

Estudio de las Capacidades Motoras de Niños en Edad Preescolar para la Realización de Gestos en Superficies Multi-táctiles

Vicente Ernesto Nácher Soler

Trabajo Final de Máster

Máster en Ingeniería del Software, Métodos formales y Sistemas de Información
Departamento de Sistemas Informáticos y Computación

Dirigido por:

Dr. Francisco Javier Jaén Martínez

Dr. Alejandro Catalá Bolós



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Septiembre 2013

Abstract

The direct manipulation interaction style supported by multi-touch technology makes it an ideal mechanism to promote learning activities from pre-kindergarteners to adolescents. However, tap and drag are the only operations most frequently supported in commercial pre-kindergarten applications. This work investigates pre-kindergartener's (age 2-3) ability to perform gestures on multi-touch surfaces other than the already basic tap and drag operations. The evaluation finds that pre-kindergarteners can effectively perform additional gestures such as one-finger rotation and two-finger scale up and down with equivalent success rates than those observed for the basic gestures despite gender and age. Additionally, this work identifies cognitive and precision issues that may have an impact on the performance and feasibility of several types of interactions (double tap, long press, scale down and two-finger rotation) and proposes a set of design guidelines to mitigate the associated problems and help interaction designers envision effective interaction mechanisms for this challenging age range.

Resum

L'estil d'interacció mitjançant la manipulació directa suportat per la tecnologia multi-tàctil fa d'aquesta una tecnologia ideal per a promoure activitats d'aprenentatge per a xiquets des de preescolar fins a l'adolescència. No obstant això, en les aplicacions comercials dirigides a xiquets de preescolar trobem que les dos operacions més freqüents són el tocat o *tap*, i l'arrastrat. Aquest treball es centra en avaluar l'habilitat dels xiquets de preescolar (entre 2 i 3 anys) per a realitzar gestos sobre superfícies multi-tàctils a més de les dos operacions bàsiques de tocat i arrastrat. L'avaluació mostra que els xiquets de preescolar poden realitzar de forma efectiva gestos addicionals com són la rotació amb un dit i escalats, com encollir i engrandir, amb dos mans amb taxes d'èxit equivalents als dos gestos ja utilitzats independentment de seu gènere i edat. Addicionalment, aquest treball identifica una sèrie de problemes cognitius i de precisió que tenen impacte en el rendiment i la viabilitat de varies de les interaccions (tocat doble, tocat mantingut, encollir i rotació amb dos dits) i proposa un conjunt de guies de disseny per a mitigar aquests problemes associats i ajudar als dissenyadors d'interaccions a concebre mecanismes efectius d'interacció per a aquest exigent rang d'edat.

Resumen

El estilo de interacción mediante manipulación directa soportado por la tecnología multi-táctil hace de ésta una tecnología ideal para promover actividades de aprendizaje para niños desde preescolar hasta la adolescencia. Sin embargo, en las aplicaciones comerciales dirigidas a niños de preescolar encontramos que las dos operaciones de interacción más frecuentes son el toque o *tap* y el arrastre. Este trabajo se centra en evaluar la habilidad de los niños de preescolar (entre 2 y 3 años) para realizar gestos sobre superficies multi-táctiles además de las dos operaciones básicas de tap y arrastre. La evaluación muestra que los niños de preescolar pueden realizar de forma efectiva gestos adicionales como rotación con un dedo y escalados, empequeñecer y agrandar, con dos dedos con tasas de éxito equivalentes a los dos gestos ya utilizados independientemente de su género o edad. Adicionalmente, este trabajo identifica una serie de problemas cognitivos y de precisión que tienen impacto en el rendimiento y la viabilidad de varias de las interacciones (toque doble, toque prolongado, empequeñecer y rotación con dos dedos) y propone un conjunto de guías de diseño para mitigar estos problemas asociados y ayudar a los diseñadores de interacciones a concebir mecanismos efectivos de interacción para este exigente rango de edad.

Palabras clave

Interacción multi-táctil, usabilidad, gestos, niños de guardería, pre-kindergarten

Agradecimientos

*A mis padres y a mi hermana, por su apoyo y comprensión,
y por animarme a llevar a cabo todos mis proyectos.*

*A Javi y Alejandro, por su paciencia, dedicación y esfuerzo,
por darme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto
y por todos los buenos consejos que me han dado.*

*A mis compañeros de clase, por hacer el curso más ameno y
llevadero, es especial a Fernando y Patricia,
por su compañerismo e inmejorable compañía
en el laboratorio.*

*A mis compañeros del grupo ISSI, por su amabilidad y
por prestarme su ayuda siempre que la he necesitado.*

*Y a todos mis amigos y amigas, por los darme esa alegría
tan necesaria y hacerme pasar tan buenos ratos.*

Índice

Abstract	1
Resum.....	3
Resumen.....	5
Palabras clave.....	7
Agradecimientos	9
Índice.....	11
Índice de figuras	13
Índice de tablas	15
1. Introducción	17
1.1. Motivación	17
1.2. Objetivos	19
1.3. Estructura del documento.....	20
2. Estado del arte	21
2.1. Perspectiva industrial sobre la tecnología multi-táctil.....	25
3. Evaluación	31
3.1. Contexto experimental.....	31
3.2. Participantes.....	32
3.3. Equipamiento	32
3.4. Procedimiento.....	33
3.5. Tareas	33
Tarea 1: Toque.....	33
Tarea 2: Toque doble	34
Tarea 3: Toque prolongado	34
Tarea 4: Arrastre	34
Tarea 5: Agrandar.....	35
Tarea 6: Empequeñecer	35
Tarea 7: Rotación con un dedo	36
Tarea 8: Rotación con dos dedos	37
4. Resultados	39

4.1.	Tiempo de compleción	39
4.2.	Porcentaje de éxito	45
4.3.	Comparación de tareas	51
4.3.1.	Comparación del porcentaje de éxito entre tareas	51
4.3.2.	Comparación de la varianza en el tiempo de compleción entre tareas.....	53
5.	Discusión	57
5.1.	Gestionando la precisión.....	58
5.2.	Gestionando la complejidad cognitiva	60
6.	Conclusiones y trabajos futuros	63
6.1.	Conclusiones.....	63
6.2.	Trabajos futuros	64
6.3.	Impacto	64
Anexos	65
Bibliografía	67

Índice de figuras

Figura 1. Niños utilizando una mesa interactiva (extraída de (Helmes et al. 2009)).	18
Figura 2. Niños colaborando en un juego multi-táctil (extraído de (Piper et al. 2006)).	24
Figura 3. Edad del usuario objetivo, 2009 vs 2011, para la categoría de Educación del Apple's App Store (extraído de (Shuler 2012)).	25
Figura 4. Temática de los juegos	27
Figura 5. Métodos de aprendizaje	28
Figura 6. Interacciones soportadas	29
Figura 7. Ejemplo de test de toque, toque doble o toque prolongado.	34
Figura 8. Ejemplo de test de arrastre	35
Figura 9. Ejemplo de test de escalado. (a) Agrandar, (b) Empequeñecer.	36
Figura 10. Ejemplo de test de rotación con un dedo.	36
Figura 11. Ejemplo de test de rotación con dos dedos.	37
Figura 12. Media del tiempo de compleción por tarea y grupo de edad.	42
Figura 13. Media del tiempo de compleción por tarea y género.	43
Figura 14. Porcentaje de éxito en la realización de tareas por grupo de edad.	48
Figura 15. Porcentaje de éxito en la realización de tareas por género.	49
Figura 16. Porcentaje de éxito por tarea.	51

Índice de tablas

Tabla 1. Tiempo en milisegundos en la realización de tareas por grupo de edad.....	40
Tabla 2. Tiempo en milisegundos en la realización de tareas por género.....	41
Tabla 3. Principales características del experimento de acuerdo al tiempo de compleción.....	44
Tabla 4. Estadísticos F para el análisis del tiempo de compleción.....	45
Tabla 5. Porcentaje de éxito en la realización de tareas por grupo de edad.....	46
Tabla 6. Porcentaje de éxito en la realización de tareas por género.....	47
Tabla 7. Principales características del experimento de acuerdo al porcentaje de éxito.....	50
Tabla 8. Estadísticos del test chi cuadrado de Pearson para el porcentaje de éxito.....	50
Tabla 9. Comparación de tareas por éxito con el test de independencia Chi cuadrado de Pearson.	52
Tabla 10. Principales características del experimento de acuerdo al éxito de las tareas.....	53
Tabla 11. Varianza por tareas en segundos.....	54
Tabla 12. Resultados del test de Levene.....	54

1.Introducción

1.1. Motivación

La tecnología multi-táctil ha tenido una gran evolución en las últimas décadas, desde sus primeros pasos en los ochenta, incluso antes de la adopción pública de las interfaces gráficas de usuario como una tecnología generalizada y aceptada (Buxton 2013). Ésta ofrece nuevos y más sofisticados métodos de entrada y procesado que permiten al usuario interactuar de un forma más natural e intuitiva (Smith et al. 2012). Estas dos características, interacción natural e intuitiva, han sido las principales responsables del inicio de una nueva aproximación para el desarrollo de aplicaciones para los niños, teniendo como objetivo final niños más pequeños que nunca. (Rideout 2011), indica que incluso los niños muy pequeños son usuarios frecuentes en los medios digitales en Estados Unidos. Por ejemplo, el estudio muestra que un 39% de los niños ha utilizado al menos una vez un teléfono inteligente (*Smartphone*), iPad o un dispositivo similar. Dentro de este grupo, el 10% tiene una edad entre los 0 y los 23 meses y un 39% tiene una edad entre los 2 y los 4 años. El informe Horizon (Johnson et al. 2012) refuerza estas afirmaciones ya que identifica los dispositivos móviles (teléfonos inteligentes y tabletas) como una de las dos tecnologías emergentes para su uso en la comunidad educativa con niños menores de dos años.

Con el objetivo de proporcionar una interacción natural e intuitiva a los usuarios, la tecnología multi-táctil toma las ventajas tanto del estilo de interacción mediante la *manipulación directa* como el *toque directo*. Tal y como exponen (Shneiderman & Plaisant 2004) existen tres ideas detrás del concepto de manipulación directa: (1) visibilidad de los objetos y acciones de interés; (2) sustitución de comandos escritos por acciones de apuntado sobre los objetos de interés; y último y no menos importante (3) acciones rápidas, reversibles e incrementales que ayuden a mantener al niño ocupado, que le den el control de la tecnología y que le ayude a evitar instrucciones complejas. Por otra parte, el toque directo, así como otras técnicas de interacción de realidad virtual (González et al. 2001), ha ayudado a proveer a los niños de un *ratón que desaparece* (*disappearing mouse*). Tal y como expone (Hourcade 2007), los niños siempre prefieren pantallas táctiles frente a dispositivos de señalado indirecto como el ratón, ya que éstas

proporcionan una forma más específica de seleccionar opciones sobre una pantalla y hacen más sencillas las acciones de apuntar y las acciones operativas. Además, como se expone en (Couse & Chen 2010), los niños pequeños se ven totalmente involucrados con sus actividades de aprendizaje a pesar de las dificultades que pueden encontrar debidas a incidentes técnicos.

Esta capacidad para involucrar está siendo ampliamente explotada para promover actividades de aprendizaje desde niños de guardería a adolescentes. Por ejemplo, el trabajo (Mansor et al. 2009) muestra que las mesas interactivas pueden ser utilizadas por niños con tres años de edad sin que exista una diferencia significativa entre aprender en entornos con objetos reales y aprender en entornos con objetos virtuales. Otros trabajos, como (Sluis et al. 2004), (Khandelwal & Mazalek 2007) y (Tyng et al. 2011), demuestran que esta tecnología puede ser utilizada por niños con edades entre tres y siete años para aprender habilidades de lectura, resolver problemas matemáticos, desarrollar el sentido del espacio, etc. Además, diversos estudios demuestran que esta tecnología también proporciona importantes resultados en la promoción de la *colaboración* entre compañeros (Rick & Rogers 2008) (Fleck et al. 2009) (Rick et al. 2010) y a la hora de fomentar su creatividad (Helmes et al. 2009) (Catala et al. 2012).



Figura 1. Niños utilizando una mesa interactiva (extraída de (Helmes et al. 2009)).

A pesar del creciente interés en el desarrollo de la tecnología multi-táctil no se han realizado estudios adecuados que ayuden y orienten en el diseño de sistemas multi-táctiles para niños, tal y como reivindica (Hourcade 2007). El trabajo (Ingram et al. 2012) también concluye que a pesar de que el conjunto de interacciones multi-táctiles, en las cuales los usuarios y desarrolladores están de acuerdo de forma instintiva y unánime, es pequeño (ya que solo consiste en el toque con un dedo, o tap, para la selección y el arrastre con un dedo para el movimiento, selección y otras tareas), la ausencia de un conjunto de interacciones aceptadas universalmente y estandarizadas hace crucial la necesidad de un buen diseño de las interacciones multi-táctiles.

Por otra parte, estos estudios deben diseñarse de forma cuidadosa, como se expone en el trabajo (Wolock et al. 2006), ya que es especialmente importante conocer las capacidades de desarrollo de los niños cuando se diseña software para los niños más pequeños. Se trata de un aspecto especialmente relevante ya que, como argumentan los autores, los niños con edades entre los 18 y los 30 meses pueden empezar a utilizar pantallas táctiles siempre que estén bajo supervisión. Por lo tanto, deben llevarse a cabo estudios que centren su foco en los niños de guardería y preescolar con el objetivo de proporcionarles un tecnología adecuada a sus habilidades y necesidades.

1.2. Objetivos

Por todo lo mencionado anteriormente, este trabajo se dirige a encontrar respuesta a una pregunta que surge relativa a la habilidad de los niños de guardería para realizar gestos sobre superficies multi-táctiles a parte de los ya considerados e usados gestos de toque y arrastre. Además, este trabajo también tiene como objetivo identificar las cuestiones que requieren soluciones a medida que se adaptan específicamente para este tipo de usuarios.

Por lo tanto, este trabajo tiene múltiples objetivos. El primero consiste en realizar un estudio de cien aplicaciones comerciales en dispositivos multi-táctiles orientadas a niños de guardería que revele a qué tipo de interacciones dan soporte las aplicaciones dirigidas a los niños de preescolar. El segundo objetivo es la evaluación experimental de una serie de interacciones o gestos para valorar cuáles de éstas pueden ser llevadas a

cabo por los niños de guardería. El tercer objetivo del trabajo es la identificación de los aspectos cognitivos y de precisión que tienen impacto en la realización y usabilidad de diversos tipos de interacciones centrándonos en el rango de edad ya mencionado. Por último, el cuarto objetivo es proporcionar un conjunto de líneas guía de diseño que ayuden a mitigar los aspectos cognitivos y de precisión observados durante la realización de los experimentos y así ayudar a los diseñadores a conseguir mecanismos de interacción efectivos para este particularmente exigente grupo de edad.

1.3. Estructura del documento

El presente documento está organizado de la siguiente manera: en esta primera sección se ha introducido el tema tratado con una pequeña motivación y se han presentado los objetivos del mismo.

En la segunda sección, con el fin de cumplir el primer objetivo descrito, se presenta el estado del arte relacionado con el uso de dispositivos multi-táctiles centrado principalmente en su uso por parte de niños de preescolar y, además, se presenta un estudio de cien aplicaciones educativas comerciales dirigidas a niños de preescolar.

En las secciones 3 y 4 del documento se muestra el estudio de las diversas interacciones que se presentan y su viabilidad para ser llevadas a cabo por niños de preescolar. Para ello se presenta el experimento de evaluación que se ha realizado y se presentan los resultados obtenidos en dicho experimento.

En la quinta sección se presenta una discusión sobre el uso de gestos multi-táctiles en niños de guardería identificando los problemas cognitivos y de precisión que tienen los niños de una edad tan temprana a la hora de interactuar con un dispositivo multi-táctil. Adicionalmente, se presenta un conjunto de guías para el diseño de aplicaciones multi-táctiles orientadas a los niños de preescolar que ayuden a evitar los problemas encontrados.

Por último, en la sexta sección se presentan las conclusiones y posibles trabajos futuros derivados del trabajo presentado.

2.Estado del arte

En este apartado se presentan una serie de trabajos relacionados con el uso de tabletas y más en concreto, por el uso por parte de niños en edad preescolar.

Según (Druin 2002), los niños son capaces de colaborar tanto como usuarios como probadores si participan en el proceso de evaluación de una tecnología o como informadores o compañeros de diseño si contribuyen en el proceso de diseño en mayor o menor medida. El rol de informador o compañero de diseño es el más interesante por el hecho de que los niños participan en el diseño y por tanto la tecnología será más satisfactoria para ellos. Sin embargo, la edad es un factor limitador importante ya que los niños más jóvenes no poseen las habilidades verbales y cognitivas que poseen los adultos por lo que se dificulta para ellos la expresión de sus gustos y preferencias (Kremer 2012). Este factor conlleva un problema adicional ya que los niños pequeños no son capaces de llevar a cabo tareas durante largos periodos de tiempo y se distraen muy fácilmente (Egloff 2004). Aunque podemos encontrar trabajos interesantes, como (Guha et al. 2013) que proporciona guías de diseño para integrar a los niños como informadores o diseñadores, los estudios desarrollados, como se ha comprobado en la literatura, sólo se centran en niños a partir de cinco años. En el trabajo de (Bekker et al. 2003) se presenta un método para definir los requisitos de una aplicación de zoo utilizando niños de nueve y diez años. En (Rick et al. 2010) se presentan dos juegos educativos para mesas interactivas dirigidos a niños de seis a nueve años con resultados satisfactorios en las pruebas realizadas. (Sluis-Thiescheffer et al. 2011) presentan una aplicación colaborativa para mesas interactivas con el objetivo de ayudar a desarrollar habilidades lectoras a niños de cinco a siete años. Por lo tanto, la mayoría de estudios llevados a cabo hasta el momento han considerado la participación de los niños pequeños sólo como usuarios o probadores.

En la literatura podemos encontrar estudios interesantes que giran en torno al estilo de manipulación directa que tiene como objetivo a los niños. Por ejemplo, (Donker & Reitsma 2007) han analizado si los niños de 6-7 años realizan más errores que los estudiantes universitarios cuando utilizan el ratón para realizar una tarea de arrastre y soltado (*Drag & Drop*). Dicho análisis concluye que los niños son menos eficientes que los adultos. Sin embargo, la mayoría de errores son debidos al tamaño del receptor y la

dirección del movimiento y no debido al hecho de mantener pulsado el ratón. La principal causa de estos errores es debida a que los niños tienen unas capacidades motoras finas más limitadas, así como una coordinación ojo-mano menos desarrollada que los adultos. Además, la forma del ratón también se detectó como una de las causas de error ya que éste ha sido desarrollado para ser utilizado por adultos y no por niños.

Otros trabajos interesantes giran en torno al uso del puntero (o *stylus*) de una Tablet PC como estilo de interacción de manipulación directa. Por ejemplo, (Terra et al. 2009) han trabajado con niños con edades entre los 9 y los 11 años, y (Couse & Chen 2010) con niños con edades entre los 3 y los 6 años, con el objetivo de determinar si éstos son capaces de utilizar el puntero de una Tablet PC para actividades educativas. Estos estudios concluyen que, a pesar de la necesidad de un periodo de aprendizaje para el uso del puntero, esta forma de interacción es muy directa y proporciona ventajas respecto a las alternativas tradicionales de interacción.

Otros trabajos se centran en el estilo de interacción de manipulación directa y el estilo de manipulación directa táctil centrándose en los escolares como sujetos. Por ejemplo, (Kharrufa et al. 2010) presentan un proceso de diseño, fundamentado en teorías de interacción colaborativa y aprendizaje, de una aplicación colaborativa de aprendizaje para tabletas en la que participan niños de entre 10 y 13 años. El estudio muestra las incomparables posibilidades que ofrecen las mesas interactivas para la creación de herramientas de aprendizaje colaborativas y describe un interesante conjunto de líneas a seguir para ayudar al desarrollo de estas herramientas. (Harris et al. 2009) han analizado si hay diferencias entre el toque simple y el toque múltiple en términos de interacción. En el estudio se observa a niños con edades entre los 7 y los 10 años trabajando en grupos, se detecta que aunque el tipo de toque no afecta la interacción en términos de frecuencia o equidad, éste sí tiene influencia en cómo los niños se comunican promoviendo que hablen sobre las acciones que están realizando. (Yu et al. 2010) evalúan como debe ser el diseño de la interacción de las pantallas táctiles si se tiene el objetivo de desarrollar juegos educativos digitales para niños. Con este propósito, utilizan cuatro prototipos de juegos educativos para analizar cómo de eficientes son los niños de 4 a 6 años de edad cuando realizan gestos como el toque, el arrastre, la rotación y gestos de escalado de agrandar y empequeñecer. El resultado de estos análisis determinaron que los gestos de escalado eran poco familiares a los niños de 4 a 6 años ya que éstos necesitaban al menos seis minutos de entrenamiento antes de realizarlo

correctamente. Los autores detectaron que una de las principales causas de estos problemas era debida a la diferencia entre la sensibilidad del dispositivo y la precisión que requiere el juego para reconocer los gestos. Además, los autores identifican algunos problemas que afectan negativamente en los resultados. Problemas como que más de la mitad de los usuarios dejan la mano que no utilizan o algunos dedos que no están interviniendo sobre la pantalla mientras realizan las acciones lo que impide que el sistema sea capaz de detectarlas correctamente.

También encontramos estudios centrados en niños de preescolar y de guardería. Por ejemplo, en el trabajo de (Shoukry et al. 2012) se define un conjunto de líneas guía aplicables al diseño de juegos educativos para niños de preescolar. En (Mansor et al. 2008) se estudia cómo los niños de 3 a 4 años de edad interactúan con una mesa interactiva comparándolo con un escenario físico. Las conclusiones del trabajo muestran evidencias de algunos problemas al arrastrar objetos sobre la mesa interactiva debido a su posición durante la interacción. Por este motivo, los autores sugieren que los niños deben mantenerse de pie durante la interacción.

Otros trabajos destacables, como (Rubio et al. 2012), (Hourcade et al. 2011), (Weiss et al. 2011) (Piper et al. 2006), se centran en el uso de mesas táctiles por parte de niños con desórdenes cognitivos. Estos trabajos muestran que es posible obtener resultados significativos, especialmente en la promoción de la colaboración y la motivación. Sin embargo, estos trabajos no pueden ser tomados como referencia para el comportamiento de los niños sin desórdenes ya que los usuarios de estos trabajos necesitan interacciones específicas.



Figura 2. Niños colaborando en un juego multi-táctil (extraído de (Piper et al. 2006)).

Como se puede observar, la aparición de pantallas con tecnología multi-táctil abre la puerta de un nuevo mundo de posibilidades para el desarrollo de aplicaciones para niños de guardería y preescolares. Esta tecnología resuelve los problemas que tienen los niños al interactuar con dispositivos como el ratón o el teclado, ya que permite las ventajas del estilo de interacción de manipulación directa y del toque directo. Desafortunadamente, todos los estudios llevados a cabo hasta la fecha que hemos podido analizar han tenido niños como usuarios o probadores y no más pequeños de tres años. Sin embargo, de acuerdo con (Piaget 1973), los niños están en la etapa pre-operacional desde que tienen dos años y, por lo tanto, pueden ser candidatos a utilizar la tecnología multi-táctil. Esto nos conduce a la principal pregunta de nuestra investigación en este trabajo: *¿están preparados los niños de entre dos y tres años de edad para utilizar la tecnología de las pantallas multi-táctiles?* Este trabajo proporciona una respuesta a esta pregunta analizando qué gestos son más realizables para los niños comprendidos en estas edades considerando tanto el tiempo de compleción de éstos como si se realizan con éxito.

2.1. Perspectiva industrial sobre la tecnología multi-táctil.

En el apartado anterior se ha realizado una revisión de trabajos interesantes llevados a cabo en la perspectiva investigadora presentada. Sin embargo, merece la pena considerar la perspectiva industrial o comercial con el propósito de tener un adecuado resumen de cuál es el impacto que tiene esta tecnología. Por esto, a continuación se describen las aplicaciones disponibles para los dos sistemas operativos más extendidos en la tecnología multi-táctil, Android (Google 2013) y iOS (Apple 2013).

En relación a iOS, (Shuler 2012) presenta un análisis detallado. Con el objetivo de entender la dinámica del mercado, áreas de innovación y oportunidades emergentes con el mercado de aplicaciones etiquetado como educacional; el Joan Ganz Cooney Center ha analizado la categoría de Educación de la tienda online de Apple. Una de las conclusiones más interesantes del estudio es que el 72% de las aplicaciones para iOS más vendidas han sido desarrolladas para niños, entre estos siendo los preescolares el usuario destino más popular (58%). Esta es además la categoría que más ha crecido (23%), superando el porcentaje de aplicaciones diseñadas para adultos (ver Figura 3).

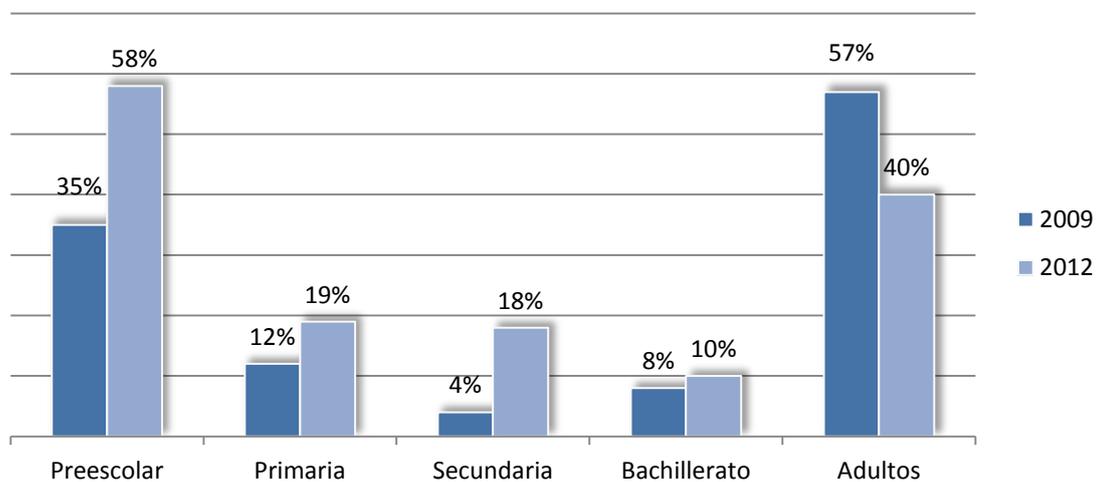


Figura 3. Edad del usuario objetivo, 2009 vs 2011, para la categoría de Educación del Apple's App Store (extraído de (Shuler 2012)).

Además, la mayoría de estas aplicaciones tienen como temática más popular el aprendizaje temprano general (47%), siendo las matemáticas el tema más popular (13%). Esta situación muestra el presente interés del mercado en esta población objetivo y las capacidades de esta tecnología para ofrecer nuevas soluciones para niños de edad

temprana. Finalmente, este informe también reclama la necesidad de una agenda de investigación que guíe a los desarrolladores e investigadores hacia el diseño de productos efectivos y de alta calidad.

En relación con el sistema operativo Android, hemos analizado 100 juegos educativos¹ disponibles para su descarga desde el Android AppStore, para determinar el impacto que tiene esta tecnología en los niños de guardería. Las conclusiones más interesantes se muestran a continuación:

- Los temas más recurrentes en los juegos analizados (ver Figura 4) son: (1) *números y matemáticas*, treinta y cinco juegos giran en torno a esta temática como por ejemplo, “Kids Numbers & Math” un juego desarrollado por Intellijoy que consiste en contar el número de objetos que aparecen, sumas y restas; o “Maths for children” desarrollado por Kidandroid que se centra en el reconocimiento de números, aprender a contar y sumar; (2) *palabras y lenguaje*, treinta y cinco juegos se centran en esta temática, como por ejemplo el juego “Sight words” desarrollado por Five Pumpkins en el que el sistema reproduce la palabra sobre la que el usuario hace toque; y (3) *colores y formas*, veinte juegos están centrados en esta temática, por ejemplo tenemos el juego “Colors”, desarrollado por Five Pumpkins, que consiste en la aparición de cartas flash coloreadas que cuando son tocadas por el usuario hacen que aparezca un objeto del color de la carta que se ha tocado, otro ejemplo es “Baby learns shapes”, desarrollado por Baby Bus, este juego requiere que el usuario toque, de entre un conjunto de objetos con diferentes formas, el objeto correcto según la forma propuesta. También encontramos juegos centrados en otras temáticas como puede ser el conocimiento o aprendizaje de los animales o las frutas.

¹ Análisis de 100 juegos educativos <http://dl.dropbox.com/u/52040030/RevisedGames.pdf>

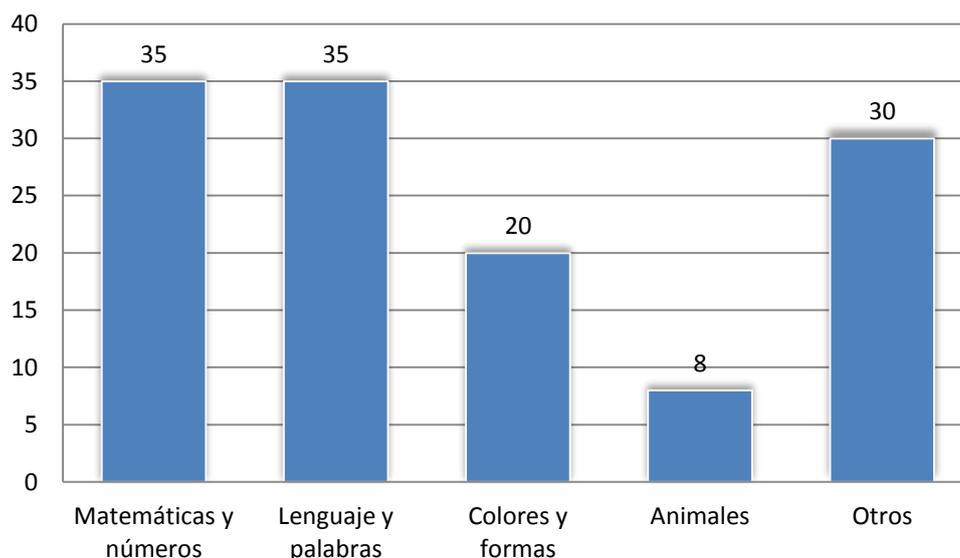


Figura 4. Temática de los juegos

- En relación a los métodos utilizados para el aprendizaje (ver Figura 5), treinta y cinco juegos utilizan aprendizaje por refuerzo o métodos repetitivos que consisten en la repetición del comportamiento deseado con un refuerzo positivo o negativo dependiendo de cumplimiento de lo deseado por parte del alumno (Laird 1985), cuarenta y ocho juegos utilizan métodos receptivos que consisten en que el usuario entienda y comprenda los contenidos sin necesidad de descubrir nada nuevo; por último tenemos cinco juegos que utilizan métodos activos en los que el alumno tiene una actitud activa descubriendo los conceptos y sus relaciones y adaptándolos a su esquema cognitivo (Michel et al. 2009).

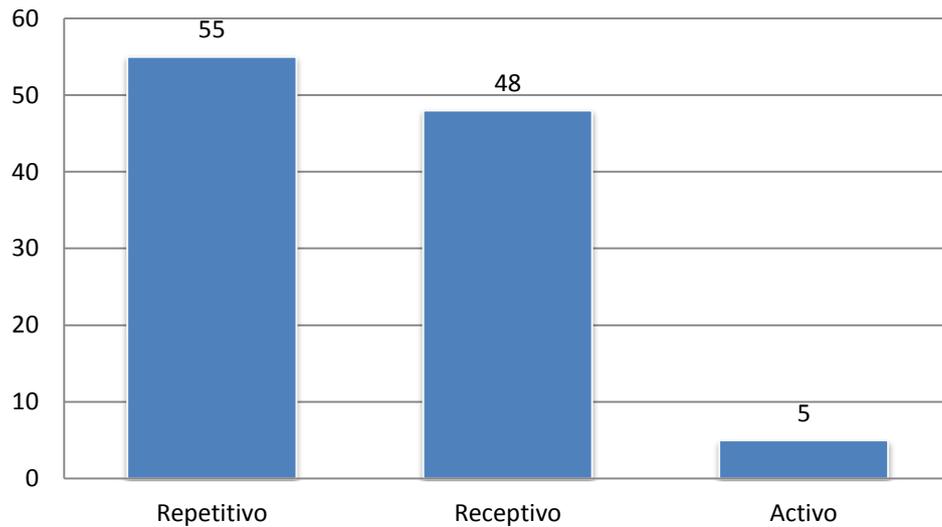


Figura 5. Métodos de aprendizaje

- En cuanto a los gestos soportados, solo tres tipos de gestos son utilizados en la actualidad por los juegos comerciales (ver Figura 6). El gesto de *toque* con un dedo es el más extendido en este tipo de aplicaciones ya que aparece en noventa y nueve de los cien juegos analizados. El gesto de arrastre con un dedo es utilizado en cincuenta y seis juegos y sólo dos de los juegos analizados utilizan el acelerómetro como método de interacción. Además, hay que resaltar que sólo dos de los juegos analizados permiten un modo multijugador (en ambos se permite exactamente dos jugadores) los cuales son los únicos que soportan interacción simultánea con ambas manos (una mano por usuario).

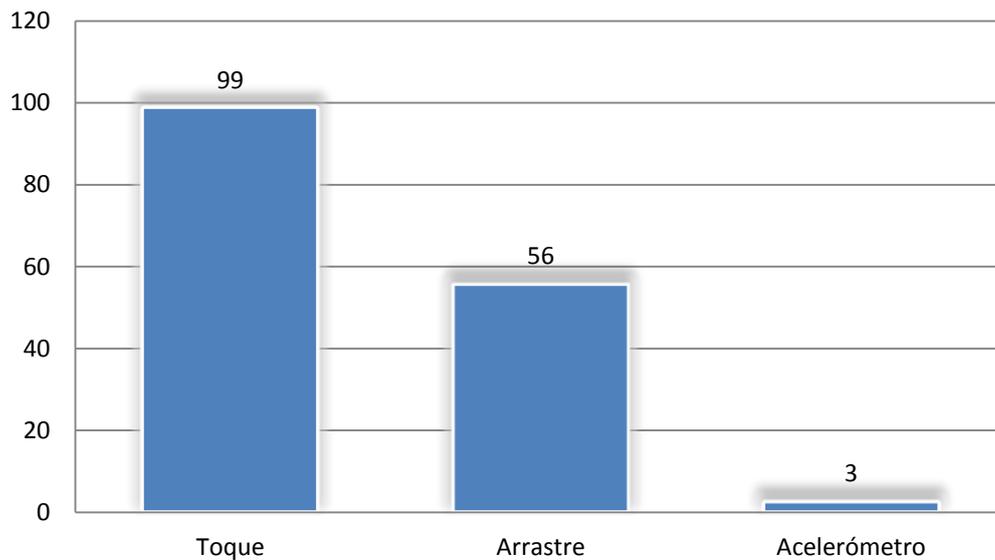


Figura 6. Interacciones soportadas

Analizando estos resultados, se pueden sacar dos conclusiones principales. La primera, encontramos claras evidencias de una tendencia comercial dirigida al desarrollo de aplicaciones para niños principalmente orientadas a la educación, explotando así las ventajas que ofrece la tecnología de las pantallas táctiles. Esto refuerza la necesidad de estudios empíricos que ayuden y den soporte al diseño de este tipo de aplicaciones para que éstas den un soporte adecuado al desarrollo de los niños, como otros autores reclaman (Shuler 2012). Y la segunda conclusión, y no menos importante, los resultados del análisis del Android AppStore (Figura 6) muestran que esta tecnología no está siendo explotada completamente para la educación de niños de guardería ya que los gestos e interacciones soportadas en este rango de edad son muy limitadas. Por lo tanto, la definición de unas líneas guía para el diseño que describan cómo los niños de guardería pueden aprovechar las ventajas de la tecnología multi-táctil permitiría a la industria desarrollar nuevos y atractivos juegos que ayuden en su desarrollo motor y cognitivo.

3. Evaluación

3.1. Contexto experimental

En este trabajo se ha realizado un estudio experimental de gestos multi-táctiles en niños en edad preescolar. Se han considerado diversos gestos que consisten en interacciones típicas como toque, escalado y rotado (ver sección de tareas para más detalles).

El principal objetivo del experimento es mostrar qué gestos táctiles son abordables por estos niños y analizar cuáles de ellos pueden ser considerados en futuras aplicaciones de tabletas dirigidas a este tipo de usuarios. El estudio incluye participantes de ambos géneros y en el rango de edad entre los dos y los tres años. Considerar sujetos de ambos géneros es interesante con el objetivo de determinar si hay gestos que deben ser considerados para un género específico y si es el caso realizar estudios sobre segmentación de mercado basada en el género. Por otra parte, la razón para considerar un rango de edad específico está relacionada con temas de desarrollo. De acuerdo con las teorías de desarrollo, los niños están en constante evolución desarrollando y refinando su psicomotricidad fina desde los dos a los siete años de edad (Piaget 1973). Dentro de este rango de edad, parece más interesante explorar cómo son adquiridos y realizados los gestos por los niños en la etapa más temprana de su desarrollo. Por lo tanto, el estudio abarca niños menores de tres años. Así pues estamos interesados en saber más sobre la influencia del género y la edad en la consecución de los gestos multi-táctiles. Adicionalmente, se pretende encontrar qué gestos son generalmente realizables, y cuáles son más complejos o difíciles de realizar. Estas preguntas nos llevan a formular las siguientes hipótesis.

Las siguientes cuatro hipótesis nulas son definidas para cada una de las tareas realizadas:

H1: El tiempo de compleción de los gestos no está afectado por el género.

H2: El tiempo de compleción de los gestos no está afectado por grupo de edad.

H3: El porcentaje de éxito de los gestos no está afectado por el género.

H4: El porcentaje de éxito de los gestos no está afectado por el grupo de edad.

Adicionalmente, se define otra hipótesis relacionada con la homogeneidad de los resultados de porcentaje de éxito respecto a las diferentes tareas:

H5: El porcentaje de éxito no está afectado por la tarea.

Con el objetivo de responder a éstas preguntas del estudio y sus correspondientes hipótesis se va a medir el tiempo de manipulación que requiere cada gesto, así como el éxito de éste con el objetivo final de divulgar un conjunto de pautas centradas específicamente en el diseño de aplicaciones multi-táctiles para niños en edad preescolar.

3.2. Participantes

Treinta y dos niños con edades desde veinticuatro a treinta y ocho meses tomaron parte en el experimento (Media (M) = 31.34, Desviación típica (SD) = 4.24). Se ha realizado una distribución balanceada del género con 16 chicos y 16 chicas.

Se han implicado participantes en el rango de edad de los 2 a los 3 años procedentes de dos guarderías españolas con el objetivo de explorar cómo los gestos son adquiridos y realizados por niños en las primeras fases de su etapa de desarrollo. Este rango de edad corresponde con el rango de edad del principio de la educación de los niños en el programa educativo español que son las edades entre dos y tres años. La edad desde la que empezamos nuestro estudio, los dos años, corresponde con el momento en el que se empiezan a desarrollar las habilidades motoras de grano fino (Piaget 1973). Así pues, los participantes con edades desde los veinticuatro a los treinta y ocho meses se dividen en dos grupos equitativos para explorar cómo difieren éstos con la edad. El primer grupo está compuesto por participantes desde veinticuatro a treinta meses de edad y el segundo grupo está compuesto por participantes desde treinta y uno a treinta y ocho meses de edad. Se ha realizado una distribución balanceada de los grupos con 16 participantes (ocho chicos y ocho niñas) por grupo.

Se ha obtenido autorización parental para llevar a cabo el presente estudio.

3.3. Equipamiento

El framework de interacción del experimento se ha implementado en Java utilizando JMonkeyEngine SDK v.3.0beta. Los dispositivos para el desarrollo y el experimento

son una tableta Motorola MZ601 y una tableta Samsung Galaxy Note 10.1 ambas con sistema operativo Android 3.2.

3.4. Procedimiento

Para cada gesto, el experimento empieza con una fase de aprendizaje en la cual cada participante es entrenado teniendo la oportunidad de practicar el gesto requerido con la ayuda de un tutor. Una vez la fase de aprendizaje ha finalizado, la plataforma de experimentación invita al participante a realizar el gesto en este caso sin la asistencia del tutor. Los participantes deben realizar tres repeticiones de cada gesto bajo las condiciones detalladas más adelante en cada uno de los gestos.

Si el gesto es realizado de forma exitosa la plataforma produce una realimentación audiovisual positiva. Además, si el tutor observa que el participante no es capaz de realizar una repetición de un gesto antes de un tiempo límite, él o ella puede marcar la repetición como no exitosa y pasar a la siguiente repetición si la hay.

Para cada interacción, el sistema almacena el tiempo de inicio (tiempo en milisegundos que tarda el usuario en iniciar el gesto desde que el estímulo visual se muestra), el tiempo de compleción del gesto, el resultado (si se realiza el gesto) y los contactos realizados sobre la tableta con el objetivo de poder realizar un estudio cualitativo de porqué los test no exitosos no se han podido llevar a cabo. Adicionalmente, con el objetivo de obtener un análisis cualitativo más completo, un observador externo ha tomado notas durante las sesiones experimentales.

3.5. Tareas

Tarea 1: Toque

En esta tarea aparece una imagen estática de un animal en una posición aleatoria de la pantalla (ver Figura 7). Los participantes deben realizar un toque en la imagen objetivo para pasar el test.

Tarea 2: Toque doble

En esta tarea aparece una imagen estática de un animal en una posición aleatoria de la pantalla (ver Figura 7). Los participantes deben realizar un toque doble en la imagen objetivo para pasar el test. El test de toque doble consiste en realizar dos toques rápidamente con un dedo sobre la imagen objetivo.

Tarea 3: Toque prolongado

En esta tarea aparece una imagen estática de un animal en una posición aleatoria de la pantalla (ver Figura 7). Los participantes deben realizar un toque prolongado sobre la imagen objetivo para pasar el test. El gesto de toque prolongado consiste en tocar la imagen objetivo con un dedo y mantener el dedo sobre la imagen hasta que ésta desaparezca.



Figura 7. Ejemplo de test de toque, toque doble o toque prolongado.

Tarea 4: Arrastre

En esta tarea aparece una imagen estática de un animal en una posición aleatoria de la pantalla (el objetivo) y la misma imagen con un fondo blanco aparece en otra posición (la referencia) (ver Figura 8). Los participantes deben realizar un gesto de arrastre para pasar el test. El gesto de arrastre consiste en tocar la imagen objetivo con un dedo y moverla (mediante arrastre) hasta que alcance la posición de la imagen de referencia.

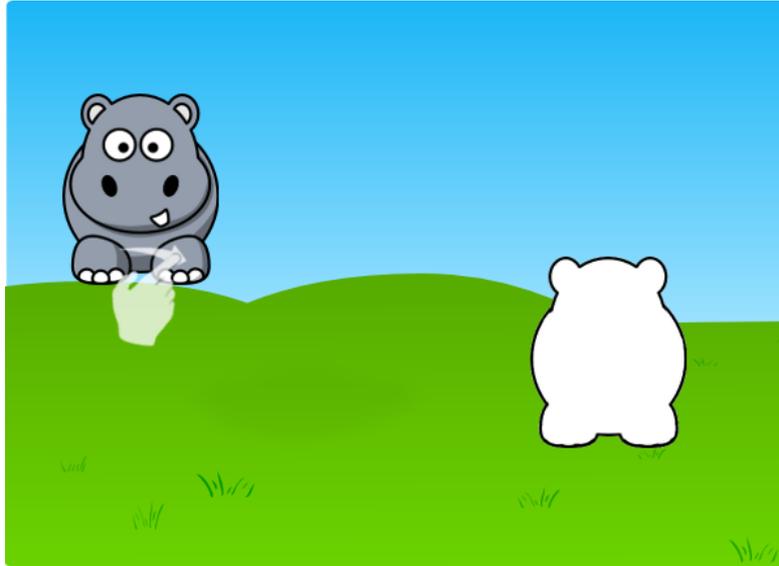


Figura 8. Ejemplo de test de arrastre

Tarea 5: Agrandar

En esta tarea aparece una imagen estática de un animal en el centro de la pantalla (el objetivo) y la misma imagen descolorida y más grande aparece detrás (la referencia) (ver Figura 9-a). Los participantes deben realizar un gesto de agrandar sobre la imagen objetivo para pasar el test. En este caso el gesto de escalado consiste en agrandar la imagen objetivo hasta que esta alcance el tamaño de la imagen referencia. El gesto puede realizarse de dos formas, bien utilizando dos dedos de una misma mano o bien con dos dedos uno de cada mano. Los participantes deben tocar con dos dedos y separarlos para agrandar el objeto.

Tarea 6: Empequeñecer

En esta tarea aparece una imagen estática de un animal en el centro de la pantalla (el objetivo) y la misma imagen descolorida y más pequeña aparece sobrepuesta (la referencia) (ver Figura 9-b). Los participantes deben realizar un gesto de empequeñecer sobre la imagen objetivo para pasar el test. En este caso el gesto de escalado consiste en empequeñecer la imagen objetivo hasta que ésta alcance el tamaño de la imagen de referencia. El gesto puede realizarse de dos formas, bien utilizando dos dedos de una misma mano o bien, con dos dedos uno de cada mano. Los participantes deben tocar con dos dedos y acercarlos para empequeñecer el objeto.

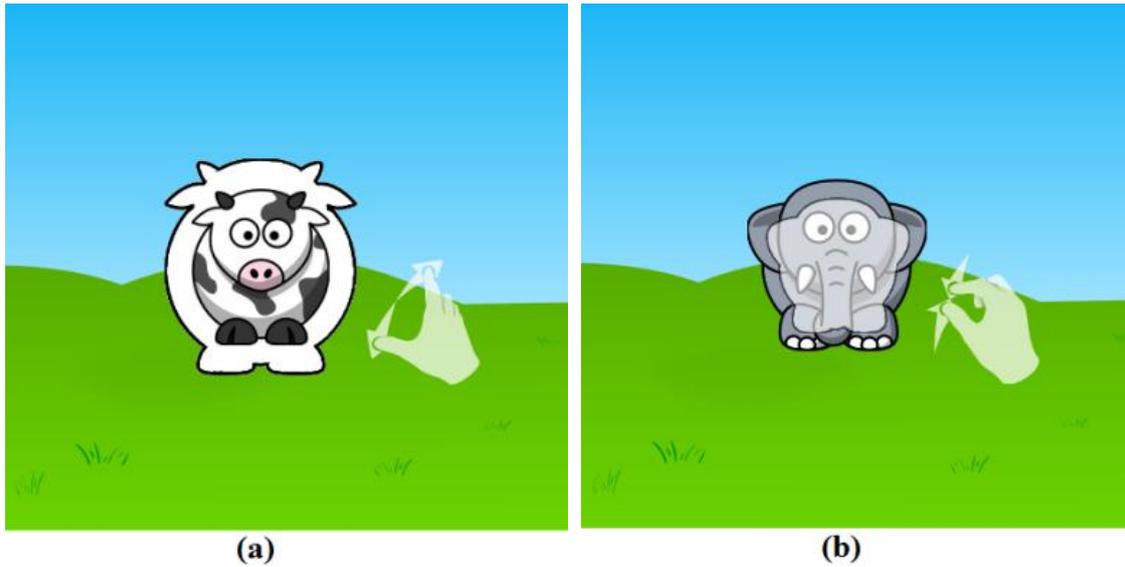


Figura 9. Ejemplo de test de escalado. (a) Agrandar, (b) Empequeñecer.

Tarea 7: Rotación con un dedo

En esta tarea aparece una imagen estática de un animal en el centro de la pantalla (el objetivo) y la misma imagen descolorida y rotada aparece en la misma posición (la referencia) (ver Figura 10). Los participantes deben realizar un gesto de rotación con un dedo sobre la imagen objetivo para pasar el test. En el test de rotación con un dedo los participantes deben rotar la imagen objetivo mediante el arrastre de un dedo alrededor del centro de la imagen (que será el centro de rotación) hasta que ésta alcance la orientación de la imagen referencia.



Figura 10. Ejemplo de test de rotación con un dedo.

Tarea 8: Rotación con dos dedos

En esta tarea aparece una imagen estática de un animal en el centro de la pantalla (el objetivo) y la misma imagen descolorida y rotada aparece en la misma posición (la referencia) (ver Figura 11). Los participantes deben realizar un gesto de rotación con dos dedos sobre la imagen objetivo para pasar el test. Al principio se implementó una tarea de rotación con dos dedos simple (rotar con ambos dedos alrededor del objeto). Sin embargo, ésta fue descartada después de un experimento piloto ya que los usuarios tocaban la tableta con las dos manos apoyando toda la superficie de éstas sobre la tableta, en lugar de sólo con los dedos, produciendo múltiples contactos en la pantalla. Como consecuencia, los dos contactos de rotación que serían los dedos no podían ser calculados y la tarea era inviable. Este hecho nos llevó a realizar otra implementación distinta de la rotación con dos dedos. En este caso, para rotar el objetivo, los participantes deben tocar y mantener un dedo sobre la imagen objetivo y entonces aparecerá un punto negro en la parte derecha de la pantalla. En ese momento los participantes deben realizar la rotación con otro dedo alrededor de este punto negro, que será el centro de rotación, hasta que la imagen objetivo alcance la orientación indicada en la imagen referencia. Si el dedo sobre la imagen objetivo se levanta, el punto negro desaparece y la rotación queda deshabilitada hasta que se vuelva a colocar un dedo sobre la imagen objetivo.



Figura 11. Ejemplo de test de rotación con dos dedos.

4.Resultados

En esta sección se presentan los resultados del experimento, de acuerdo a cada una de las variables independientes, tiempo de compleción en la sección 4.1 y porcentaje de éxito en la sección 4.2. Además, se presenta una comparación de tareas en la sección 4.3.

4.1. Tiempo de compleción

Con el objetivo de tener una media del tiempo de compleción por tarea y participante, para cada participante se ha hecho una media de sus pruebas realizadas con éxito en cada tarea. Si el participante no ha sido capaz de completar de forma exitosa ningún test de una tarea concreta, éste no es incluido en el análisis del tiempo de compleción de dicha tarea.

La media de los tiempos de compleción para cada tarea se muestra en la Tabla 1 por grupo de edad y en la Tabla 2 por género. Adicionalmente se muestran los resultados de forma gráfica en la Figura 12 y la Figura 13.

Tarea	Grupo de edad	Media	SD
Toque	<=30	5140,94	3912,07
	>30	3135,30	1957,64
	Total	4138,12	3209,01
Toque doble	<=30	5815,72	3326,45
	>30	3144,81	1201,32
	Total	4480,26	2800,59
Toque prolongado	<=30	10652,62	7294,92
	>30	8075,00	3979,02
	Total	9307,78	5817,10
Arrastre	<=30	16017,06	11485,80
	>30	7620,94	3711,30
	Total	11819,00	9417,58
Agrandar	<=30	8072,42	6340,66
	>30	6065,68	5191,55
	Total	7002,16	5744,57
Empequeñecer	<=30	7802,85	6044,72
	>30	2372,95	1221,70
	Total	4906,91	4974,20
Rotación con un dedo	<=30	11108,70	6618,13
	>30	6240,68	3611,40
	Total	8596,17	5751,21
Rotación con dos dedos	<=30	14920,21	9253,39
	>30	10519,61	4509,51
	Total	12279,85	6943,47

Tabla 1. Tiempo en milisegundos en la realización de tareas por grupo de edad

Tarea	Género	Media	SD
Toque	F	4656,73	4004,34
	M	3619,51	2161,85
	Total	4138,12	3209,01
Toque doble	F	3728,94	2403,49
	M	5231,58	3064,52
	Total	4480,26	2800,59
Toque prolongado	F	9117,32	7356,77
	M	9515,55	3849,63
	Total	9307,78	5817,10
Arrastre	F	13976,86	11160,55
	M	9661,14	6985,93
	Total	11819,00	9417,58
Agrandar	F	5655,44	4380,83
	M	8541,29	6832,87
	Total	7002,16	5744,57
Empequeñecer	F	4150,58	4017,93
	M	5771,29	5921,07
	Total	4906,91	4974,20
Rotación con un dedo	F	7653,27	5163,65
	M	9480,15	6288,45
	Total	8596,17	5751,21
Rotación con dos dedos	F	12760,13	7508,27
	M	11799,57	6700,27
	Total	12279,85	6943,47

Tabla 2. Tiempo en milisegundos en la realización de tareas por género.

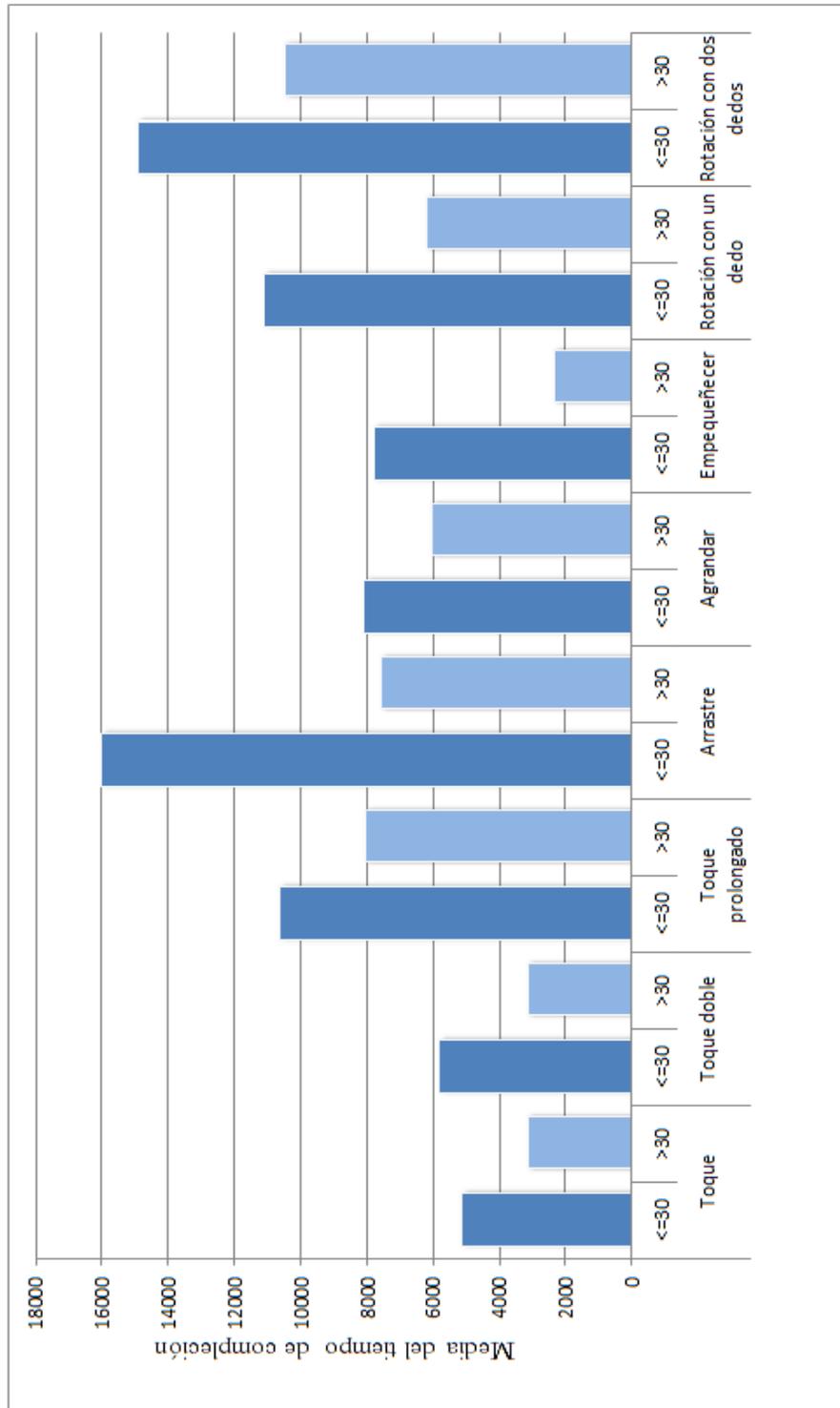


Figura 12. Media del tiempo de completación por tarea y grupo de edad.

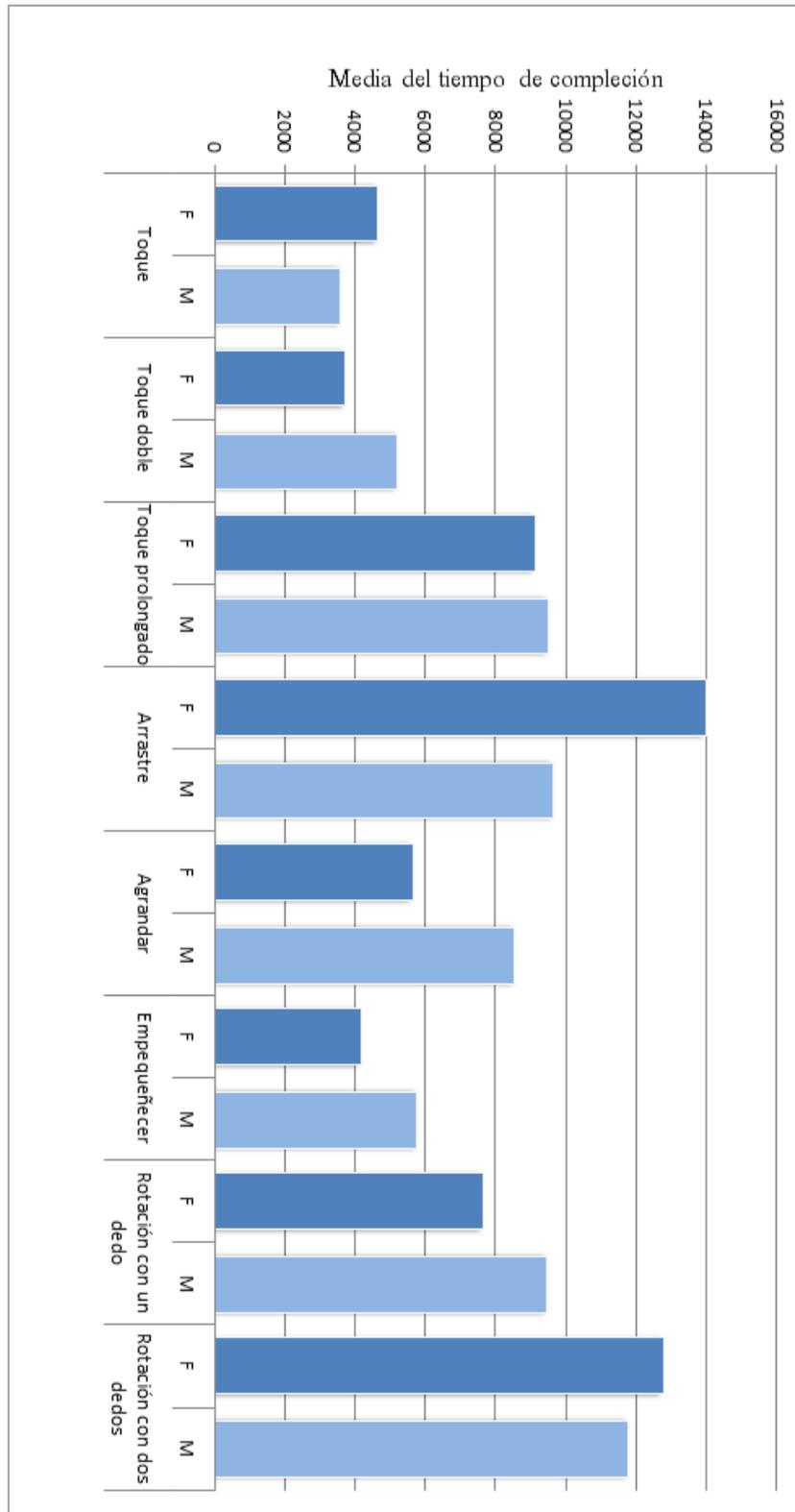


Figura 13. Media del tiempo de completación por tarea y género.

La Tabla 3 muestra las hipótesis relacionadas con el tiempo de compleción.

Hipótesis nula	H ₁ : El tiempo de compleción del gesto <i>k</i> no está afectado por el factor género. H ₁ : ¬H ₁ H ₂ : El tiempo de compleción del gesto <i>k</i> no está afectado por el factor grupo de edad. H ₂ : ¬H ₂ H ₁₂ : El tiempo de compleción del gesto <i>k</i> no está afectado por la interacción del género con el grupo de edad. H ₁₂ : ¬H ₁₂
Variable dependiente	El tiempo de compleción del gesto <i>k</i> realizado por el niño.
Variable independiente	El género y el grupo de edad al que pertenece el niño.
Situación	Valencia.
Fecha	Marzo 2013
Sujetos	32 niños (16 niños y 16 niñas)

Tabla 3. Principales características del experimento de acuerdo al tiempo de compleción.

La aplicación de un ANOVA de dos factores entre sujetos con los factores género y grupo de edad (de acuerdo con la clasificación presentada anteriormente) al que pertenece cada participante, sobre el tiempo de compleción ha demostrado que éste no está afectado de forma significativa por el factor de género (ver Tabla 4), por lo tanto la hipótesis H₁ no puede ser rechazada para ninguna tarea. Adicionalmente, el análisis ha demostrado que el tiempo de compleción no está afectado de forma significativa por la interacción de los factores género y grupo de edad, por lo tanto, la hipótesis H₁₂ no puede ser rechazada.

El análisis también demuestra que el tiempo de compleción para los gestos de *toque doble*, *arrastre*, *empequeñecer* y *rotación simple* está afectado de forma significativa por el factor grupo de edad (p-value<0.05). Por lo tanto, la hipótesis H₂ es rechazada para estas tareas. Concretamente, los participantes pertenecientes al segundo grupo de edad (de 31 a 38 meses) realizan estos gestos significativamente más rápido que los participantes del primer grupo de edad (de 24 a 30 meses).

Por otra parte el tiempo de compleción para los gestos *toque*, *toque prolongado*, *agrandar* y *rotación doble* no está afectado por el factor grupo de edad y, por lo tanto, la hipótesis H₂ no puede ser rechazada para ellos. Sin embargo, mirando las medias en la Figura 12, estos gestos tienden a ser realizados más rápido por el segundo grupo de edad.

Los resultados muestran que, en el rango de edad estudiado, cuanto mayor sea un participante menos tiempo necesitará para realizar el gesto propuesto.

Tarea	gl	Género		Grupo edad		Género*Grupo edad	
		F	p-value	F	p-value	F	p-value
Toque	(1,32)	0,963	0,335	3,599	0,068	3,143	0,087
Toque doble	(1,24)	2,395	0,137	7,568	0,012	1,931	0,180
Toque prolongado	(1,23)	0,020	0,888	1,018	0,326	2,319	0,144
Arrastre	(1,32)	2,179	0,151	8,246	0,008	1,778	0,193
Agrandar	(1,30)	2,528	0,124	1,414	0,245	1,755	0,197
Empequeñecer	(1,30)	2,018	0,167	14,148	0,001	1,417	0,245
Rotación con un dedo	(1,31)	0,715	0,405	6,250	0,019	0,185	0,671
Rotación con dos dedos	(1,20)	0,098	0,758	1,818	0,196	0,009	0,925

Tabla 4. Estadísticos F para el análisis del tiempo de completión.

4.2. Porcentaje de éxito

Con el objetivo de analizar la habilidad de los participantes en completar las tareas se ha realizado una recodificación estadística. Si un participante realiza cero o un test correctamente en una tarea específica se considera que no es capaz de realizar dicha tarea, por el contrario, si el participante realiza correctamente dos o tres test en una tarea específica se considera que es capaz de realizarla. De acuerdo con esta recodificación el porcentaje de éxito de cada tarea se muestra en la Tabla 5 por grupo de edad y en la Tabla 6 por género. Además se presentan estos resultados de forma gráfica en la Figura 14 y la Figura 15.

Tarea	Grupo de edad	Media	SD
Toque	<=30	0,9375	0,25000
	>30	0,9375	0,25000
	Total	0,9375	0,24593
Toque doble	<=30	0,6875	0,47871
	>30	0,5625	0,51235
	Total	0,6250	0,49187
Toque prolongado	<=30	0,5000	0,51640
	>30	0,5000	0,51640
	Total	0,5000	0,50800
Arrastre	<=30	0,9375	0,25000
	>30	0,8750	0,34157
	Total	0,9062	0,29614
Agrandar	<=30	0,8750	0,34157
	>30	1,0000	0,00000
	Total	0,9375	0,24593
Empequeñecer	<=30	0,8750	0,34157
	>30	1,0000	0,00000
	Total	0,9375	0,24593
Rotación con un dedo	<=30	0,8750	0,34157
	>30	0,8750	0,34157
	Total	0,8750	0,33601
Rotación con dos dedos	<=30	0,3125	0,47871
	>30	0,5000	0,51640
	Total	0,4063	0,49899

Tabla 5. Porcentaje de éxito en la realización de tareas por grupo de edad

Tarea	Género	Media	SD
Toque	F	0,9375	0,25000
	M	0,9375	0,25000
	Total	0,9375	0,24593
Toque doble	F	0,5625	0,51235
	M	0,6875	0,47871
	Total	0,6250	0,49187
Toque prolongado	F	0,5000	0,51640
	M	0,5000	0,51640
	Total	0,5000	0,50800
Arrastre	F	0,9375	0,25000
	M	0,8750	0,34157
	Total	0,9062	0,29614
Agrandar	F	1,0000	0,00000
	M	0,8750	0,34157
	Total	0,9375	0,24593
Empequeñecer	F	1,0000	0,00000
	M	0,8750	0,34157
	Total	0,9375	0,24593
Rotación con un dedo	F	0,9375	0,25000
	M	0,8125	0,40311
	Total	0,8750	0,33601
Rotación con dos dedos	F	0,4375	0,51235
	M	0,3750	0,50000
	Total	0,4063	0,49899

Tabla 6. Porcentaje de éxito en la realización de tareas por género

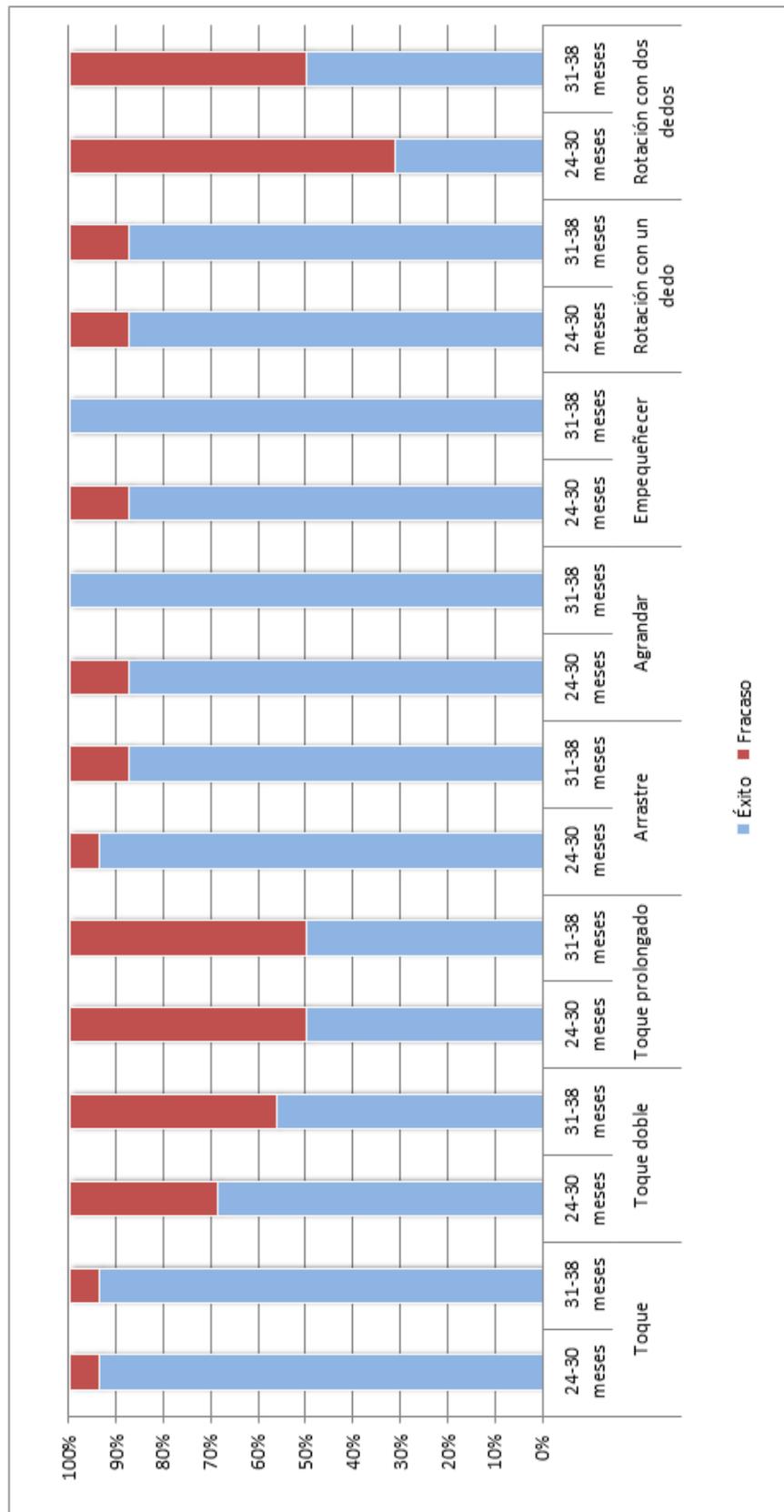


Figura 14. Porcentaje de éxito en la realización de tareas por grupo de edad.

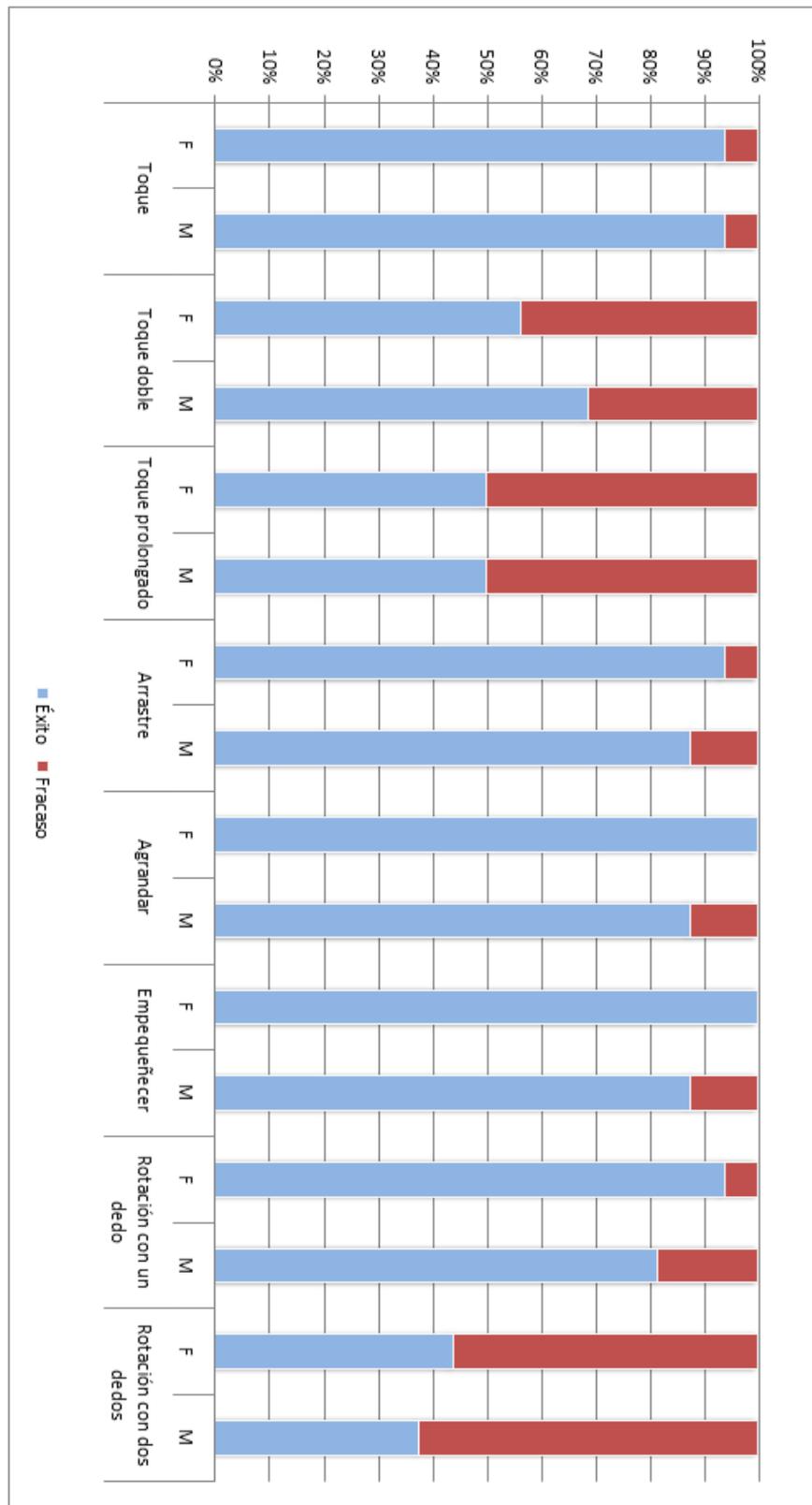


Figura 15. Porcentaje de éxito en la realización de tareas por género.

La Tabla 7 muestra las hipótesis relacionadas con el porcentaje de éxito.

Hipótesis nula	H ₃ : El porcentaje de éxito del gesto <i>k</i> no está afectado por el género. H ₃ : ¬H ₃ H ₄ : El porcentaje de éxito del gesto <i>k</i> no está afectado por grupo de edad. H ₄ : ¬H ₄ H ₃₄ : El porcentaje de éxito del gesto <i>k</i> no está afectado por la interacción del género con el grupo de edad. H ₃₄ : ¬H ₃₄
Variable dependiente	El éxito del gesto <i>k</i> realizado por el niño.
Variable independiente	El género y el grupo de edad al que pertenece el niño.
Situación	Valencia.
Fecha	Marzo 2013
Sujetos	32 niños (16 niños y 16 niñas)

Tabla 7. Principales características del experimento de acuerdo al porcentaje de éxito

Aplicando un test Chi cuadrado de Pearson de independencia sobre el porcentaje de éxito con las variables género y grupo de edad se demuestra que éste no está influenciado significativamente por el factor género (ver Tabla 8). Por lo tanto la hipótesis H₃ no puede ser rechazada ya que el porcentaje de éxito es independiente del género del participante.

Por otra parte, el análisis muestra que el porcentaje de éxito no es influenciado de forma significativa por el factor grupo de edad, por lo tanto la hipótesis H₄ tampoco puede ser rechazada para ninguna tarea. El porcentaje de éxito por tarea para cada grupo de edad se muestra en la Figura 14 en la que se puede comprobar que dicho porcentaje es similar para ambos grupos de edad.

Además, el análisis ha demostrado que la interacción de los factores de género y grupo de edad, hipótesis H₃₄, no tiene ningún efecto en el porcentaje de éxito de las tareas del estudio.

Tarea	gl	Género		Grupo de edad		Género*Grupo edad	
		χ^2	p-value	χ^2	p-value	χ^2	p-value
Toque	1	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000
Toque doble	1	0,533	0,465	0,533	0,465	0,000	1,000
Toque prolongado	1	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000
Arrastre	1	0,368	0,544	0,368	0,544	0,000	1,000
Agrandar	1	2,133	0,144	2,133	0,144	0,000	1,000
Empequeñecer	1	2,133	0,144	2,133	0,144	0,000	1,000
Rotación con un dedo	1	1,143	0,285	0,000	1,000	0,000	1,000
Rotación con dos dedos	1	0,130	0,719	1,166	0,280	0,000	1,000

Tabla 8. Estadísticos del test chi cuadrado de Pearson para el porcentaje de éxito

4.3. Comparación de tareas

4.3.1. Comparación del porcentaje de éxito entre tareas

El porcentaje de éxito de cada tarea se muestra en la Figura 16, observándola podemos ver que no todas las tareas son igual de sencillas de realizar. Se ha realizado una clasificación de tareas; las tareas *Toque* y *Arrastre* son tareas que ya han sido implementadas en aplicaciones comerciales, las tareas de *Empequeñecer/Agrandar* y la *Rotación con un dedo* son aquellas que no han sido implementadas en las aplicaciones comerciales a pesar de tener una aceptación por parte de los niños de guardería similar a los ya implementados, las tareas *Toque doble* y *Toque prolongado* son aquellas que pueden ser incluidas en las aplicaciones comerciales, sin embargo se debe seguir ciertas pautas de diseño que se comentan más adelante en la sección de discusión, y por último, la tarea *Rotación doble con dos dedos* debe ser descartada o remodelada para ser incluida en aplicaciones educativas para niños en edad preescolar.

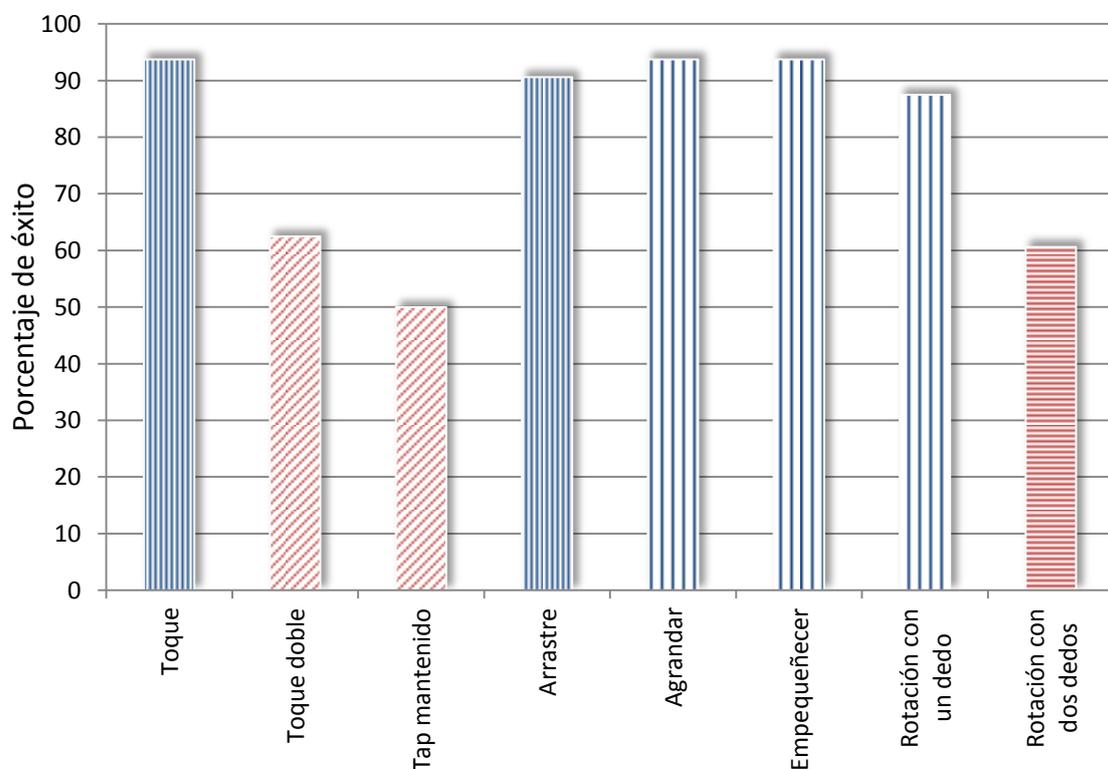


Figura 16. Porcentaje de éxito por tarea.

Con el objetivo de observar qué gestos son similares a otros en términos de porcentaje de éxito, se ha realizado una comparación de tareas par a par. Este análisis ha sido llevado a cabo mediante un test de independencia Chi cuadrado de Pearson para contrastar el grado de éxito entre todas las tareas o gestos. La Tabla 9 muestra los resultados del análisis estadístico mencionado. Cada celda contiene el valor de significancia obtenido con el análisis de cada par de tareas (*, $p < 0.05$; **, $p < 0.001$).

Éxito	To-que	Toque doble	Toque prolongado	Arrastre	Agrandar	Empequeñecer	Rotación con un dedo	Rotación con dos dedos
Toque		0,002 *	0,000 **	0,641	1,000	1,000	0,391	0,000 **
Toque doble			0,313	0,008 *	0,002 *	0,002 *	0,021 *	0,080
Toque prolongado				0,000 **	0,000 **	0,000 **	0,001 *	0,451
Arrastre					0,641	0,641	0,689	0,000 **
Agrandar						1,000	0,391	0,000 **
Empequeñecer							0,391	0,000 **
Rotación con un dedo								0,000 **
Rotación con dos dedos								

Tabla 9. Comparación de tareas por éxito con el test de independencia Chi cuadrado de Pearson.

En la Tabla 10 se muestra la hipótesis relacionada con la comparación de tareas.

Hipótesis nula	H_5 : El porcentaje de éxito no está afectado por la Tarea. $H_5: \neg H_5$
Variable dependiente	El porcentaje de éxito de los gestos realizados por los niños.
Variable independiente	La <i>tarea</i> realizada por los niños.
Situación	Valencia.
Fecha	Marzo 2013
Sujetos	32 niños (16 niños y 16 niñas)

Tabla 10. Principales características del experimento de acuerdo al éxito de las tareas

De acuerdo con la Tabla 9 la hipótesis H_5 es rechazada ya que, como observamos, hay gestos con porcentajes de éxito diferentes estadísticamente. Con estos resultados, se puede realizar una clasificación de gestos. El primer grupo identificado está compuesto por los gestos de *toque*, *arrastre*, *agrandar*, *empequeñecer* y *rotación simple*. Entre los gestos de este grupo no hay diferencias significativas en términos de porcentaje de éxito y se trata de los gestos con menos dificultades para ser realizados ya que todos tienen un porcentaje de éxito cercano al 90 por ciento.

Por otra parte, se identifica un grupo con los gestos de *toque doble*, *toque prolongado* y *rotación doble* que presentan diferencias significativas con el primer grupo en términos de porcentaje de éxito. Este grupo de gestos corresponde a los más problemáticos a la hora de ser realizados y por lo tanto presentan unos porcentajes de éxito más bajos.

4.3.2. Comparación de la varianza en el tiempo de compleción entre tareas

Con el objetivo de comparar la población y la distribución de los datos en cada tarea se va a analizar la varianza del tiempo de compleción para cada tarea. La varianza de cada tarea se muestra en la Tabla 11.

		Varianza
Tarea	Toque	10,29
	Toque doble	7,84
	Toque prolongado	33,83
	Arrastre	88,69
	Agrandar	33,00
	Empequeñecer	24,74
	Rotación con un dedo	33,07
	Rotación con dos dedos	48,21

Tabla 11. Varianza por tareas en segundos

Para evaluar la homogeneidad de las varianzas entre los distintos gestos se ha realizado el test de Levene. Los resultados de éste se muestran en la Tabla 12, cada celda contiene el valor de significancia del test para cada posible par de tareas (*, $p < 0.05$; **, $p < 0.001$).

Tiempo de completación	Toque	Toque doble	Toque prolongado	Arrastre	Agrandar	Empequeñecer	Rotación con un dedo	Rotación con un dedo
Toque		0,386	0,026 *	0,000 **	0,001 *	0,049 *	0,001 *	0,002 *
Toque doble			0,013 *	0,000 **	0,000 **	0,018 *	0,000 **	0,001 *
Toque prolongado				0,053	0,627	0,611	0,627	0,397
Arrastre					0,059	0,009 *	0,056	0,257
Agrandar						0,239	0,998	0,571
Empequeñecer							0,238	0,146
Rotación con un dedo								0,567
Rotación con dos dedos								

Tabla 12. Resultados del test de Levene.

Los resultados obtenidos muestran un primer grupo de tareas que incluye los gestos de *toque* y *toque doble*. Estas tareas tienen el nivel de varianza más bajo lo que significa que los datos son los más homogéneos y compactos en términos de tiempo de compleción. Lo que indica que los participantes realizan estas tareas en un tiempo similar.

El segundo grupo está compuesto por los gestos de *toque prolongado*, *agrandar*, *empequeñecer*, *rotación simple* y *rotación doble*. Éste grupo agrupa los gestos con un nivel de varianza más alto que el primero lo que significa que los datos del tiempo de compleción de estos gestos son más dispersos y por lo tanto encontramos bastantes diferencias en el tiempo utilizado por cada participante al realizar dichas tareas.

Por último, tenemos el gesto de *arrastre* que formará un tercer grupo con el nivel más alto de varianza. Esto significa que los datos de tiempo de compleción de esta tarea son muy dispersos ya que para la realización de esta tarea es necesaria una traslación del objeto por lo tanto los participantes más habilidosos realizan la tarea muy rápido y por el contrario, los menos habilidosos necesitan invertir bastante más tiempo. Uno de los orígenes de esta varianza es explicado en la sección de observaciones experimentales.

5. Discusión

El presente trabajo examina la habilidad de los niños de guardería (con edades entre los 2 y los 3 años) para realizar interacciones en dispositivos multi-táctiles. El interés de este estudio radica en el hecho de que actualmente existe un claro crecimiento en el número de aplicaciones educativas que utilizan estas tecnologías pero, sin embargo, estas aplicaciones explotan un número muy limitado de los gestos disponibles como se ha analizado y discutido en la 2.1.

La respuesta a la pregunta central que motiva este trabajo, i.e. “*¿están preparados los niños de entre dos y tres años de edad para utilizar la tecnología de las pantallas multi-táctiles?*”, es claramente afirmativa, aunque hay que tener en cuenta algunas cuestiones. Estas cuestiones se discuten en esta sección en términos de su naturaleza, la explicación de las observaciones y descubrimientos experimentales y las líneas guía de diseño sugeridas que deberían ser incorporadas en las futuras aplicaciones educativas dirigidas a los niños en edad preescolar.

De acuerdo con nuestro estudio, se debe desmontar el mito implícito por el que se cree que los niños de guardería sólo son capaces de realizar los gestos de toque y arrastre como gestos de interacción. Por lo tanto, los diseñadores de interacciones deberán ampliar el alcance de sus interfaces a la hora de concebir futuras aplicaciones para niños en edad preescolar. En concreto, nuestro estudio revela que las interacciones como la rotación con un dedo y los escalados, agrandar y empequeñecer, tienen tasas de éxito similares a las tasas de éxito observadas en las interacciones de toque y arrastre que son las interacciones más extendidas y utilizadas en las aplicaciones existentes. Además, en términos de cómo de exitosos son los niños en edad preescolar a la hora de realizar los gestos de interacción considerados en este trabajo, los resultados confirman que no existen diferencias significativas entre los participantes ni en términos de género ni en términos de edad (en el rango de 2 a 3 años). Por último, nuestro estudio revela que se debe prestar especial atención en el diseño de las interacciones de toque doble, toque prolongado y la rotación con dos dedos en aplicaciones para niños en edad preescolar ya que éstas se ven afectadas por problemas cognitivos y de precisión que se discuten a continuación.

Otro aspecto que corrobora nuestro estudio es que el tiempo de compleción, i.e. cómo de eficazmente realizan las interacciones consideradas en este estudio los niños en edad preescolar, no está afectado por el género de los participantes pero sí por su edad. Estos resultados concuerdan con los hallazgos reportados en (Piaget 1973) que muestran que los niños empiezan a desarrollar su etapa pre-operacional a los dos años y, a partir de este momento, van adquiriendo de forma gradual las habilidades motoras de grano fino. Esto se ve reflejado de forma clara en las tareas de toque doble, arrastre, empujear y la rotación con un dedo en las que los participantes del segundo grupo de edad (desde 31 a 38 meses) realizan las tareas más rápido que los usuarios pertenecientes al primer grupo (desde los 24 a los 30 meses). Sin embargo, este proceso de mejora relacionado con la edad no se observa para las tareas de agrandar y la rotación con dos dedos debido a que en éstas interfieren dos problemas, *complejidad de precisión y cognitiva*, que afectan ambos al rango de edad como se discute en las siguientes dos secciones respectivamente. Además, se enuncian un conjunto de guías de diseño (GD) que describen nuestras experiencias en el trato de estos problemas.

5.1. Gestionando la precisión

Nuestras observaciones revelan que uno de los temas críticos que debe ser tratado, en el rango de edad considerado en este estudio (2-3 años), es la falta de precisión que tienen los usuarios debido a que se encuentran en una fase temprana en el desarrollo de las habilidades motoras finas. Esto se ha observado en diversas situaciones en las que los niños se sienten frustrados cuando, por ejemplo, se les pide realizar un arrastre de un objeto preciso a una posición exacta en la superficie del dispositivo o realizar un escalado, bien agrandar o bien empujear, sobre un objeto hasta alcanzar un tamaño exacto o una rotación de un objeto hasta alcanzar un ángulo específico. Un comportamiento común en estas situaciones es que los niños intentaran realizar la interacción que requiere habilidades motoras de grado fino esperando recibir la retroalimentación audio-visual pero el sistema no es capaz de detectar estas interacciones como exitosas debido a la falta de precisión en sus movimientos aunque los niños entiendan qué deben hacer y realicen la tarea correctamente teniendo en cuenta las limitaciones en su grado de precisión. Por lo tanto, tenemos niños capaces de realizar el gesto requerido pero que presenta dificultades con algunos requisitos de

grano fino asociados. Se ha abordado este problema mediante la implementación de un componente de detección de límites que detecta cuando un objeto se encuentra cercano a su posición final permitiendo así aplicar un pequeño margen de error. Consecuentemente, nuestra primera línea guía de diseño se puede formular de la siguiente manera:

(GD1) Límite final/Condiciones de salida: Diseñar componentes de detección de límites para hacer frente a los problemas de precisión relacionados con la posición u orientación que debe ser alcanzada cuando un elemento de la interfaz de usuario debe ser movido.

Desafortunadamente, la precisión no afecta sólo a las condiciones finales o de salida como las descritas anteriormente, ésta también tiene impacto en las condiciones iniciales o de entrada. Este hecho ha ocurrido cuando se le ha pedido a los niños que hicieran toque sobre un elemento de la interfaz y mantuvieran el toque un tiempo determinado (interacción de toque prolongado). En este caso, los niños tienen un problema de precisión en la entrada que les impide mantener el dedo fijo en la posición inicial en la que tocan. Así que en lugar de tocar y mantener, los niños realizan un pequeño gesto de arrastre desde el punto de entrada y luego mantienen el dedo fijo. Esta situación hace que el sistema malinterprete el contacto inicial como el inicio de un gesto de arrastre evitando así que el sistema identifique el gesto de toque prolongado. Consecuentemente, no importa que los niños permanezcan, posteriormente al pequeño arrastre, con el dedo en una posición fija ya que la interacción nunca es reconocida como un gesto de toque prolongado. Una posible solución a este problema es considerar un proceso de filtrado que debe estar activo siempre que se requiera una interacción con un gesto de toque prolongado para poder filtrar los eventos de arrastre iniciales. En general, los diseñadores deben tomar en consideración este aspecto siguiendo nuestra segunda línea guía de diseño:

(GD2) Eventos de entrada o falso inicio: El diseño de un proceso de filtrado de falsos e indeseados eventos de interacción debe considerarse en la fase inicial de toda interacción.

Finalmente, hemos observado un tercer tipo de problema relacionado con la *precisión*, éste está asociado con la velocidad estimada en la que se va a llevar a cabo una interacción dada. En nuestro caso, este problema ha quedado patente en la interacción mediante el gesto de toque doble en la cual algunos participantes eran incapaces de realizar el segundo toque tan rápido como espera el middleware de detección subyacente aunque el participante entienda el gesto y realice un toque doble. Por lo tanto, tenemos interacciones que se almacenan como incorrectas por el sistema y, sin embargo, el participante ha realizado el gesto requerido pero sin ceñirse al tiempo marcado por el middleware subyacente. En general, en el diseño de cualquier interacción que tenga como requisito asociado un tiempo de realización se debe considerar a una velocidad más baja para que pueda ser realizada de forma efectiva por niños en edad preescolar.

(GD3) Interacciones basadas en tiempos: Diseñar mecanismos de adaptación para ajustar la velocidad de acción requerida en las interacciones basadas en tiempo a la habilidad real del usuario.

5.2. Gestionando la complejidad cognitiva

Adicionalmente a los aspectos de precisión, tenemos otros aspectos críticos que deben ser considerados relacionados con la complejidad cognitiva requerida en algunas interacciones de las estudiadas en este trabajo.

En primer lugar, una situación recurrente es la complejidad cognitiva asociada al proceso de conteo. En particular, la interacción mediante el gesto de toque doble se ve afectada por este problema ya que diversos participantes no son capaces de parar la interacción después de haber realizado dos toques sobre el objeto dado. En su lugar, los participantes realizan toques repetidamente sobre la figura objetivo y se alteran y frustran porque el sistema no les proporciona la retroalimentación audio-visual positiva después de haber realizado un buen número de toques.

(GD4) Interacciones basadas en conteo: Evitar el diseño de interacciones que requieran una contabilidad exacta de un número de eventos.

Otro problema cognitivo es el observado cuando se les pide a los niños que realicen una interacción mediante una rotación con dos dedos. Hay que recordar que una rotación con dos dedos estándar no es apropiada para este tipo de usuarios por un problema ergonómico que hace que los niños dejen caer las manos enteras sobre la superficie del dispositivo evitando así que el sistema pueda identificar los dos contactos necesarios para llevar a cabo la rotación. Por lo tanto, diseñamos un mecanismo de rotación con dos dedos que requiere que un dedo esté sobre el objeto a rotar (interacción mediante el gesto de toque prolongado) y un segundo dedo debe girar alrededor de un punto estacionario que será mostrado en la pantalla (interacción con el gesto de rotación con un dedo). Sin embargo, los resultados demuestran que esta interacción combinada es prohibitiva en términos cognitivos. A pesar de este problema esperado, la mayoría de participantes se comportaron de forma contraria a lo esperado realizando un gesto de toque prolongado sobre el punto de rotación estacionario diseñado y un gesto de rotación con un dedo alrededor del elemento que deben rotar. No obstante, hay que remarcar que la mayoría de ellos intentó realizar una rotación con dos dedos.

(GD5) Interacciones coordinadas: Evitar el diseño de interacciones que requieran coordinaciones complejas de procesos que involucren ambas manos.

Finalmente, el análisis estadístico de los datos revela que la edad es un factor significativo para el tiempo de compleción en la tarea de empujear pero, sorprendentemente, esto no ocurre para la tarea de agrandar (ver Tabla 4). El análisis de las notas tomadas en los experimentos por un observador externo revela que, cuando se agranda un objeto, los usuarios empiezan desde una situación inicial en la que sus dos dedos están cercanos uno del otro. Entonces, resulta fácil mover sus dedos cada uno hacia un lado utilizando toda la superficie del dispositivo para agrandar el objeto. Sin embargo, cuando se realiza un gesto de escalado para empujear, los niños más pequeños (24 a 30 meses) empiezan la interacción con los dedos en la situación comentada anteriormente (con los dedos cercanos uno del otro). Por lo tanto, se ven forzados a realizar repetidamente la siguiente secuencia de interacciones: mover los dedos uno hacia el otro, levantar los dedos de la superficie, poner los dedos de nuevo sobre la superficie (en la situación comentada) y volver a moverlos uno hacia el otro, así hasta conseguir empujear el objeto hasta alcanzar el tamaño propuesto. Esta situación no surge con los niños del segundo grupo de edad (de 31 a 38 meses) que son

capaces de estimar la distancia inicial necesaria entre los dedos para poder realizar la tarea con una, o como mucho dos, operaciones de empequeñecer. Esto motiva nuestra última línea guía de diseño:

(GD6) Interacciones basadas en distancias: Evitar el diseño de interacciones que requieran una estimación efectiva del espacio si el rendimiento es un requisito obligatorio.

6. Conclusiones y trabajos futuros

6.1. Conclusiones

Este trabajo tiene múltiples contribuciones. La primera de ellas es el análisis de un corpus de 100 juegos comerciales diseñados para dispositivos multi-táctiles y dirigidos a niños de preescolar donde se ha observado que el 99% de los juegos utilizan el gesto de toque y el 56% utiliza el gesto de arrastre como sus únicas formas de interacción. Con el objetivo de analizar la capacidad de los niños en edad preescolar para realizar de forma correcta gestos adicionales, se ha diseñado una evaluación experimental en la que niños de 2 a 3 años de edad participan como usuarios de una aplicación multi-táctil que requiere diversos tipos de operaciones para interactuar, incluyendo el toque, el toque doble, el toque prolongado, el arrastre, escalados (empequeñecer y agrandar) y la rotación con una y con dos manos.

La segunda contribución de este trabajo se basa en los hallazgos encontrados en los experimentos realizados. Éstos proporcionan evidencias de que se pueden incorporar, en las aplicaciones dirigidas a niños de preescolar sobre dispositivos multi-táctiles, otros gestos adicionales (la rotación con un dedo y los escalados, empequeñecer y agrandar, con dos dedos) de manera efectiva con, relativamente, poco esfuerzo de implementación. Otros gestos de los evaluados (el toque doble y el toque prolongado) también deben ser considerados pero siempre teniendo en cuenta las limitaciones de precisión y cognitivas de los niños de preescolar.

La tercera contribución del trabajo radica en el análisis de estas limitaciones cognitivas y de precisión que ha derivado en la definición de un conjunto de líneas guía de diseño (que abordan interacciones con condiciones de salida, eventos de entrada o falso inicio, tiempos, conteo, basadas en distancias y que coordinen diferentes interacciones) que ayuden a mitigar esta problemática y así ayudar a los diseñadores de las interacciones, que pueden resultar problemáticas, a conseguir mecanismos de interacción efectivos para este exigente grupo de edad.

6.2. Trabajos futuros

En los trabajos futuros nos centraremos en diseñar un nuevo experimento de evaluación para los gestos de toque doble y toque prolongado aplicando las guías de diseño presentadas (ajustar la velocidad de acción requerida entre los dos toques en el toque doble y filtrar los eventos de entrada o falso inicio para el toque prolongado) y así evaluar la mejora que estas proporcionan respecto a los gestos que proporciona el middleware subyacente. Además, nos centraremos en diseñar una interacción efectiva de rotación con dos dedos para el rango de edad estudiado.

Otra posible línea de trabajo futura es investigar la idoneidad de los enfoques semióticos existentes, como los propuestos por (Derboven et al. 2012), que permitan a los usuarios, en este caso niños de preescolar, identificar qué tipo de interacción o gesto se espera que realicen en el escenario de una aplicación multi-táctil. Una vez evaluados los enfoques existentes y su aceptación en los niños con edad preescolar se valorará el diseño de un nuevo enfoque semiótico animado para gestos multi-táctiles dirigido a niños en edad de preescolar.

6.3. Impacto

El presente trabajo ha tenido impacto en diversas dimensiones. En primer lugar, se ha establecido una colaboración investigadora con el grupo LoUISE de la Universidad de Castilla-La Mancha especializado en el área de las interfaces hombre-máquina. En segundo lugar, se ha podido realizar experimentos reales de cara a una futura transferencia de tecnología con el tejido social de nuestro entorno. En particular se ha colaborado con dos instituciones de educación infantil, la escuela infantil de la Universidad Politécnica de Valencia y la escuela infantil *Ituitu* de Valencia. Finalmente, este trabajo ha derivado en el artículo de investigación:

- Vicente Nácher, Javier Jaen, Elena Navarro, Alejandro Catalá, Pascual González. *Are pre-kindergarten children prepared for multi-touch technology?. Enviado al International Journal of Human-Computer Studies* (JCR, IF: 1.415, 7/21 1er tercil T1) y actualmente en proceso de revisión.

Anexos

A1. Hoja para las notas en los experimentos.

Usuario:	Género:	Edad:	Dispositivo:
Gesto:	Observaciones		
Test 1 Interacción: Si No			
Test 2 Interacción: Si No			
Test 3 Interacción: Si No			

Bibliografía

- Apple, 2013. iOS, Available at: <http://www.apple.com/es/ios/ios7/?cid=wwa-es-kwg-iphone> [Accessed July 16, 2013].
- Bekker, M., Beusmans, J., Keyson, D., Lloyd, P., 2003. KidReporter: a user requirements gathering technique for designing with children. *Interacting with Computers*, 15(2), pp.187–202.
- Buxton, B., 2013. Multi-touch systems that I have known and loved, Available at: <http://billbuxton.com/multitouchOverview.html> [Accessed February 6, 2013].
- Catala, A., Jaen, J., van Dijk, B., Jordà, S., 2012. Exploring tabletops as an effective tool to foster creativity traits, in: 6th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI'12). ACM Press, New York, New York, USA, pp. 143–150.
- Couse, L.J., Chen, D.W., 2010. A Tablet Computer for Young Children? Exploring Its Viability for Early Childhood Education. *Journal of Research on Technology in Education*, 43(1), pp.75–98.
- Derboven, J., De Roeck, D., Verstraete, M., 2012. Semiotic analysis of multi-touch interface design: The MuTable case study. *International Journal of Human-Computer Studies*, 70(10), pp.714–728.
- Donker, A., Reitsma, P., 2007. Drag-and-drop errors in young children's use of the mouse. *Interacting with Computers*, 19(2), pp.257–266.
- Druin, A., 2002. The role of children in the design of new technology. *Behaviour & Information Technology*, 21(1), pp.1–25.
- Egloff, T.H., 2004. Edutainment. *Computers in Entertainment*, 2(1), p.13.
- Fleck, R., Rogers, Y., Yuill, N., Marshall, P., Carr, A., Rick, J., Bonnett, V., 2009. Actions speak loudly with words, in: ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces (ITS'09). ACM Press, New York, New York, USA, p. 189.
- González, P., Montero, F., López, V., Fernández-Caballero, A., Montañés, J., Sánchez, T., 2001. A Virtual Learning Environment for Short Age Children, in: IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'01). IEEE, pp. 283–284.
- Google, 2013. Android, Available at: <http://www.android.com/> [Accessed July 16, 2013].
- Guha, M.L., Druin, A., Fails, J.A., 2013. Cooperative Inquiry revisited: Reflections of the past and guidelines for the future of intergenerational co-design. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 1(1), pp.14–23.

- Harris, A., Rick, J., Bonnett, V., Yuill, N., Fleck, R., Marshall, P., Rogers, Y., 2009. Around the table: are multiple-touch surfaces better than single-touch for children's collaborative interactions?, in: 9th International Conference on Computer Supported Collaborative Learning (CSCL'09). International Society of the Learning Sciences, pp. 335–344.
- Helmes, J., Cao, X., Lindley, S.E., Sellen, A., 2009. Developing the story, in: ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces (ITS'09). ACM Press, New York, New York, USA, pp. 49–52.
- Hourcade, J.P., 2007. Interaction Design and Children. Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction, 1(4), pp.277–392.
- Hourcade, J.P., Bullock-Rest, N.E., Hansen, T.E., 2011. Multitouch tablet applications and activities to enhance the social skills of children with autism spectrum disorders. Personal and Ubiquitous Computing, 16(2), pp.157–168.
- Ingram, A., Wang, X., Ribarsky, W., 2012. Towards the establishment of a framework for intuitive multi-touch interaction design, in: International Working Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI'12). ACM Press, New York, New York, USA, pp. 66–73.
- Johnson, L., Adams, S., Cummins, M., 2012. The NMC Horizon Report: 2012 K-12. The New Media Consortium, Austin, Texas.
- Khandelwal, M., Mazalek, A., 2007. Teaching table: a tangible mentor for pre-k math education, in: 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI'07). ACM Press, New York, New York, USA, pp. 191–194.
- Kharrufa, A., Leat, D., Olivier, P., 2010. Digital mysteries: designing for learning at the tabletop, in: ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces (ITS'10). ACM Press, New York, New York, USA, pp. 197–206.
- Kremer, K.E., 2012. Conducting Game User Experience Research with Preschoolers, in: Workshop on Games User Research: practice, methods, and applications (collocated to CHI'12). ACM.
- Laird, D., 1985. Approaches To Training And Development. Addison-Wesley, Reading, Mass.
- Mansor, E.I., De Angeli, A., De Bruijn, O., 2008. Little fingers on the tabletop: A usability evaluation in the kindergarten, in: 3rd IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human Computer Systems. IEEE, pp. 93–96.
- Mansor, E.I., De Angeli, A., de Bruijn, O., 2009. The fantasy table, in: 8th International Conference on Interaction Design and Children (IDC'09). ACM Press, New York, New York, USA, pp. 70–79.

- Michel, N., James, J., Iii, C., Varela, O., 2009. Active Versus Passive Teaching Styles : An Empirical Study of Student Learning Outcomes. *Human Resource Development Quarterly*, 20(4).
- Piaget, J., 1973. *The Child and Reality*. Grossman, New York.
- Piper, A.M., O'Brien, E., Morris, M.R., Winograd, T., 2006. SIDES: a cooperative tabletop computer game for social skills development, in: 20th anniversary conference on Computer Supported Cooperative work (CSCW'06). ACM Press, New York, New York, USA, pp. 1–10.
- Rick, J., Francois, P., Fields, B., Fleck, R., Yuill, N., Carr, A., 2010. Lo-fi prototyping to design interactive-tabletop applications for children, in: 9th International Conference on Interaction Design and Children (IDC'10). ACM Press, New York, New York, USA, pp. 138–146.
- Rick, J., Rogers, Y., 2008. From DigiQuilt to DigiTile: Adapting educational technology to a multi-touch table, in: 3rd IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human Computer Systems (TABLETOP 2008). IEEE, pp. 73–80.
- Rideout, V., 2011. *Zero to Eight: Children's Media Use in America*. Common Sense Media.
- Rubio, G., Navarro, E., Montero, F., 2012. APADYT: a multimedia application for SEN learners. *Multimedia Tools and Applications*, (online first).
- Shneiderman, B., Plaisant, C., 2004. *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, 4th ed. Addison-Wesley, Boston.
- Shoukry, L., Sturm, C., G.H., G.-E., 2012. Pre-MEGa: A Proposed Framework for the Design and Evaluation of Preschoolers' Mobile Educational Games, in: *The International Conference on Engineering Education, Instructional Technology, Assessment, and E-learning*. Springer.
- Shuler, C., 2012. *iLearn II: An Analysis of the Education Category of the iTunes App Store*. The Joan Ganz Cooney Center at Sesame Workshop, New York.
- Sluis, R.J.W., Weevers, I., van Schijndel, C.H.G.J., Kolos-Mazuryk, L., Fitrianie, S., Martens, J.B.O.S., 2004. Read-It: Five-to-seven-year-old children learn to read in a tabletop environment, in: 2004 conference on Interaction design and children building a community (IDC'04). ACM Press, New York, New York, USA, pp. 73–80.
- Sluis-Thiescheffer, R.J.W., Bekker, M.M., Eggen, J.H., Vermeeren, A.P.O.S., de Ridder, H., 2011. Development and application of a framework for comparing early design methods for young children. *Interacting with Computers*, 23(1), pp.70–84.

- Smith, S.P., Burd, E., Rick, J., 2012. Developing, evaluating and deploying multi-touch systems. *International Journal of Human-Computer Studies*, 70(10), pp.653–656.
- Terra, D., Brinkman, W.P., Heynderickx, I., 2009. Ease-of-Use and Enjoyment of Traditional vs. Stylus Input for Children in a Brazilian Primary School, in: *LatinDisplay*.pp. 151–155.
- Tyng, K.S., Zaman, H.B., Ahmad, A., 2011. Visual Application in Multi-touch Tabletop for Mathematics Learning : A Preliminary Study, in: *2nd International Conference on Visual Informatics: sustaining research and innovations (IVIC'11)*. Springer, pp. 319–328.
- Weiss, P.L., Gal, E., Eden, S., Zancanaro, M., Telch, F., 2011. Usability of a Multi-Touch Tabletop Surface to Enhance Social Competence Training for Children with Autism Spectrum Disorder, in: *Chais conference on instructional technologies research 2011: Learning in the technological era (CHAIS 2011)*. The Open University of Israel, pp. 71–78.
- Wolock, E., Ann Orr, E.D., Buckleitner, W., 2006. *Child development 101 for the developers of interactive media*. Active Learning Associates, Inc.
- Yu, X., Zhang, M., Ren, J., Zhao, H., Zhu, Z., 2010. Experimental Development of Competitive Digital Educational Games on Multi-touch Screen for Young Children, in: *5th International Conference on E-learning and Games (Edutainment 2010)*. Springer, pp. 367–375.