo de hardware, lo que permitirá realizar implementaciones más baratas y que aprovechen las ventajas de la interacción alrededor de los dispositivos.

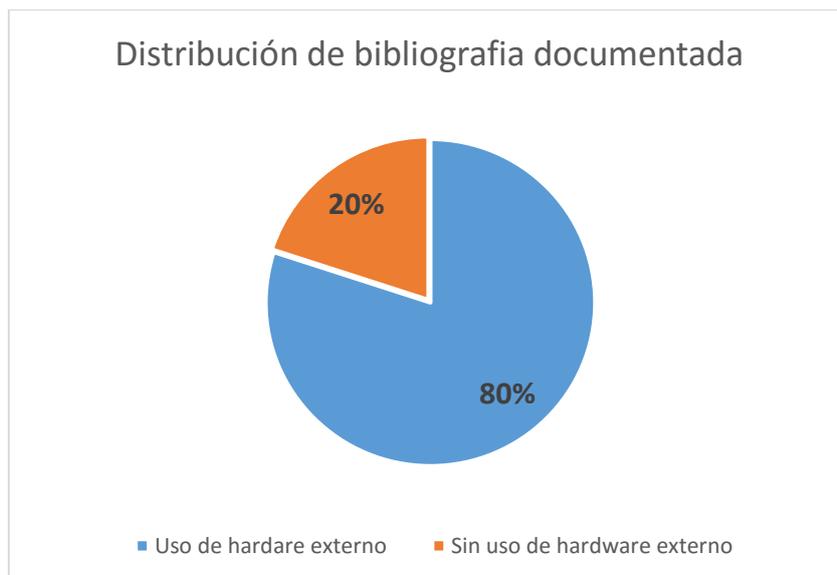


Figura 5 Porcentajes de distribución según el uso de tecnología para generar ADI

3. UN FRAMEWORK GENÉRICO PARA EL SOPORTE DE INTERACCIONES AÉREAS EN AMBIENTES COLABORATIVOS

3.1. INTERACCIONES AÉREAS CON MARCADORES FIDUCIALES

El desarrollo de futuras aplicaciones colaborativas multi-dispositivos pasa por dar soporte a un conjunto básico de interacciones y representaciones. A continuación se describe la representación visual y las posibles interacciones soportadas por la plataforma desarrollada.

3.1.1. CURSOR

Se introduce el concepto de cursor como la representación visual de los marcadores en el entorno multi-superficie, y está simbolizado por una mano como lo muestra la Figura 6 y, posee dos estados posibles: abierta y cerrada, los cuales permiten realizar las interacciones descritas en la sección 3.1.2.



Figura 6 Representación del cursor en el entorno multi-dispositivo

Las diferentes interacciones soportadas por el framework se simbolizan visualmente por un conjunto de texturas que representan la animación del cursor. Por ejemplo, al realizar un movimiento vertical descendente, la animación muestra visiblemente el cursor en diferentes estados, lo que figura la apertura y cierre del cursor. Los diferentes estados de la transición los muestra la Figura 7.



Figura 7 Representación y animación del cursor

3.1.2. INTERACCIONES SOPORTADAS

Las interacciones soportadas por el framework desarrollado se definen a continuación:

- **Selección/coger:** La representación del cursor es una mano cerrada, se produce por el movimiento vertical descendiente del marcador sobre un elemento.
- **Soltar/Liberar:** La representación del cursor es una mano abierta, se produce por el movimiento vertical ascendente del marcador.
- **Mover/Arrastrar:** La representación es abierta o cerrada dependiendo de si un elemento este seleccionado o no, se produce por el movimiento horizontal del marcador sobre los dispositivos que forman el escenario interactivo.
- **Rotar:** La representación es abierta o cerrada dependiendo de si un elemento este seleccionado o no, se produce por el cambio del ángulo de rotación del marcador visible en el escenario multi-dispositivo.
- **Traslado:** Permite el traslado de objetos digitales desde un dispositivo a otro. Se produce al coger un elemento y arrastrarlo hasta otro equipo que forme parte del entorno multi-dispositivo.

3.2. MARKERFRAME: UN MODELO CONCEPTUAL PARA MANIPULACIONES AÉREAS EN AMBIENTES COLABORATIVOS

Para dar soporte a las interacciones anteriormente descritas en ambientes colaborativos se ha definido un modelo conceptual que permita la implementación de distintos tipos de aplicaciones colaborativas basadas en este mecanismo de interacción (ver Figura 8) y que detallaremos a continuación.

Las clases principales del markerFrame son las clases ActorEntity, HandEntity y ServerInteraction (ver Figura 8), ya que son las que se encargan de la lógica e interacción con el servidor, es decir registra y gestiona los marcadores fiduciales y su estado en el entorno interactivo y las clases detalladas dan soporte a los conceptos de coger, soltar elementos, trasladar objetos y rotar elementos.

La clase ActorEntity es la encargada de gestionar los objetos en el entorno interactivo, de manera similar la clase HandEntity gestiona los marcadores fiduciales representados visualmente como una mano (ver Figura 6), con el objetivo de simular que se agarran y sueltan objetos en un entorno interactivo. Adicionalmente la clase ServerInteraction es la que gestiona la lógica y comunicación con el servidor, es decir recibe y envía peticiones para mantener el entorno interactivo actualizado a las acciones realizadas en cada elemento del entorno, es decir cada tableta.

Para determinar el estado de los objetos en el entorno multi-superficies, la lógica de la solución presentada es básicamente que a la detección de un marcador, se solicita el estado al servidor y las clases ActorEntity y HandEntity lo actualizan en el entorno donde se realizó la solicitud, de esta manera se mantiene consistente el entorno interactivo.

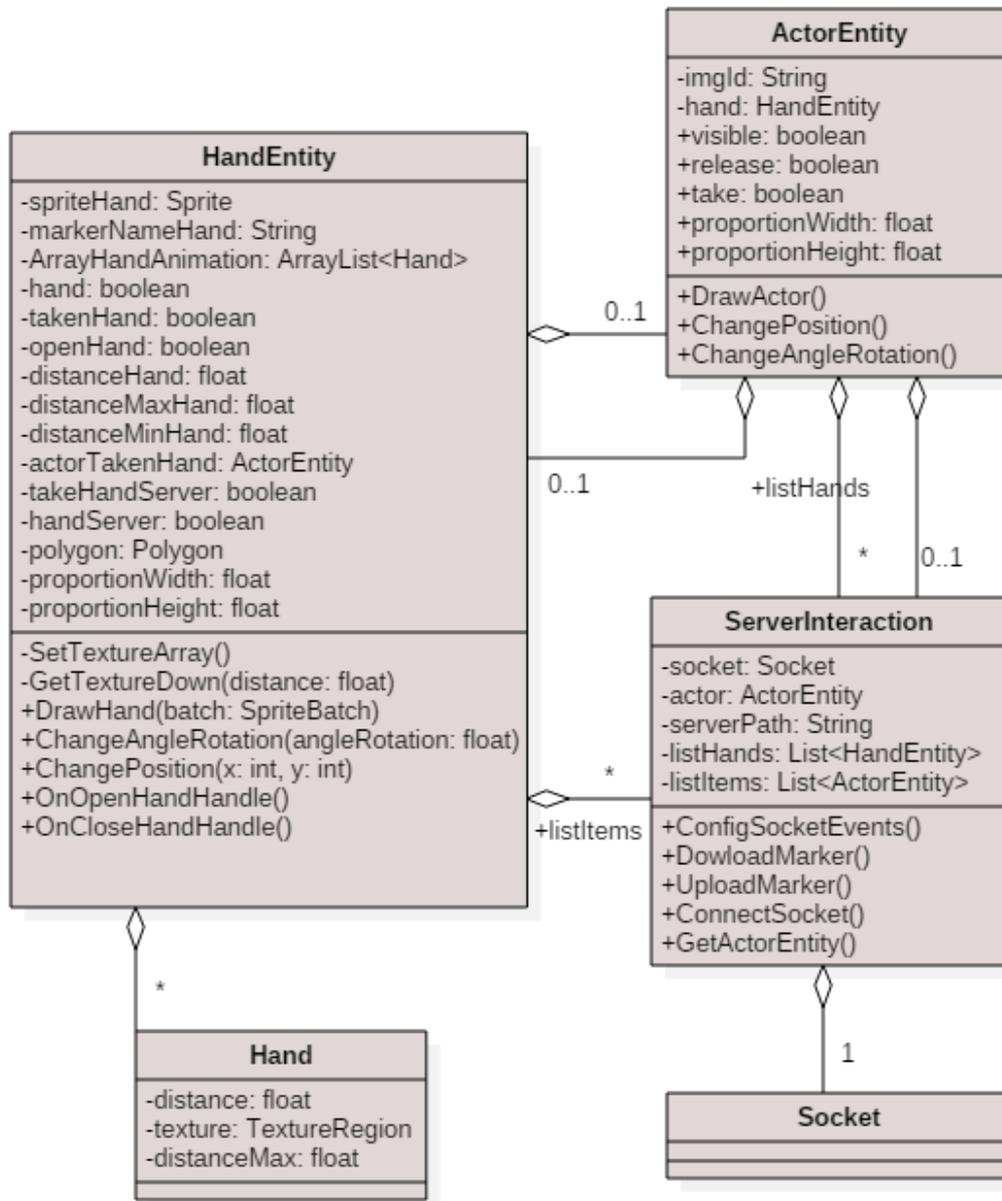


Figura 8 Diagrama de clases correspondiente al markerFrame

Las tablas presentadas a continuación explican los atributos y métodos de las clases del markerFrame, además de las mencionadas anteriormente HandEntity hace uso de una estructura de datos más llamada Hand, esta clase representa las propiedades de cada mano en el entorno que permiten simular la capacidad de abrir y cerrar una mano.

Atributo	Descripción
imgid	Cadena que representa el código del objeto en el entorno.
hand	Atributo que registra el marcador que lo ha tomado en el entorno interactivo.
visible	Representa si el objeto está actualmente presente en el entorno.
reléase	Representa si el objeto está libre o asociado a algún marcador en el entorno.
proportionwidth	Representa la proporción del ancho con que se graficará con respecto a su ancho original.
proportionheight	Representa la proporción del alto con que se graficará con respecto a su alto original.
Métodos	Descripción
DrawActor	Método que actualiza el estado y dibuja el objeto en el entorno.
ChangePosition	Cambia la posición del elemento con respecto a las coordenadas del marcador actual.
ChangeAngleRotation	Cambia la rotación del elemento con respecto a su nuevo ángulo de rotación determinado por el marcador actual.

Tabla 1 Atributos y métodos de la clase ActorEntity

La Tabla 1 representa los objetos que podrán ser manipulados haciendo uso de los marcadores, gestiona los estados y propiedades necesarias para mostrar o no los objetos en la tableta, registra si el objeto se encuentra asociado a un marcador o si está disponible en el entorno, implementa métodos que permiten graficar, cambiar su posición y ángulo de rotación.

Atributo	Descripción
spritehand	Representa las propiedades necesarias para dibujar elementos 2D en libgdx.
markernamehand	Representa el nombre del marcador en el entorno interactivo.
arrayhandanimation	Lista que representa los estados de la mano, para simular la animación de abrir y cerrar la mano.
hand	Determina si el marcador se encuentra visible o no, en el entorno interactivo.
takenhand	Determina si el marcador mantiene un objeto asociado.
openhand	Determina el estado de la mano, es decir si se encuentra abierta o no en el entorno interactivo.
distancehand	Registra un valor para abrir o cerrar la mano en función de la distancia.
distancemaxhand	Registra un valor para abrir o cerrar la mano en función de la distancia.
distanceminhand	Registra un valor para abrir o cerrar la mano en función de la distancia.
actortakenhand	Representa el objeto digital asociado, si takenHand estuviera a <i>true</i> .
takehandserver	Determina si ha sido detectado desde el servidor, o está cerrada producto de la interacción.
handserver	Utilizado para establecer la posición del marcador.
polygon	Objeto utilizado para gestionar las colisiones entre objetos interactivos en libgdx.
proportionwidth	Representa la proporción del ancho con que se graficará, con respecto a su ancho original.
proportionheight	Representa la proporción del alto con que se graficará, con respecto a su alto original.

Tabla 2 Atributos de la clase *HandEntity*

Métodos	Descripción
DrawHand	Método que actualiza los estados y dibuja el objeto en el entorno.
ChangeAngleRotation	Cambia la rotación del elemento con respecto a su nuevo ángulo de rotación.
ChangePosition	Cambia la posición del elemento con respecto a las nuevas coordenadas.
OnOpenHandHandle	Evento implementado cuando se ha abierto la mano, permite la gestión de las operaciones necesarias al abrir la mano.
OnCloseHandHandle	Evento implementado cuando se ha cerrado la mano, permite la gestión de las operaciones necesarias al cerrar la mano.

Tabla 3 Métodos de la clase HandEntity

Las Tablas 2 y 3 implementan los atributos y operaciones relacionadas a los marcadores fiduciales, los representa como una mano en las tabletas, e implementa las operaciones de cambiar sus propiedades de posición, rotación, translación en el entorno multisuperficie, además gestiona los estados necesarios para interactuar con los objetos, comprueba si el marcador está asociado a algún elemento, y lo muestra libre o no dependiendo del caso.

Atributos	Descripción
socket	Administra la conexión con el servidor.
serverpath	Cadena de conexión con el servidor.
listhands	Referencia a la lista de marcadores en el entorno interactivo.
listitems	Referencia a la lista de objetos digitales en el entorno interactivo.
Métodos	Descripción
ConfigSocketEvents	Método que gestiona los eventos recibidos desde el servidor.

DowloadMarker	Método que descarga el estado de un objeto en el servidor.
UploadMarker	Método que actualiza el estado de un objeto en el servidor.
ConnectSocket	Método que gestiona la conexión con el servidor.
GetActorEntity	Método que obtiene un objeto a partir del identificador asociado

Tabla 4 Atributos y métodos de la clase *ServerInteraction*

La Tabla 4 realiza la gestión de la conexión y petición de solicitudes al servidor, gestiona la actualización y descarga de los estados de los marcadores en el entorno multi-superficie a través de los métodos DowloadMarker y UploadMarker. Implementa un método de conexión ConnectSocket, y adicionalmente la configuración y tratamiento de los eventos recibidos desde el servidor en ConfigSocketEvents.

Atributo	Descripción
distance	Determina la distancia inicial con respecto al entorno del objeto.
texture	Determina la textura actual del objeto, con el objetivo de actualizar el entorno multisuperficie.
distancemax	Determina la distancia máxima con respecto al entorno multisuperficie del objeto, con el objetivo de dar el efecto de abrir y cerrar de la mano.

Tabla 5 Atributos de la clase *Hand*

La Tabla 5 representa una estructura de datos que gestiona los diferentes estados para simular la apertura o cierre de la mano, básicamente distancia para el cambio de la textura.

4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN JUEGO COLABORATIVO BASADO EN MARKERFRAME

El objetivo del presente capítulo es describir la construcción de un juego genérico colaborativo educativo para entornos multi-dispositivos, que permita evaluar las bondades de markerFrame.

La bibliografía relacionada al desarrollo de juegos para entornos educativos es muy amplia y de los posibles esquemas de juegos destinados a desarrollar en los niños las aptitudes sensoriales, en el presente estudio se consideró los juegos de emparejamientos o “matching games”, dado que este esquema de juego permite implementar múltiples tipos de experiencias de aprendizaje lúdicas y, tienen como objetivo ayudar al niño a discriminar las cualidades de los objetos, a elegir lo que cae bajo sus sentidos para formar juicio y obrar según las conclusiones de este juicio (Declory y Monchamp, 1983).

Para el desarrollo de este tipo genérico de juego colaborativo basado en la asociación de conceptos, se extendió el modelo conceptual definido en el capítulo 3 (ver Figura 9), es decir implementa las clases detalladas anteriormente y extiende sus capacidades para un objetivo específico, lo que permite reutilizar el código del markerFrame presentado.

Las tablas presentadas a continuación muestran y explican los atributos y métodos de las clases implementadas para el juego genérico colaborativo específico desarrollado.

Atributo	Descripción
spriteCircle	Textura de círculo que establecía la dirección por la que debían ser unidos los objetos digitales
positionRefPoint	Punto cardinal con respecto al objeto donde se debería unir el elemento
timeCompleat	Tiempo necesario para unir dos elementos
hide	Propiedad que determina si el objeto está disponible en el entorno interactivo.
Método	Descripción
DrawActor	Método que sobrescribe, actualiza el estado y dibuja el objeto en el entorno, con propiedades adicionales.
ChangePosition	Cambia la posición del elemento con respecto a las coordenadas del marcador actual y actualiza propiedades individuales de la clase instancia
ChangeAngleRotation	Cambia la rotación del elemento con respecto a su nuevo ángulo de rotación y actualiza propiedades individuales de la clase instancia
RotateAboutOrigin	Método que a partir de dos puntos y un ángulo de rotación determina el nuevo punto a dibujar.

Tabla 6 Atributos y métodos de la clase ActorInstance

La Tabla 6 detalla los atributos y métodos de la clase ActorInstance, la cual extiende las funciones de la clase ActorEntity correspondiente al marker framework, con el objetivo de desarrollar funciones adicionales para la evaluación del juego genérico. En este contexto se crean nuevos atributos y sobrescriben algunos métodos que permiten dibujar un punto rojo que servirá como referencia para que los participantes conozcan por cual lado del objeto deben realizar la unión.

Atributo	Descripción
timeEnter	Atributo que especifica el tiempo de detección del marcador en el entorno interactivo
timeTakeActor	Atributo que especifica el tiempo en que es asociado un objeto a un marcador
timeLeaveActor	Atributo que especifica el tiempo en que es liberado un objeto que previamente se había asociado a un marcador
timeGleam	Atributo que especifica el tiempo en que dos partes son unidas
Metodos	Descripción
OnCloseHandHandle	Método que procesa el cierre de la mano y realiza la actualización de los estados en el entorno
OnOpenHandHandle	Método que procesa la apertura de la mano y realiza la actualización de los estados en el entorno
GetActorEntity	Obtiene un objeto a partir de su identificador para cambiar sus atributos en función del estado del sistema
SetSetting	Establece propiedades como posiciones, ángulos de rotación y estados a los objetos.

Tabla 7 Atributos y métodos de la clase *HandInstance*

La Tabla 7 detalla los atributos y métodos de la clase *HandInstance*, que extiende las funciones de la clase *HandEntity* correspondiente al *markerFrame*, se crean nuevos atributos y sobrescriben algunos métodos que permiten gestionar los eventos de abrir y cerrar la mano asociada a un marcador, de esta manera se ha podido generar la emulación de agarrar, arrastrar, soltar y trasladar elementos en un entorno multi-tabletas.

Atributos	Descripción
------------------	--------------------

game	Referencia al juego principal, permite el acceso a elementos propios de la clase MainGame.
resources	Arreglo que carga desde el servidor los objetos que se presentarán en el entorno digital.
Métodos	Descripción
AddEvents	Gestiona eventos adicionales a la clase ServerInteraction, necesarios en la implementación específica del juego.
LoadResources	Método que solicita al servidor los recursos necesarios (imágenes y configuraciones) para su funcionamiento.
SaveActions	Método que implementa la operación de guardar acciones del sistema, es decir cuando se detecta un marcador, cuando libera un recurso asociado, entre otras.

Tabla 8 Atributos y métodos de la clase ServerInstance

La Tabla 8 detalla los atributos y métodos de la clase ServerInstance, que extiende las funciones de la clase ServerInteraction. Se crean nuevos atributos y sobrescriben algunos métodos que permiten agregar y administrar eventos propios de la arquitectura del juego, por ejemplo, cargar los recursos, guardar y notificar los eventos que se van ejecutando entre otras funciones.

Atributos	Descripción
server	Atributo que permite tener acceso a los métodos que gestionan la comunicación con el servidor
listhands	Lista de marcadores disponibles en el sistema
listitems	Lista de objetos disponibles en el sistema, es decir elementos digitales como imágenes y otros
listlines	Lista de líneas que se actualiza en función de la detección de colisiones entre los objetos

listcouple	Lista de parejas realizadas en el juego, esto permite actualizar los estados de los objetos digitales en el entorno multisuperficie
listaitemstablet	Lista de elementos configurados inicialmente para cada Tablet del entorno interactivo
listaitemsmall	Lista de todos elementos posibles a mostrar en el entorno interactivo
listsuccessfull	Lista de elementos disponible cuando dos partes son unidas correctamente
flagerrorlist	Booleano que permite gestionar si han existido o no el intento de unión de dos partes erróneas
batch	Sprite que optimiza dibujar elementos en pantalla
batchline	Sprite que optimiza dibujar elementos en pantalla
manager	Objeto que permite gestionar eficientemente la invocación de imágenes al entorno digital
loadingscreen	Condiciones que permite mantener el estado del sistema en espera hasta que todas las tareas iniciales como carga de recursos, archivos de configuración y otros elementos se hayan terminado de ejecutado en el servidor
loading	
loadingcouple	
loadingtablets	
Métodos	Descripción
Create	Método que inicializa todos los objetos necesarios para el sistema
FinishLoading	Inicializa todos los objetos a partir de los recursos cargados al sistema desde el servidor
AddNewHand	Agrega nuevos marcadores a el entorno interactivo
AddNewLine	Agrega nuevas líneas en función de si es correcta o no la unión a el entorno interactivo
AddNewItem	Agrega nuevos objetos, es decir imágenes a el entorno interactivo

Tabla 9 Atributos y métodos de la clase MainGame

La Tabla 9 detalla los atributos y métodos de la clase MainGame, la cual en la implementación del juego genérico es la más importante, ya que se encarga de la carga e inicialización de todos los elementos necesarios para la ejecución del juego, mantiene el estado de los objetos del entorno multi-dispositivo, gestiona las listas de los objetos y marcadores en el entorno, realiza las peticiones a las clases necesarias para actualizar los estados de los objetos, entre otras funciones.

Atributos	Descripción
game	Instancia para hacer referencia a los objetos de la clase principal del juego
numberTablet	Atributo para almacenar el número asignado a la tableta en el entorno digital.
skin	Almacena los recursos para los widgets de interfaz de usuario para utilizar (regiones textura, nueve parches, fuentes, colores, etc)
Métodos	Descripción
Show	Inicializa los componentes necesarios para la principal clase
Render	Método que invoca las comprobaciones de los estados necesarias para la interacción del juego y grafica los elementos en el entorno interactivo
DrawGraph	Método que dibuja los objetos en el entorno interactivo
ConfirmVisibility	Método que hace visible los elementos que determinan los archivos de configuración previamente cargados
ConfirmCollision	Método que confirma colisión entre dos objetos en el entorno interactivo y dispara eventos para su tratamiento
ChangeAttribute	Método que cambia propiedades de objetos si se ha detectado colisiones

CheckCompatibleItems	Método que verifica si la unión de dos objetos corresponde a mitades validas en el juego
----------------------	--

Tabla 10 Atributos y métodos de la clase MainScreen

La clase MainScreen (ver Tabla 10) es la implementación específica del juego, donde se actualizan los objetos visibles del entorno, comprueban y modifican los estados de los objetos, verifican colisiones, verifican unión entre los objetos y comprueba si son correctas o no y finalmente se grafican los objetos actualizados en el entorno con el objetivo de mantener la coherencia e integridad del sistema con respecto a los estados del servidor.

Atributos	Descripción
actor	Atributo para obtener acceso a los objetos de la clase principal del juego, MainGame.
Métodos	Descripción
OnMarkerPositionChanged	Método sobrescrito que gestiona el cambio de las coordenadas en los ejes x, y e z de los marcadores en el entorno interactivo.
OnMarkerRotationChange	Método sobrescrito que gestiona el cambio de los ángulos de rotación de los marcadores en el entorno interactivo.
OnMarkerEnter	Método sobrescrito que gestiona la detección de un nuevo marcador en el entorno interactivo.
OnMarkerLeave	Método sobrescrito que gestiona la salida de un marcador que previamente había entrado en el entorno interactivo
Método	Descripción
setMainScreen	Método que implementa y configura el screen que permite la interacción con los marcadores fiduciales.

Tabla 11 Atributo y métodos de la clase MyScreen

La clase MyScreen se encarga de gestionar los eventos de cambio de posición y rotación, ingreso y salida de marcadores fiduciales en el entorno interactivo (ver Tabla 11), al detectar un elemento se solicita la información al servidor referente al marcador actual y se actualizan los estados necesarios en el sistema. Implementa una interfaz llamada IMarkersInputHandler que permite sobrescribir los métodos OnMarkerPositionChanged, OnMarkerRotationChange, OnMarkerEnter, OnMarkerLeave, los cuales permiten y notifican la interacción con los marcadores fiduciales.

Atributos	Descripción
stage	Objeto que se encarga de la ventana gráfica y distribuye eventos de entrada en el screen.
skin	Almacena los recursos para los widgets de interfaz de usuario para utilizar (regiones textura, nueve parches, fuentes, colores, etc).
loading	Etiqueta que muestra el avance de la carga de los registros desde el servidor.
Metodos	Descripción
Render	Método que gestiona la carga de recursos desde el servidor y al terminar genera un evento que permite continuar a la siguiente pantalla.
Dispose	Método que libera recursos de la memoria del sistema.

Tabla 12 Atributos y métodos de la clase LoadingScreen

La clase LoadingScreen (ver Tabla 12) es la implementación de una pantalla de carga de recursos desde el servidor, notifica por pantalla el porcentaje de avance, y al concluir re direcciona el sistema hacia la pantalla de menú, la cual permite la asignación de un identificar a la tableta en el entorno multi dispositivos (ver Tabla 13).

Atributos	Descripción
Stage	Objeto que se encarga de la ventana gráfica y distribuye eventos de entrada en el screen
Skin	Almacena los recursos para los widgets de interfaz de usuario para utilizar (regiones textura, nueve parches, fuentes, colores, etc)
Métodos	Descripción
setSetting()	Establece el número de la Tablet en el entorno interactivo, lo que permite al sistema cargar los objetos según la configuración definida previamente.

Tabla 13 Atributos y método de la clase MenuScreen

Para el correcto funcionamiento de la lógica del juego genérico, fue necesario crear clases adicionales que permitieron tener catálogos de información relacionadas a: las parejas que forman un objeto en el juego (ver Tabla 14), la estructura de datos a almacenar en el servidor con información de que marcadores han interactuado con que objetos para enlazarlos (ver Tabla 15), y como resultado generar una animación visual que represente un rayo (ver Tabla 16).

Atributos	Descripción
img1	Atributo que especifica la primera imagen que formará una pareja.
img2	Atributo que especifica la segunda imagen que formará una pareja.
imgcomplet	Atributo que especifica la imagen que se hará visible en caso de que la unión sea exitosa
img1point	Especifica el punto cardinal de la primera imagen que será la referencia para saber por cual lado unir
img2point	Especifica el punto cardinal de la segunda imagen que será la referencia para saber por cual lado unir las imágenes

imgid	Especifica el identificador de esta posible unión en el entorno interactivo, con el objetivo de comparar cuando se intente unir si corresponden al mismo identificados.
-------	---

Tabla 14 Atributos de la clase *coupleItems*

Atributos	Descripción
table	Especifica el número de la Tablet en el entorno interactivo
img	Especifica el nombre físico de un objeto en el entorno interactivo, se obtiene al realizar una petición al servidor
point	Especifica el punto de referencia por el que será unido un elemento, NORTE, SUR, ESTE, OESTE
cod	Establece un código único
images	Lista de imágenes asociadas a una Tablet, permite la visualización solo de los elementos configurados inicialmente
actoruno	Objeto que representa el elemento que mantiene asociado un marcador
actordos	Objeto que representa el elemento que mantiene asociado un marcador
handuno	Objeto que representa el marcador
handdos	Objeto que representa el marcador

Tabla 15 Atributos de la clase *Items*

Atributos	Descripción
x1	Atributos que determinan el valor de dos puntos, - (x1,y1) e (x2,y2) que permiten graficar el efecto de rallo al unir dos elementos en el entorno interactivo.
x2	
y1	
y2	

color1	Representa el primer color de la animación
color2	Representa el segundo color de la animación

Tabla 16 *Atributos de la clase Lines*

5. IMPLEMENTACIÓN

El presente capítulo describe la infraestructura tecnológica utilizada para el soporte a las interacciones aéreas en ambientes colaborativos multi-dispositivo.

5.1. INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA

La presente sección detalla la arquitectura y tecnología utilizada a nivel de su estructura cliente y servidor, lo que permite la manipulación y traslado de objetos en entornos multi-superficies y da soporte a múltiples usuarios conectados.

5.1.1. ESTRUCTURA DEL CLIENTE

Se utilizó el entorno de desarrollo integrado (IDE) Android Studio con java como lenguaje de programación implementando el esquema de programación orientado a objetos y LibGDX como plataforma de desarrollo de videojuegos que según Peinado (2013) es una alternativa viable para desarrollar juegos 2D para Android en todos los niveles, gracias a ventajas significativas como el desarrollo multiplataforma, de esta manera utilizando libgdx el código se desarrolla sobre un núcleo lo cual evita duplicidad de código, siendo más claro y limpio. Libgdx se encarga de crear los archivos necesarios a la hora de compilar para la utilización en las diferentes plataformas soportadas.

Para la implementación de la gestión de la comunicación con el servidor se utilizó socket.io, encargado de gestionar la recepción y envío de mensajes desde y hacia el servidor.

5.1.2. ESTRUCTURA DEL SERVIDOR

La arquitectura del servidor se implementó en un esquema modular, se ha utilizado *node.js* sobre otras útiles, ya que según Bangare, et al (2016) es una excelente herramienta si desea algún tipo de interacción en vivo, resultados en tiempo real. Es capaz de proporcionar muy rápidamente datos desde un servidor web mediante la ejecución en un solo hilo, por eventos. Se desarrolló dos módulos, separando la lógica y gestión de las funciones básicas del traslado y manipulación de elementos correspondiente al framework desarrollado (markerFrame).

Se utilizó el lenguaje java script para implementar la lógica del servidor, que será la encargada de gestionar, almacenar y notificar eventos durante la ejecución del framework, mantendrá un catálogo de marcadores con los estados y los objetos asociado a cada uno, y al detectar una conexión nueva, envía a los clientes los eventos necesarios para iniciar y cargar los recursos en la aplicación.

Se planteó considerando un esquema modular, es decir se implementó la lógica relacionada al markerFrame en un archivo *index.js*, que importa un módulo *logicgame.js* que es el archivo que implementa toda la lógica relacionada a la implementación de un esquema de juego colaborativo genérico. De esta manera, al igual que el frontend del cliente, el backend mantiene la lógica del núcleo separado, lo cual permite su reutilización en otros experimentos y con enfoques diferentes.

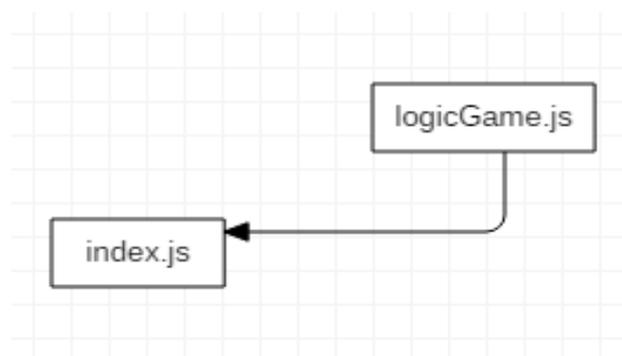


Figura 10 Diagrama de dependencia de módulos

Se implementó un socket, que permite la comunicación entre los clientes y el servidor de manera asíncrona. El código presentado a continuación muestra el módulo de conexión, y dos eventos que permiten la actualización y descarga de los objetos en el servidor y que da soporte a la gestión de las tareas de múltiples usuarios conectados.

```
io.on('connection', function(socket) {  
  
    // Maneja el evento de desconexión, quita el actual nodo desde la lista del  
    servidor  
    socket.on('disconnect', function() {  
        for (var i = 0; i < nodes.length; i++) {  
            if (nodes[i].ide == socket.id) {  
                console.log('Node desconectado' + nodes[i].id);  
                nodes.splice(i, 1);  
            }  
        }  
    });  
  
    // Maneja carga de elementos, actualiza el código y posición del elemento  
    asociado a un marcador.  
    socket.on('uploadMarker', function(data) {  
        if (data.markerId in markers) {  
            markers[data.markerId].ucode = data.item;  
            markers[data.markerId].posMax = data.posMax;  
        }  
    });  
  
    // Maneja descarga de elementos, notifica al cliente el código y posición del  
    elemento asociado al marcador que realiza la petición.  
    socket.on('downloadMarker', function(data) {  
        if (data.markerId in markers) {  
            if (markers[data.markerId].nodeId == null) {  
                socket.emit('item', {"item": markers[data.markerId].ucode,  
                    "markerName": data.markerId,  
                    "posMax": markers[data.markerId].posMax});  
            }  
        }  
    });  
}
```

Código que implementa la carga y descarga de elementos desde servidor.

Al recibir una notificación de actualización, el servidor comprueba la existencia del marcador que realiza la petición y actualiza los estados necesarios, y de la misma manera al recibir una solicitud de descarga, envía un evento con la información de ese marcador en el servidor, esto permite simular el traslado y manipulación de objetos en entornos multi dispositivos.

6. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL

Con el objetivo de evaluar efectivamente el modelo presentado, se desarrolló un juego específico de asociación de conceptos, consistía en relacionar monumentos del mundo con su respectivo país. Para la evaluación se consideraron dos versiones: el primer enfoque consistía en no hacer uso de tecnología, y el segundo hace uso de tecnología para implementar entornos multi-superficie. Teniendo como objetivo evaluar el markerFrame y la técnica de interacción con marcadores fiduciales, a la par además se pretende valorar si los niños desarrollan habilidades de colaboración y planificación mientras ejecutan las tareas.

La primera propuesta se implementó imprimiendo los monumentos y banderas de los países en papel, de esta manera los participantes debían asociarlos y realizar la verificación con el profesor de si estaba correcto o no, lo que les iba sumando o restando puntos dependiendo del resultado obtenido (ver Figura 11).



Figura 11 Participantes realizando la comprobación en enfoque sin tecnología

El segundo enfoque hizo uso de tecnología y se desarrolló la versión digital del juego, las tabletas tenían asignada una configuración inicial que permitió cargar

banderas y monumentos en la pantalla, e interactuar haciendo uso de marcadores fiduciales, es decir trasladar, escalar, rotar elementos en el entorno multi-dispositivo (ver Figuras 12 y 13).



Figura 12 Captura de pantalla de una tableta del entorno interactivo

Se desarrolló un sistema web que mostraba en tiempo real los puntajes obtenidos, en este enfoque la comprobación la hacía el sistema, por lo que era de manera automática, verificaba si los elementos que interactuaban eran correctos o no (ver Figura 13), y posteriormente actualizaba en tiempo real en el sistema web los puntos obtenidos por cada niño (ver Figura 14).

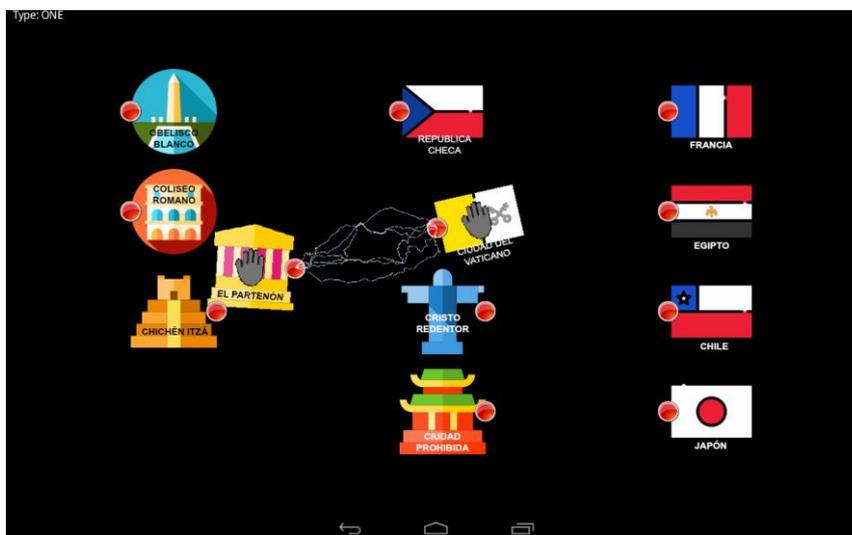


Figura 13 Captura de pantalla de una tableta del entorno interactivo

Con el objetivo de dar dinámica a la tarea, se habilitó las búsquedas en internet en caso de desconocimiento de los objetos asociados a la tarea, en el enfoque de papel los participantes disponían de una computadora portátil y, en el enfoque multi-tabletas se disponía de una pantalla táctil que permitía consultar los monumentos que no sabían su ubicación (ver Figura 14).



Figura 14 Pantalla interactiva para consultas, y sistema web que muestra los puntos en tiempo real

El experimento se diseñó para que fomente la competitividad entre los participantes, ambos enfoques intercalan la competencia y la colaboración productiva en un ambiente de aprendizaje mediante el uso de un sistema de recompensas basado en puntos.

Con el objetivo de no contaminar el experimento, el planteamiento en papel y en tabletas fue básicamente el mismo a nivel de gráficos, no se explotó todas las ventajas adicionales que podría implicar interactuar con tabletas, es decir,

mejores gráficos, efectos especiales, etc, lo cual se cree hubiera influido en una apreciación favorable del enfoque con tecnología.

El experimento fue desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia, la Figura 16 muestra el diseño experimental para el presente trabajo, el experimento fue desarrollado en el aula 1A y 1B del edificio F de la escuela de informática (ver Figura 15), con estudiantes de la escuela de verano de la misma universidad.



Figura 15 Aula utilizada para el experimento

6.1. DESCRIPCIÓN DE LA TAREA

En base a los modelos descritos en los capítulos 3 y 4 se ha implementado un juego de asociación de conceptos, un esquema de juego ampliamente usado por los pedagogos en ambientes de trabajo con niños. Consiste en la asociación de monumentos y países. El detalle de la descripción la tarea se lo realiza en función de cada enfoque evaluado en el presente experimento, es decir la plataforma que hace uso de tecnología y la que no.

- **Enfoque sin tecnología:** Los participantes debían encontrar monumentos y países impresos en papel y distribuidos en una sala, al encontrar dos elementos que consideraban correcto, formaban una cola en orden de llegada y el profesor encargado realizaba la confirmación, les manifestaba si era correcto o no, lo que les sumaba o restaba puntos dependiendo del resultado de la comprobación (ver figura 16).



Figura 16 Participantes interactuando en enfoque sin tecnología

- **Enfoque tecnológico:** Se distribuía en diferentes tabletas monumentos y banderas de los respectivos países, se asignaba un marcador a cada participante (ver Figura 18) y mediante el uso del marcador fiducial asignado a cada niño debían encontrar y unir dos objetos, una bandera y un monumento, y de ser correcto se incrementaban sus puntos obtenidos, que era proyectados a través de una aplicación web desarrollada (ver figura 17).



Figura 17 Participantes interactuando en enfoque con tecnología

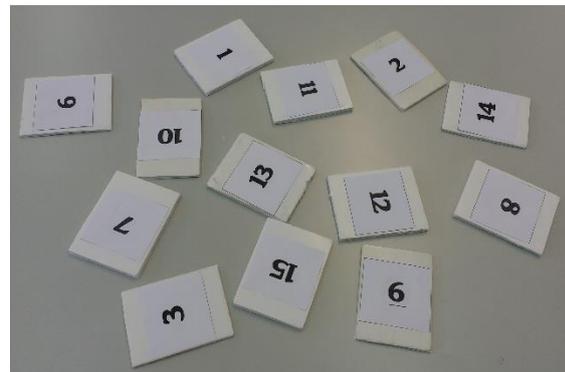
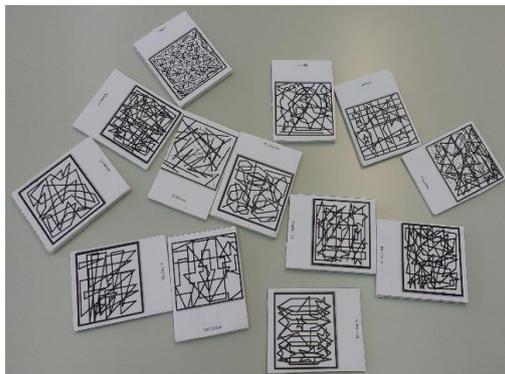


Figura 18 Marcadores fiduciales utilizados durante el experimento.

6.2. PARTICIPANTES

78 estudiantes de la escuela de verano de la UPV, cursos de tercero y cuarto año, en edades comprendidas entre los nueve y 10 años, y divididos en 4 secciones de trabajo.

6.3. PROCESO EXPERIMENTAL

El experimento se desarrolló en dos días, el primer día tres grupos y el segundo día uno que interactuaron en las dos plataformas, con y sin tecnología, la tarea tenía una duración de 30 minutos por plataforma, inicialmente se explicaba en que consiste el juego y la actividad, y en el caso de las tabletas se mostraba la técnica de interacción, cogiendo, soltando y uniendo elementos usando los marcadores fiduciales.

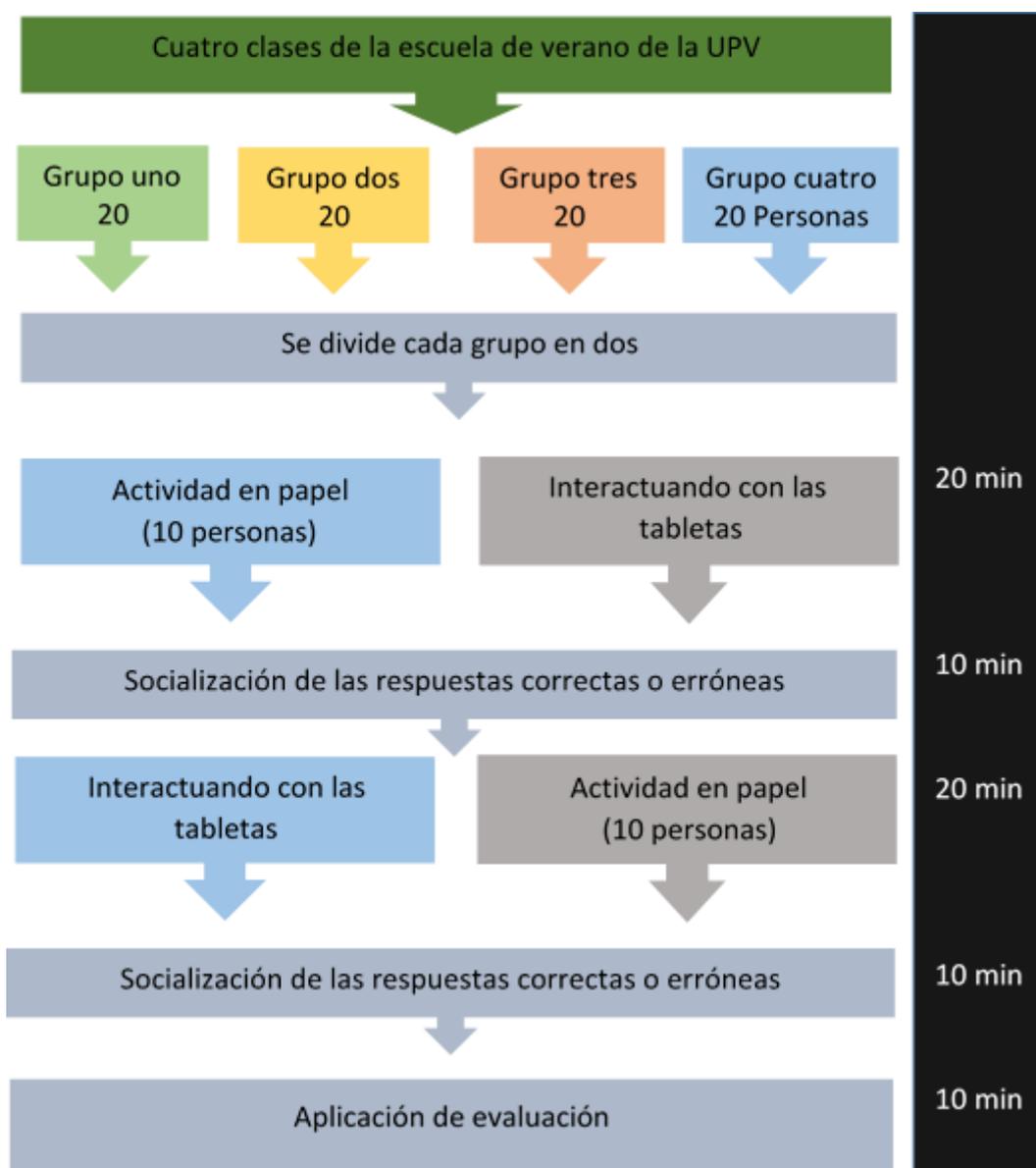


Figura 19 Diseño del experimento

Se dividió cada grupo en dos, es decir un promedio de diez estudiantes por equipo, cada uno simultáneamente interactuaba con una determinada plataforma por 20 minutos, luego el profesor encargado realizaba un proceso de revisión y retroalimentación de los resultados por 10 minutos, finalmente los estudiantes de una plataforma interactuaban con la otra por el mismo tiempo tal y como lo muestra la Figura 19.

Con el objetivo de que al concluir sean capaz de comparar entre los dos enfoques, se realizó una evaluación haciendo uso de encuestas, en la cual los participantes durante diez minutos debían expresar sus experiencias durante el experimento, características que les gustaría cambiar, elementos que les hayan gustado y cuáles no.

Adicionalmente, durante el desarrollo del experimento se aplicaron técnicas de observación y se tomó notas de características y patrones del comportamiento, información importante a la hora de evaluar los resultados del experimento.

6.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

En el presente trabajo, se utilizó “fun toolkit” como instrumento de encuesta que ha sido diseñado y validado para ayudar a los investigadores y desarrolladores para recoger opiniones sobre la tecnología desde la perspectiva de los niños (Read, 2008). En su forma original, el fun toolkit comprende cuatro herramientas especiales, un Smileyometer, un Funometer, again again table, y un fun sorter (Read, 2006).

En el instrumento de evaluación desarrollado para el presente experimento, la sección smileyometer comprende siete preguntas descritas a continuación: ¿Cómo te lo has pasado con el juego en tabletas?, ¿Cómo te lo has pasado con el juego en papel?, ¿Cómo de fácil de entender era el juego de las tabletas?, ¿Cómo de fácil de entender era el juego en papel?, ¿Cómo de fácil era coger las fotos tú solo en el juego con tabletas?, ¿Cómo de fácil era soltar las fotos con tu compañero en el juego con tabletas?, ¿Cómo de fácil era mover las fotos por la tableta?, codificadas como Pregunta 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 respectivamente para hacer referencia en el resto del documento.

La sección “Fun sorter” se encuentra compuesta por dos preguntas: ¿Con que juego crees que lo has hecho mejor? y, ¿Qué juego era más divertido?, para lo cual en ambos casos tenían dos opciones, el juego en papel, o en juego en las tabletas.

La sección “Again, again table”, propone una tabla para responder a la pregunta ¿Te gustaría volver a jugar al juego?, con tres posibilidades de respuesta, si, tal vez, no. Y lo hace en función de los dos enfoques a evaluar, las tabletas o el papel.

Extendiendo el cuestionario detallado en los párrafos anteriores, se incluyeron cuatro preguntas adicionales, que permitían obtener información de uso particular en este experimento, por ejemplo: ¿Cómo preferirías hacer las parejas de los monumentos?, ¿Qué es lo que más te ha gustado de los dos juegos?, ¿Y lo que menos? y finalmente ¿Qué cambiarías de los juegos para que te gustase más?

El cuestionario utilizado y descrito en los párrafos anteriores permitió la obtención de datos cualitativos respecto a la percepción de los niños, Por otro lado el objetivo del estudio también era evaluar una técnica de interacción con marcadores fiduciales, para lo cual se almacenó información relacionada a tareas específicas, como por ejemplo: cuando un marcador ingresaba o salía del ecosistema interactivo, cuando cogía un elemento, cuando soltaba un elemento, cuando completaba una tarea de unión con éxito; es decir dos niños eran capaces de juntar un monumento con un país. Las acciones descritas serán codificadas para su mención en el resto del documento como acciones de: coger, soltar y unir.

Adicionalmente, haciendo uso de una aplicación para la plataforma androide, se registraron las ingresos y salidas que realizaban los niños en la versión en papel, es decir, se guardaba el tiempo en que un niño llegaba a la cola de espera de confirmación y el tiempo en que salía, con el objetivo de evaluar los tiempos medios perdidos por niños durante el juego.

7. RESULTADOS

Los resultados del presente trabajo se evaluaron en varios contextos, se describen los resultados en función de algunos campos, se detallan resultados a nivel de experiencia de usuarios y usabilidad y se los documenta en tres enfoques, resultados cualitativos, cuantitativos y observacionales: el primero hace referencia al procesamiento del instrumento de evaluación, el segundo hace referencia a el procesamiento de los archivos que almacenan las tareas realizadas en el entorno multi-superficie, y finalmente se describen los patrones observados durante el experimento.

7.1. RESULTADOS CUALITATIVOS

En términos de usabilidad la tabla 17 muestra los resultados correspondientes a una muestra de 78 estudiantes, en términos cualitativos y cuantitativos, con su respectivo valor de desviación estándar.

PREGUNTA	CUALITATIVO	CUANTITATIVO
Pregunta 1	Muy bien	4,29 (1,15217)
Pregunta 2	Genial	4,58 (,79804)
Pregunta 3	Muy bien	4,04 (1,24256)
Pregunta 4	Muy bien	4,45 (1,02751)
Pregunta 5	Bien	3,17 (1,33306)
Pregunta 6	Bien	3,40 (1,31267)
Pregunta 7	Muy bien	3,69 (1,34172)

Tabla 17 Información resultante de la aplicación y tabulación de encuestas

Con el objetivo de concluir si las preguntas tenían una diferencia estadísticamente significativa en función de la plataforma evaluada, se aplicó

una prueba de los rangos con signo de Wilcoxon (Wilcoxon Signed-Rank Test). Se evaluaron las preguntas uno y dos, y las preguntas tres y cuatro, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 18.

Estadísticos de contraste		
	PREG_2 - PREG_1	PREG_4 - PREG_3
Z	-2,105 ^b	-2,917 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	,035	,004
a. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon		
b. Basado en los rangos negativos.		

Tabla 18 Tabla de test estadístico para evaluar si los resultados tienen diferencia estadísticamente significativa

Al evaluar las preguntas uno y dos relacionadas a como se la han pasado los niños, se concluye según los resultados estadísticos mostrados en la tabla 18, que las variables son estadísticamente significativas. Con el mismo objetivo respecto a la facilidad de entender el juego en las tabletas y en el papel, se evaluó las preguntas tres y cuatro respectivamente, el test de significancia permite concluir que los datos también son estadísticamente significativos (ver tabla 18).

Adicionalmente se obtuvieron resultados en función del género, relacionados a las preguntas cualitativas del cuestionario analizado, la información resultante se muestra la Figura 20.

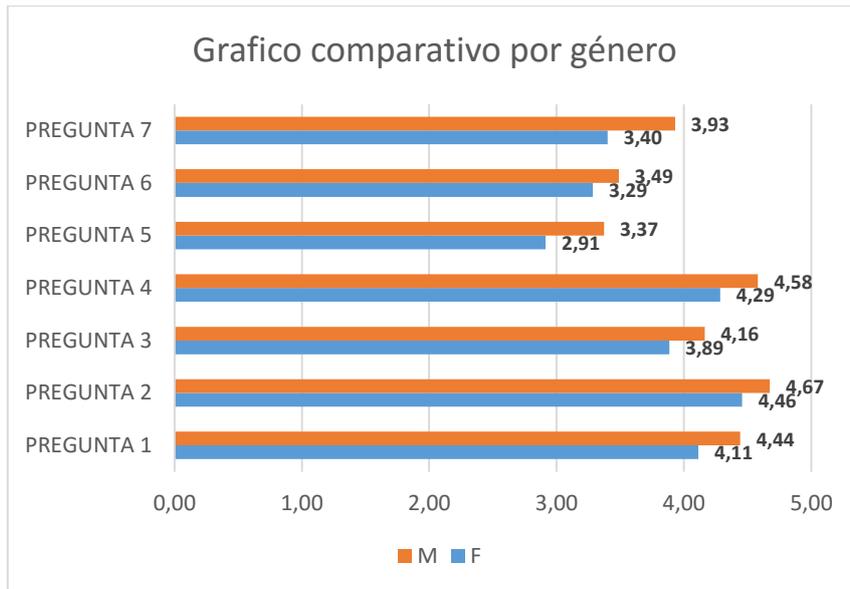


Figura 20 Cuadro comparativo por genero

La Figura 21 muestra el gráfico resultante del procesamiento al plantearles la pregunta ¿Con qué juego crees que los has hecho mejor? el 26% consideran que lo hicieron mejor con el uso de las tabletas, mientras que el 65% piensa que lo hizo mejor en la versión del juego en papel.

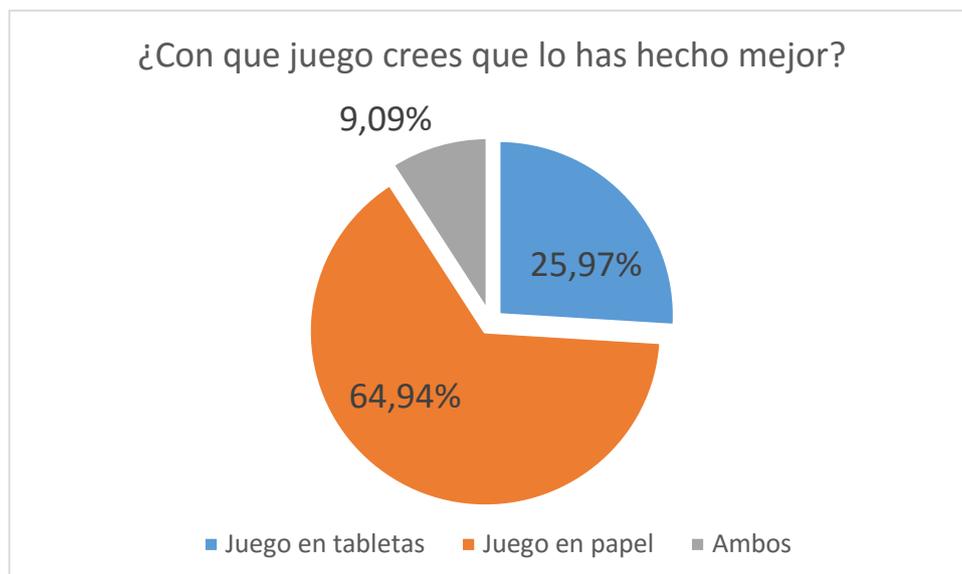


Figura 21 Resultados respecto a percepción de ambas plataformas

De la muestra evaluada, un 51% considera que se divirtieron más en la actividad del papel, frente a un 34% que corresponde al uso de tabletas en el experimento actual, el restante 15% manifiesta que ambos enfoques lo consideraron divertidos (ver Figura 22).

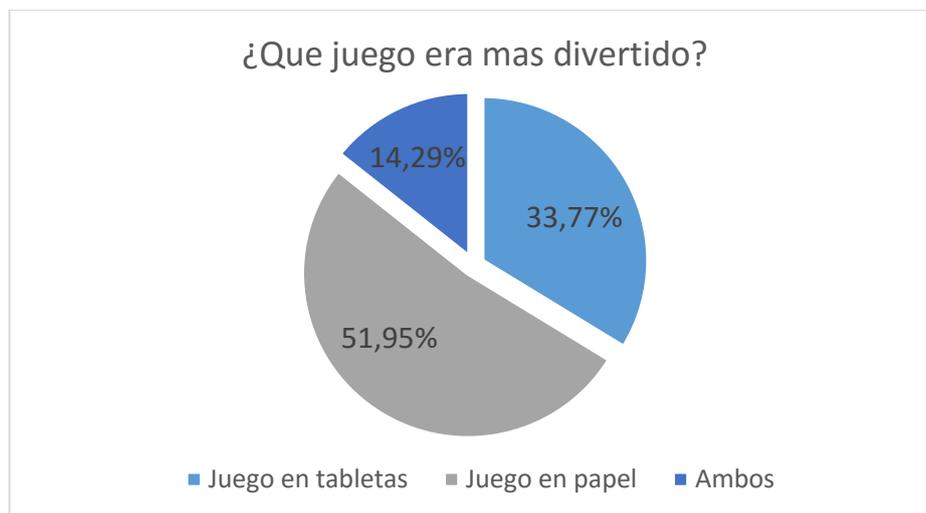


Figura 22 Pastel resultado de tabulación de encuestas

Respecto a si les gustaría volver a jugar el juego, en las tabletas y en papel con un promedio de 0.8 y 0.9 respectivamente, siendo Sí=1 y No=0, manifestaron su interés en sí volver a jugar.

Con respecto a en que plataforma les gustaría hacer las parejas de monumentos, la versión en papel y tableta con el 0.9 y 1 respectivamente manifestaron su interés en realizar esas actividades con sus amigos y no solos, lo que deja un buen indicador respecto al fomento de habilidades de colaboración.

Con el objetivo de obtener información cualitativa respecto a la experiencia percibida por los participantes, se planteó la pregunta ¿Qué era lo que más les había gustado del juego?, en este contexto el 32.56% de los participantes manifestaron que les había gustado todo, debido a que ambos eran divertidos, igualmente el 25,58% de los participantes manifestaron que el juego les había gustado debido a que aprendían sobre monumentos y países, el 18.6% también manifestó su entusiasmo debido al uso de plataforma tecnológica en el juego, es decir el uso de tabletas y la posibilidad de escoger por ellos mismos las parejas,

el porcentaje restante manifestó su preferencia respecto a una de las dos plataformas, o porque había ganado y obtenido más puntos en su determinado grupo, o porque había que hacerlo rápido y criterios de esa manera.

Coherentemente, al planteamiento de la pregunta de lo que menos le había gustado, el 43,68% de los participantes expresó que les había gustado todo, por el contrario un 37.80% manifestó dificultades respecto a la tecnología, es decir dificultad en coger, mover las imágenes, o al unir las, o declararon que existía pérdida del tracking del marcador, el restante porcentaje enumeraron que no les había gustado hacer fila, o manipular elementos con papel, llenar los cuestionarios, e incluso algunos dijeron que no tenían ni idea de monumentos y países.

Congruentemente, de manera similar que el párrafo anterior al planteamiento de la pregunta ¿Qué cambiarían? Un 60.27% manifestaron que no cambiarían nada, un 13,70% realizó recomendaciones relacionadas a mejorar el rendimiento de las tabletas, es decir que vayan mejor la detección, la manipulación de objetos y mejorar los gráficos, el porcentaje restante expresó que se mejore el no hacer colas, o que se enfoque en otras asignaturas, o que se evite que siempre sean las mismas parejas entre otros criterios.

7.2. RESULTADOS CUANTITATIVOS

En el contexto de usabilidad los datos muestran que se realizaron 16300 interacciones, de las cuales 2330 corresponden a acciones como tomar un elemento, soltar un elemento, realizar una unión entre un monumento y una bandera, y 6985 acciones de entrar y salir del entorno interactivo como lo muestra la tabla 19.

Acción	Frecuencia	Porcentaje
Coger	1080	46,35%
Soltar	1045	44,85%
Unir	205	8,80%

INTERACCIONES TOTALES	2330	100,00%
------------------------------	------	---------

Tabla 19 Frecuencia y porcentaje de interacciones realizadas en el entorno.

Con estas consideraciones, dejando fuera del análisis las interacciones relacionadas a el ingreso y salida de los marcadores del ecosistema interactivo, el 8.80% de las interacciones restantes fueran relacionadas a uniones de elementos, es decir uniones de banderas y monumentos en parejas, el restante 91% son relacionadas a coger y soltar elementos en las tabletas.

Se realizó un tratamiento estadístico con el objetivo de obtener los tiempos promedio de las tareas asociadas al experimento, es decir, coger un elemento, soltar un elemento, completar una tarea de asociación de conceptos (CA) ya sea correcta o no, además el tiempo en cola en la versión en papel y otros datos. La Tabla 20 muestra los datos obtenidos de los tiempos usados para cumplir las tareas de CA, se midió desde el ingreso del último marcador hasta completar la acción, es decir, desde que un niño muestra el marcador a la tableta hasta que logra realizar y coordinar la tarea con un compañero. El tiempo promedio utilizado fue de 63421.57 milisegundos lo que corresponde a 00:01:03 minutos de tiempo.

Adicionalmente se analizaron los tiempos que les tomó a los participantes coger un elemento del entorno multi-superficie, la Tabla 20 muestra que el tiempo medio fue de 5518.68 milisegundos, lo que corresponde a 00:00:06 segundos. Otra variable analizada fue los tiempos relacionados a soltar un elemento, el tiempo promedio en coger y soltar un elemento es de 49281.94 milisegundos, lo que representa 0:00:49 segundos tal como se muestra en la tabla 20.

	Unir	Coger	Soltar
Media	63421,57	5518,68	49281,94
Mediana	38500	4000	22000
Moda	5000	3000	2000
Desviación estándar	70605,81	5146,562	71331,22
Suma	12938000	5171000	44748000

Tabla 20 Datos estadísticos del tiempo en coger, soltar y unir un elemento

La Tabla 21, muestra los datos obtenidos en los tiempos de espera de los niños en la versión en papel, el tiempo medio se registró en 39880 milisegundos, lo que corresponde a una media de 0:00:40 segundos en fila, tiempo necesario en promedio para realizar la confirmación de si una pareja está correctamente enlazada o no.

Estadísticos		
Tiempo en cola de espera		
N	Válidos	400
Media		39880,00
Mediana		60000,00
Moda		60000
Desviación estándar.		31672,124
Suma		15952000

Tabla 21 Análisis estadístico de los tiempos en fila en la versión en papel

7.3. RESULTADOS OBSERVACIONALES

Mediante observación in situ se pudieron establecer varios patrones de comportamiento durante el experimento, tales como:

Al momento de realizar el juego en las tabletas, se observó que los participantes solían juntarse en parejas y las mantuvieron durante todo el tiempo que duró el juego. Fueron capaces de inferir ciertas acciones que les permitió unir más rápido los países y banderas (que fue uno de los juegos propuestos). Además, para evitar obstaculizarse entre ellos decidieron coger los elementos de forma individual para luego ingresar a las tabletas cada uno con su marcador y unirlos. Algunos no mostraron patrones de pruebas y error, fueron a lo seguro. Es decir, entablaron un diálogo para coordinar y unir de mejor manera dos elementos.

Algo que también se pudo observar es que, así como se conformaron parejas, también se crearon grupos con una misma tableta.

Al final manifestaron que les fue difícil jugar al principio, pero que al final les resultó muy fácil después de un tiempo de interacción con la técnica. Algo que

resaltaron es que las señales emitidas por el juego les permitían saber si acertaban o no en sus respuestas.

Se pudo observar también que generan un ecosistema de comunicación y colaboración, con preguntas como: *¿Dónde está el Big Ben?* o *¿Alguien quiere jugar conmigo?*, o *¿Alguien tiene Italia?* o, *¿Tenéis algo de Italia?* o, *¿alguien puede venir por favor?* por ejemplo. Además hacen parejas y luego buscan las opciones así tienen alguien con quien unir, algunos exploran y van preguntando *¿os ayudo?*, cogen dos papeles y se lo dan a un compañero para que puedan hacer la cola, así ya tienen otro punto en el caso de ser correcto. Un patrón interesante es que muchas veces incluso al no estar seguro algunos niños admiten que se van a arriesgar, también al final cuando solo quedaban dos hojas se separan las parejas normales y van juntos los que tienen las hojas, *¡Te he traicionado!*

Existían patrones de comportamiento menos positivos también, como por ejemplo: Algunos niños se molestaban porque alguien había tomado antes el elemento, otros se frustran y hacen que la otra pareja se enoje, además algunos no lograban comprender el juego, también otros no se mueven mucho, intentan estar en una sola tableta y, expresan su malestar, no quieren estar en cola, se sientan aburridos al esperar.

7.4. DISCUSIÓN

Los resultados demuestran el interés y preferencia por el uso de la interacción natural, es decir el uso del papel, sin embargo muchos de los resultados se deberían analizar en un contexto diferente, ya que al ser la primera vez y sin una fase de entrenamiento previo no era posible estar familiarizado con la tecnología. Sin embargo los resultados manifiestan que los participantes han tenido una experiencia de juego positiva, por lo que el planteamiento de la discusión se lo distribuirá en función de los resultados cualitativos, cuantitativos y observacionales.

7.4.1. RESULTADOS CUALITATIVOS

En general la actividad les pareció bastante atractiva como lo muestra la Tabla 17, sin embargo se evidencia un menor resultado al hacer uso de los marcadores como elementos de interacción, pero, el análisis estadístico realizado de las preguntas también muestra que el dato más frecuente (moda) en la muestra, en todas las preguntas con excepción de una pregunta, fue cinco, es decir que muchos de los participantes consideraron que se lo habían pasado genial en el desarrollo de las actividades. En el mismo contexto las pruebas estadísticas aplicadas permiten concluir que efectivamente hay una diferencia estadística entre las plataformas y, confirman que se lo han pasado muy bien en las tabletas, respecto al papel que consideran que se lo han pasado mejor. La percepción de facilidad de uso está muy bien en las tabletas y en la plataforma en papel. Hay muchos factores que podrían incidir en estos resultados, por ejemplo: la falta de una fase de entrenamiento por el desconocimiento de la técnica de interacción al ser la primera vez que realizan interacciones aéreas con marcadores fiduciales, otro factor que influye en la percepción es la pérdida del tracking de los marcadores.

Los resultados de la evaluación en función del género reveló que en general todos los indicadores son menores en el género femenino con respecto al masculino, pero se encuentran en el mismo rango de clasificación cualitativamente, con excepción de la pregunta 7 cuyo resultado cualitativo varía en función del género, es decir los hombres consideran que era más fácil mover elementos por la tableta, a diferencia de las mujeres que consideran que es menos fácil hacerlo.

Sin embargo, a pesar de que han reportado problemas de usabilidad, han expresado que se la han pasado bien como lo demuestra la Tabla 17, lo que permite concluir que la técnica es útil y usable en entornos multi-superficies, admite explotar la capacidad de identificar quien realiza cada acción, lo que fomenta la competitividad en entornos educativos como se pudo observar y evidenciar en el procesamiento de los cuestionarios.

7.4.2. RESULTADOS CUANTITATIVOS

Claramente los datos presentados de la Tabla 19 muestran que el 84% de las interacciones corresponden a acciones de entrar y salir del entorno multisuperficie, el análisis de estos resultados se los podría plantear en varios enfoques: podrían ser tareas de exploración, es decir los participantes ingresaban y sacaban el marcador del espacio de interacción, con el objetivo de familiarizarse con la tecnología, o que sentían curiosidad por el movimiento del cursor como se pudo observar o, finalmente podría deberse a pérdida del tracking de los marcadores, lo cual también se observó durante del experimento.

En términos de tiempos la tarea de hacer emparejamientos claramente les cuesta más tiempo que la interacción individual, es decir la de entrar al escenario interactivo y coger, soltar o trasladar un elemento. Esto se debe a que para realizar el emparejamiento de los elementos debe coordinar y planificarlo entre dos participantes, a esto hay que sumarle el desconocimiento de la técnica inicialmente. Como lo demuestra la tabla 20 el tiempo medio entre ambas tareas es de 57902,89 lo que equivale a 0:00:57 segundos de diferencia.

El no uso de tecnología puede influir y romper la dinámica del juego, criterio respaldado también, ya que al procesar los cuestionarios aplicados, algunos de los participantes del experimento manifestaron que entre las cosas que cambiarían o que no les había gustado, estaba el tener que hacer filas y esperar.

7.4.3. RESULTADOS OBSERVACIONALES

Los resultados observacionales muestran algunos patrones que permiten concluir que claramente afectó el que no haya existido fase de entrenamiento en la versión digital, y que les permita a los participantes familiarizarse con la tecnología y el uso de marcadores en entornos multi-dispositivos.

Los patrones de comportamiento observados permiten concluir que el esquema de juego planteado claramente influyó en el aprendizaje y en fomentar las

actividades de planificación, los datos obtenidos después del procesamiento de los cuestionarios pueden respaldar este planteamiento.

8. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El presente documento muestra el desarrollo y evaluación de un framework denominado markerFrame, que permite la interacción y traslado de objetos en entornos multi-dispositivos, haciendo uso de marcadores fiduciales como mecanismo de interacción, se detalla el desarrollo de un experimento que planteó un juego de asociación de conceptos para evaluar un marco genérico extendido del framework presentado.

El análisis de las respuestas de los participantes a los cuestionarios demostró que lo hicieron mejor con papel, considerando que es el mecanismo de interacción óptimo, natural, ya que es fácil de coger, manipular y trasladar de un lugar a otro, sin embargo el papel no tiene interactividad por lo cual no es posible dotar el escenario de estudio de elementos digitales. Por el contrario el uso de tecnología permite generar entornos de elementos digitales con mucha interactividad, considerando que el planteamiento en tabletas no explotó las capacidades graficas posibles, es decir a nivel de gráficos, efectos especiales, entre otros.

Los resultados permiten concluir que en general la actividad les pareció bastante atractiva pero se evidencia un menor resultado al hacer uso de los marcadores como elementos de interacción, se puede inferir o asociar a la falta de una fase de entrenamiento, por el desconocimiento de la técnica de interacción. Sin embargo, respecto a la interacción natural, la introducción de las tabletas como entorno multi-dispositivos y usando marcadores fiduciales como mecanismo de interacción con el objetivo de dotar el escenario de elementos digitales no muestra resultados de empeorar con respecto al óptimo, es decir se valora muy positivamente y sigue siendo optimo, incluso no explotando todas las ventajas asociadas a un entorno interactivo.

Los datos demuestran que en igualdad de condiciones (mismo diseño y estilos de gráficos y efectos en papel y tabletas) no están más divertidos, pero en trabajos futuros la tecnología da más posibilidades de mejorar experiencias sensoriales respecto al papel como forma de interacción natural, y permite evitar

acciones que rompen la dinámica de la actividad, como en el caso de la implementación en papel fue el hacer las colas para realizar la comprobación.

Como resultado la introducción de esta técnica de interacción que a priori es menos intuitiva, no empeora la percepción de diversión de los participantes, lo perciben como igualmente divertida. Una futura implementación y evaluación de markerFrame debería considerar una fase de entrenamiento que permita relacionarse con la técnica de interacción, además se deberían explotar todas las ventajas del uso de equipos electrónicos, mejorar los gráficos y generar efectos de interacciones más ricos.

8.1. AGRADECIMIENTO

A Fernando García Sanjuan, por la colaboración, ayuda y aportes brindados como director experimental durante el desarrollo del presente trabajo.

A la escuela de verano de la UPV por las facilidades y apoyo brindado durante el desarrollo de los experimentos presentados.

Este trabajo fue financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España y el Fondo Europeo de Desarrollo regional (EDRF-FEDER) con proyecto TIN2014-60077-R.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Adam J. Oliner, Anand P. Iyer, Ion Stoica, Eemil Lagerspetz, and Sasu Tarkoma. 2013. Carat: collaborative energy diagnosis for mobile devices. In Proceedings of the 11th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '13). ACM, New York, NY, USA, Article 10, 14 pages. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2517351.2517354>
- Bangare, S. L., Gupta, S., Dalal, M., & Inamdar, A. (2016). Using Node Js to Build High Speed and Scalable Backend Database Server, (March), 61–64.
- Bergé, L.-P., Dubois, E., & Raynal, M. (2015). Design and Evaluation of an “Around the SmartPhone” Technique for 3D Manipulations on Distant Display. Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Spatial User Interaction - SUI '15, 69–78. <http://doi.org/10.1145/2788940.2788941>
- Blasco-Arcas, L., Buil, I., Hernández-Ortega, B., & Sese, F. J. (2013). Using clickers in class. the role of interactivity, active collaborative learning and engagement in learning performance. Computers and Education, 62, 102–110. <http://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.019>
- Boticki, I. (2013). Designing Technology for Content-Independent Collaborative Mobile Learning. IEEE Transactions on Learning Technologies, 6(1), 14–24. <http://doi.org/10.1109/TLT.2012.8>
- Carapina, M., & Boticki, I. (2015). Technology trends in mobile computer supported collaborative learning in elementary education from 2009 to 2014. 11th International Conference on Mobile Learning, (November 2014), 2–6. Retrieved from <http://bib.irb.hr/prikazi-rad?lang=en&rad=755894>
- Chen, X. “Anthony,” Schwarz, J., Harrison, C., Mankoff, J., & Hudson, S. E. (2014). Air+touch. Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology - UIST '14, 519–525. <http://doi.org/10.1145/2642918.2647392>

- Cheng, C.-H., & Su, C.-H. (2012). A Game-based learning system for improving student's learning effectiveness in system analysis course. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 31(2011), 669–675. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.12.122>
- Decroly, O., & Monchamp, E. (1983). *El juego educativo: iniciación a la actividad intelectual y motriz*. Ediciones Morata.
- Du, L., Liu, C., Tang, A., Zhang, Y., Li, Y., Cheung, K., & Chang, M. F. (2016). Invited - Airtouch: A Novel Single Layer 3D Touch Sensing System for Human / Mobile Devices Interactions. <http://doi.org/10.1145/2897937.2901902>
- Erhel, S., & Jamet, E. (2013). Digital game-based learning: Impact of instructions and feedback on motivation and learning effectiveness. *Computers and Education*, 67, 156–167. <http://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.019>
- Freeman, E. (2014). Effective Multimodal Feedback for Around-Device Interfaces. *Mobile HCI '14 Doctoral Consortium*, 4–5. <http://doi.org/10.1145/2628363.2634264>
- Garcia-Sanjuan, F., Jaen, J., Fitzpatrick, G., & Catala, A. (2016). MarkAirs: Around-Device Interactions with Tablets Using Fiducial Markers – An Evaluation of Precision Tasks. *Proceedings of the 34th Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, In press. <http://doi.org/10.1145/2851581.2892486>
- Gupta, H. P., Chudgar, H. S., Mukherjee, S., Dutta, T., & Sharma, K. (2016). A Continuous Hand Gestures Recognition Technique for Human-Machine Interaction using Accelerometer and Gyroscope sensors. *IEEE Sensors Journal*, 16(16), 1–1. <http://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2581023>
- Hilliges, O., Izadi, S., Wilson, A. D., Hodges, S., Garcia-Mendoza, A., & Butz, A. (2009). Interactions in the air: adding further depth to interactive tabletops. *Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on User Interface*

Software and Technology, 139–148.
<http://doi.org/10.1145/1622176.1622203>

Hung, C., Member, S., Kuo, F., Sun, J. C., & Yu, P. (2014). An Interactive Game Approach for Improving Students' Learning Performance in Multi-Touch Game-Based Learning, 7(1), 31–37.

Hung, H.-C., Young, S. S.-C., & Lin, C.-P. (2015). No student left behind: a collaborative and competitive game-based learning environment to reduce the achievement gap of EFL students in Taiwan. *Technology, Pedagogy and Education*, 24(1), 35–49. JOUR.
<http://doi.org/10.1080/1475939X.2013.822412>

Hwang, G. J., Sung, H. Y., Hung, C. M., Yang, L. H., & Huang, I. (2013). A knowledge engineering approach to developing educational computer games for improving students' differentiating knowledge. *British Journal of Educational Technology*, 44(2), 183–196. <http://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2012.01285>.

Hwang, G. J., Sung, H. Y., Hung, C. M., Yang, L. H., & Huang, I. (2013). A knowledge engineering approach to developing educational computer games for improving students' differentiating knowledge. *British Journal of Educational Technology*, 44(2), 183–196. <http://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2012.01285.x>

Jones, B., Sodhi, R., Forsyth, D., Bailey, B., & Maciocci, G. (2012). Around device interaction for multiscale navigation. *Proceedings of the 14th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 83–92. <http://doi.org/10.1145/2371574.2371589>

Knibbe, J., Martinez, D., Bainbridge, C., Chan, C.-K., Wu, J., Cable, T. Coyle, D. (2014). Extending Interaction for Smart Watches: Enabling Bimanual Around Device Control. *CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 1891–1896. <http://doi.org/10.1145/2559206.2581315>

- Kratz, S., & Rohs, M. (2009). HoverFlow. Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services - MobileHCI '09, 1. <http://doi.org/10.1145/1613858.1613864>
- Kratz, S., Rohs, M., Guse, D., Müller, J., Bailly, G., & Nischt, M. (2012). PalmSpace: Continuous around-device gestures vs. multitouch for 3D rotation tasks on mobile devices. Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces, 181–188. <http://doi.org/10.1145/2254556.2254590>
- Martín, M. (2015). Videojuegos y aprendizaje colaborativo . Experiencias en torno a la etapa de Educación Primaria Video games and collaborative learning . Experiences related to Primary Education Palabras clave : Keywords : Resumen, 16, 69–89.
- Melero, J., Hernández-Leo, D., & Manatunga, K. (2015). Group-based mobile learning: Do group size and sharing mobile devices matter? Computers in Human Behavior, 44, 377–385. <http://doi.org/10.1016/j.chb.2014.11.078>
- PEINADO SANCHIS, F. (2013, May 16). Desarrollo de Videojuegos Android con LibGDX. Retrieved from <https://riunet.upv.es/handle/10251/28892>
- Read, J. C. (2008). Validating the Fun Toolkit: An instrument for measuring children's opinions of technology. Cognition, Technology and Work, 10(2), 119–128. <http://doi.org/10.1007/s10111-007-0069-9>
- Read, J. C., & MacFarlane, S. (2006). Using the fun toolkit and other survey methods to gather opinions in child computer interaction. Proceeding of the 2006 Conference on Interaction Design and Children IDC 06, 81. <http://doi.org/10.1145/1139073.1139096>
- Sodhi, R., Poupyrev, Glisson, M., & Israr, a. (2013). AIREAL: interactive tactile experiences in free air. ACM Transactions on Graphics, 32(4), 134. <http://doi.org/10.1145/2461912.2462007>

- Song, J., Sörös, G., Pece, F., Fanello, S. R., Izadi, S., Keskin, C., & Hilliges, O. (2014). In-air gestures around unmodified mobile devices. *Uist 2014*, 319–329. <http://doi.org/10.1145/2642918.2647373>
- Sung, H.-Y., & Hwang, G.-J. (2013). A collaborative game-based learning approach to improving students' learning performance in science courses. *Computers and Education*, 63, 43–51. <http://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.11.019>
- Yuksel, K. A., Baz, I., & Ozduman, H. (2015). Using Electromagnetic Input for Multi-User or Two-Handed Spatial Gestural Interaction based on the Digital Compass. *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services - MobileHCI '15*, 420–426. <http://doi.org/10.1145/2785830.2785856>