

Interacción Tangible en escenarios educativos. Diseño de una herramienta de autor para la creación de actividades educativas basadas en Interacción Tangible

Tesis de Doctorado en Ciencias Informáticas

Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata

Tesista: Verónica Artola

wartola@lidi.info.unlp.edu.ar

Instituto de Investigación en Informática LIDI (III LIDI), Facultad de Informática, UNLP

Directora: Cecilia Sanz (III LIDI, CIC, Facultad de Informática, UNLP)

Co-Directora: Patricia Pesado (III LIDI, Facultad de Informática, UNLP)

Fecha de exposición: 30 de marzo de 2020

CONTEXTO

El plan de trabajo se enmarca en las investigaciones que se desarrollan en el Proyecto 11-F023, 'Metodologías, Técnicas y Herramientas de Ingeniería de Software en Escenarios Híbridos. Mejora de Proceso'. El trabajo se realiza en el marco del Doctorado en Ciencias Informáticas de la Facultad de Informática de la UNLP.

La tesista contó con una beca Doctoral CONICET. Al mismo tiempo, esta línea de I+D forma parte de la agenda de cooperación con la Universidad de Zaragoza, específicamente con el Grupo de Informática Gráfica Avanzada GIGA Affective Lab, con el que se realizan acciones conjuntas sobre nuevos paradigmas de interacción persona-ordenador en escenarios educativos. Esta vinculación ha sido de impacto para el desarrollo de este trabajo.

MOTIVACIÓN

El área de interacción persona-ordenador ha despertado el interés de los investigadores y convoca la mirada de diferentes disciplinas tales como la Psicología Cognitiva, la Educación, la Comunicación, el Diseño, y las Ciencias de la Computación. Se encuentra en continua evolución, teniendo como una de sus metas buscar las mejores alternativas para la interacción entre las personas y los entornos digitales (Artola, Sanz, Baldassarri, y cols., 2016). Así, las interfaces de líneas de comando (Command Line Interface-CLI), dieron paso a las interfaces gráficas de usuario (Graphical User Interface-GUI) y hoy día ya se habla de un conjunto de paradigmas y estilos de interacción que han sido agrupados dentro de la categoría de Interfaces Naturales (Natural User Interface-NUI). Las ideas de Weiser (1999) sobre la Computación Ubicua, las de Ishii y Ullmer (1997) sobre la Interacción Tangible (IT) y el surgimiento de las NUI han dado lugar a que el usuario pueda controlar una aplicación de cualquier tipo, a través de una interfaz invisible que resulte intuitiva, fácil de aprender y que permite ser accedida a través de la voz, gestos, movimientos corporales, o movimientos de objetos del entorno que son interpretados como comandos de entrada para la aplicación (Diego-Mendoza, Márquez-Domínguez, y Sabino-Moxo, 2014).

Esta tesis propone ser un aporte al área específica de interacción persona-ordenador, y en particular para la investigación y prácticas vinculadas a sistemas basados en interacción tangible, considerando específicamente sus posibilidades para escenarios educativos.

El término Interfaz de Usuario Tangible fue acuñado por Hiroshi Ishii, científico y programador, director del proyecto 'Bits Tangibles' (*Tangible Bits*), en funcionamiento desde el año 1995, en el Massachusetts Institute of Technology (MIT). En 1995, junto a Fitzmaurice (Fitzmaurice, Ishii, y Buxton, 1995) introdujeron la noción de una interfaz aprehensible. Unos años más tarde, en 1997, Ishii y sus estudiantes presentaron una visión más completa en su trabajo Tangible Bits (Ishii y Ullmer, 1997). El proyecto Tangible Bits busca volver tangible la información digital, asociando los bits con objetos físicos cotidianos y superficies arquitectónicas. El objetivo del proyecto consiste en reducir la brecha existente entre las personas, la información digital y el entorno, así como abordar las nociones de centro y periferia en las actividades humanas. El resultado es un nuevo tipo de interfaz que se encarna en el ambiente (Ishii y Ullmer, 1997).

Las interfaces basadas en IT permiten que, a través del uso de objetos cotidianos, se interactúe con una aplicación informática. Estas interfaces hacen hincapié en la percepción multisensorial y en volver tangible la información digital.

A lo largo de los años, diferentes marcos de diseño se han aplicado al desarrollo de sistemas basados en IT. De esta forma se ha ido abriendo la puerta a nuevas formas de relacionarlos con los procesos de enseñanza y aprendizaje

(Marshall, Price, y Rogers, 2003; Price, 2008). Las teorías del aprendizaje cognitivistas y constructivistas permiten dar un sustento y un valor a la IT en escenarios educativos. Esta justificación abarca conceptos teóricos y prácticas de participación, de exploración y construcción de modelos, la actividad colaborativa entre estudiantes, entre otros. Entre los diversos argumentos que se han planteado se puede nombrar: la generación de metáforas (Antle, Droumeva, y Corness, 2008; Bakker, Antle, y Van Den Hoven, 2012), la posibilidad de centrar la atención en la tarea (Marshall, 2007), la inclusión de un canal adicional (táctil) para transmitir/percibir información (Dillenbourg, 2016), el razonamiento del mundo a través del descubrimiento y la participación (Zuckerman y cols., 2005; Marshall, 2007), la mejora de la memoria a través de la acción física, la incitación a la interacción social y a la colaboración (Hornecker, 2002), por mencionar algunos. El aprendizaje mediado por objetos tangibles además tiene el potencial para permitir que los niños combinen y recombinen lo conocido y familiar en formas nuevas y desconocidas (Antle, 2007; Antle y Wise, 2013; Price, 2008; Manches, O'Malley, y Benford, 2010; Price, Rogers, Scaife, Stanton, y Neale, 2003; Marshall, 2007; Martinez-Maldonado y cols., 2013)

Un gran potencial de la IT en el ámbito educativo puede encontrarse en las *tabletops*. Estas arquitecturas son superficies horizontales (mesas) aumentadas computacionalmente que permiten apoyar objetos físicos. Sus principales beneficios se encuentran relacionados con la motivación, el disfrute, el aprendizaje, el involucramiento, la tangibilidad, la multimodalidad y la posibilidad de realizar y enriquecer tareas colaborativas. Desde sus inicios se han realizado numerosas experiencias que muestran buenos resultados en diversos dominios.

La creación de aplicaciones basadas en IT enfrentan al momento múltiples desafíos. Uno de estos desafíos es facilitar la participación de expertos no técnicos en el desarrollo de este tipo de aplicaciones. Es así, que han comenzado a gestarse herramientas que facilitan el proceso de creación de actividades basadas en IT para usuarios sin conocimientos en programación, de manera tal de que puedan tomar decisiones de diseño vinculadas a las interacciones entre objetos físicos e información digital. Estas herramientas varían en sus objetivos, en el grupo destinatario y en las posibilidades que ofrece cada una. Este escenario ha dado pie a una de las motivaciones principales de este trabajo. Así, esta tesis se enfoca en el área de la Interacción Tangible aplicada al escenario educativo, y en particular en poder acercar estas tecnologías a los docentes para el diseño de actividades educativas basadas en IT.

Las motivaciones que impulsan este trabajo se vinculan entonces con:

- La importancia de los sistemas IT, como eslabón evolutivo en el campo de la interacción persona-ordenador, y sus posibilidades ya evidenciadas en situaciones educativas, lo que invita a profundizar la investigación en el área.
- La necesidad de involucrar aún más a los expertos en el dominio en el contexto de creación de actividades basada en IT.
- La creencia de que una herramienta de autor, que se oriente al diseño y desarrollo de actividades IT, especialmente educativas, constituye un aporte a la comunidad y al área, ya que posibilita que los expertos en el dominio puedan apropiarse de estas tecnologías.

OBJETIVOS

Este trabajo ha tenido como objetivo investigar sobre la Interacción Tangible en el escenario educativo y desarrollar tecnología basada en esta forma de interacción para su aplicación en procesos de enseñanza y aprendizaje.

Para tal fin, se elaboraron una serie de objetivos específicos que se listan a continuación:

1. Estudiar el concepto de IT, sus características, y marcos teóricos y descriptivos existentes, en general y en relación al ámbito educativo.
2. Componer un estado del arte en relación a las interfaces de interacción tangible en el escenario educativo. Estudiar buenas prácticas por parte de diseñadores y docentes que estén trabajando en esta temática.
3. Diseñar y desarrollar una herramienta de autor que permita la construcción de actividades educativas digitales basadas en el paradigma de interacción tangible.
4. Generar un estudio de caso que permita relevar las opiniones y aceptación de los docentes en el uso de este tipo de herramienta de autor.
5. Analizar los resultados obtenidos del estudio de caso, de manera tal de lograr el uso efectivo de la herramienta de autor en escenarios educativos específicos, mediante un plan de difusión que se conformará como parte de este trabajo.

Para guiar esta investigación se plantearon doce (12) preguntas de investigación:

- P1. ¿En qué contexto surge la propuesta de IT?
- P2. ¿Cuáles son las principales motivaciones para el desarrollo de la IT?
- P3. ¿Cómo propone la relación entre el mundo físico y el mundo digital?
- P4. ¿Qué relaciones se establecen entre objetos físicos y digitales en los diferentes marcos conceptuales de IT?
- P5. ¿Cuáles son los marcos que orientan diseño aplicaciones basadas IT?
- P6. ¿Cuáles son los marcos teóricos que vinculan la IT con el área educativa?
- P7. ¿Qué aportes realiza la IT en los procesos de enseñar y aprender?
- P8. ¿Qué tipos de experiencias educativas se están desarrollando con IT, y en particular, sobre *tabletops*?
- P9. ¿Qué consideraciones son necesarias al momento de diseñar y desarrollar aplicaciones basadas en IT, y en particular sobre *tabletops*?
- P10. ¿Qué herramientas se encuentran disponibles para que personas no expertas puedan desarrollar aplicaciones basadas en IT?
- P11. ¿Cuáles son las necesidades aún no atendidas por este tipo de herramientas para el desarrollo de actividades educativas basadas en IT?
- P12. ¿Qué aspectos constituyen una barrera para la inclusión de aplicaciones en procesos educativos?

APORTES

A continuación se mencionan los aportes relacionados a los objetivos específicos planteados.

1. Estudiar el concepto de IT, sus características, y marcos teóricos y descriptivos existentes, en general y en relación al ámbito educativo.
 - Se realizó una indagación sobre diferentes paradigmas IPO. Se puso mayor énfasis en el estudio de la IT, por ser el tema de interés en este trabajo. Se recuperaron conceptos e ideas clave que han motivado el surgimiento de la IT y su evolución.
 - Se abordó el estudio de 20 marcos que proponen categorías, pautas y orientaciones de diseño de aplicaciones basadas en este paradigma, y que permiten definir a la IT y analizarla desde diversos puntos de vista. Se presentaron estos marcos agrupados por diferentes categorías. A partir del análisis se generó un mapa conceptual que busca organizar lo presentado por diferentes autores de referencia en el área. El mapa y la categorización propuesta resultan en un aporte.
2. Componer un estado del arte en relación a las interfaces de interacción tangible en el escenario educativo. Estudiar buenas prácticas por parte de diseñadores y docentes que estén trabajando en esta temática.
 - Se elaboró un estado del arte, a partir de un proceso de revisión sistemática de bibliografía, recuperando experiencias de actividades basadas en IT sobre *tabletops* de los últimos 10 años. Esta revisión permitió conocer distintos dominios en los cuales la IT se ha aplicado y los beneficios encontrados en cada una, destacándose algunas buenas prácticas encontradas. Se analizó así un total de 63 experiencias que, en general, han demostrado éxito al alcanzar los objetivos planteados por los investigadores de cada una.
3. Diseñar y desarrollar una herramienta de autor que permita la construcción de actividades educativas digitales basadas en el paradigma de interacción tangible.
 - Se abordó un estudio que recupera un estado del arte de las herramientas para la creación de aplicaciones basadas en IT con la finalidad de conocer las características y descubrir vacancias en relación a los aspectos deseados. Se consideraron 7 herramientas para su análisis siguiendo una serie de criterios retomados de (Tetteroo y cols., 2013; Sanz, Artola, y cols., 2017). Entre las aplicaciones analizadas pudo notarse algunas vacancias relacionadas con el empaquetamiento de diferentes tipos de actividades secuenciadas en forma de proyecto y con la posibilidad de exportar las aplicaciones con estándares que faciliten su acceso y su reutilización por parte de la comunidad educativa.
 - Se presentó una descripción del diseño y el desarrollo de la herramienta de autor, EDIT, propuesta en el marco de esta tesis como uno de los principales aportes que realiza. La herramienta propone atender aspectos no abordados por las herramientas analizadas.

4. Generar un estudio de caso que permita relevar las opiniones y aceptación de los docentes en el uso de este tipo de herramienta de autor.
 5. Analizar los resultados obtenidos del estudio de caso, de manera tal de lograr el uso efectivo de la herramienta de autor en escenarios educativos específicos, mediante un plan de difusión que se conformará como parte de este trabajo.
- Se llevó a cabo un estudio de caso para validar la aceptación de la EDIT por parte de los docentes, sus opiniones, percepciones y reflexiones acerca de la IT en contextos educativos. Se trabajó con una metodología, en la cual se invitó a docentes a utilizar EDIT. El objetivo del estudio fue analizar la aceptación de EDIT por parte de los docentes como una tecnología para la creación de actividades educativas basadas en IT. La aceptación de EDIT se estudió en base a una adaptación del Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM) realizada por Teo (2009). Se trabajó con una muestra de 38 docentes que se desempeñan en diversos niveles educativos. Los resultados mostraron una alta aceptación por parte de los docentes que participaron de las experiencias en relación a incorporar EDIT en actividades educativas. Estos resultados permitieron arribar a una serie de conclusiones.

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha tenido como objetivo investigar sobre la Interacción Tangible en el escenario educativo y desarrollar tecnología basada en esta forma de interacción para su aplicación en procesos de enseñanza y aprendizaje. Para tal fin, se elaboraron una serie de objetivos específicos, mencionados previamente.

El primer objetivo se trabajó mediante una indagación acerca de los diferentes paradigmas de interacción, que han surgido a lo largo de la evolución de las interfaces. Se puso mayor énfasis en el estudio de la IT, por ser el tema de interés en este trabajo. Se realizó una introducción a la evolución de las interfaces, y luego, un estudio de diversos marcos que proponen categorías, pautas y orientaciones de diseño, y que permiten definir a la IT y analizarla desde diversos puntos de vista. El segundo objetivo se aborda con una revisión sistemática de bibliografía, recuperando experiencias de actividades basadas en IT sobre tabletops de los últimos 10 años. Esta revisión permite conocer distintos dominios en los cuales la IT se ha aplicado y los beneficios encontrados en cada una, destacándose algunas buenas prácticas encontradas. Para el tercer objetivo fue necesario realizar un estudio acerca del estado del arte de las herramientas de autor para la creación de aplicaciones basadas en IT. Esto tuvo como finalidad conocer las características de las herramientas desarrolladas y descubrir vacancias en relación a los aspectos deseados. En base a estas vacancias se diseñó y desarrolló una herramienta de autor, EDIT. Finalmente, se realizó un estudio de caso para validar la aceptación de EDIT por parte de los docentes, sus opiniones, percepciones y reflexiones acerca de la IT en contextos educativos.

Las respuestas a las preguntas de investigación presentadas anteriormente permiten arribar a algunas conclusiones que se presentan a continuación.

El surgimiento de la IT se relaciona con la evolución de las interfaces, que ha avanzado desde las basadas en comando (CLI), a las GUI, y luego a las naturales (NUI). Esta evolución ha motivado el auge de paradigmas de realidad híbrida o combinada. La IT nace del trabajo de Ishii y Ullmer (1997) y presenta sus bases en las tendencias de la Computación Ubicua y la RA. Promueve un importante cambio en el diseño de interfaces de usuario, y el modo de interactuar con sistemas informáticos. El objetivo de este nuevo tipo de interfaz fue potenciar la colaboración, el aprendizaje y la toma de decisiones a través de la tecnología digital, y aprovechar las habilidades naturales de los usuarios para manipular objetos y materiales físicos.

La IT permite crear relaciones entre el mundo físico y el mundo digital que puede abordarse desde distintos puntos de vista, de acuerdo al marco conceptual que se utilice. Se observó que los primeros trabajos se han centrado en el desarrollo técnico, las descripciones taxonómicas y los marcos teóricos. Con el tiempo, se visualiza una tendencia a avanzar en el campo y la exploración de la aplicación de ideas teóricas en diseños concretos y estudios empíricos que investigan sistemáticamente los supuestos beneficios de tales diseños. Algunos de los marcos se relacionan con las interfaces tangibles para escenarios educativos, relacionándolos con otros previos, y proponiendo categorías, pautas y orientaciones para el diseño de actividades educativas. Estos marcos atienden a las operaciones cognitivas involucradas, tipos de feedback según grupos destinatarios, objetivos que pueden alcanzarse, entre otros. A partir del análisis realizado, se generó un mapa conceptual que busca organizar todos los aportes realizados por diferentes autores de referencia en el área. Se distinguen 4 categorías de interés: la relación entre los objetos físicos y el entorno (Ullmer y Ishii, 2001; Shaer y cols., 2004), las relaciones entre objetos físicos e información digital (Shaer y cols., 2004; Ullmer y Ishii, 2001; Van Den Hoven y Eggen, 2004; Koleva y cols., 2003), las conceptualización de la entrada y la salida (Fishkin, 2004), y los tipos de objetos físicos de acuerdo a su metáfora en el entorno digital (Underkoffler y Ishii, 1999; Holmquist y cols., 1999; Van Den Hoven y Eggen, 2004; Antle, 2007). Respecto al diseño de

aplicaciones basadas en IT, 7 de los marcos estudiados ofrece guías, heurísticas y/o buenas prácticas de diseño. Tal es el caso de (Dourish, 2001; Hornecker y Buur, 2006; Sharlin y cols., 2004; Jacob y cols., 2008; Rogers, Scaife, Harris, y cols., 2002; Benford y cols., 2005; Wensveen y cols., 2004). Algunos de ellos han considerado la relación acción/efecto, y han resultado de interés para la creación de la herramienta de autor propuesta en esta tesis. Se puso especial énfasis en la revisión de trabajos enfocados en aplicaciones basadas en IT para el área educativa, de acuerdo a las preguntas de investigación P6, p7, P8 y P9. Se analizaron y categorizaron 6 marcos que aportan fundamentos y guías de diseño para la integración de la IT en experiencias educativas.

Las 63 experiencias educativas basadas en IT sobre *tabletops* estudiadas han demostrado éxito al alcanzar los objetivos planteados por los investigadores de cada una. Una de las conclusiones a las que se arribó, es que las aplicaciones abarcan dominios muy diversos como la Biología, la Química, la Programación, las Matemáticas, la Terapia ocupacional, las Artes, etc. Entre los resultados reportados por los autores de estos trabajos se manifiesta que han favorecido múltiples aspectos tales como la colaboración, la motivación, entre otros. Cada uno de estos aspectos fue fomentado a través de distintas actividades que fueron diseñadas en función de las metas planteadas (por ejemplo, el uso de objetos físicos específicos para fomentar la colaboración). Un aspecto a destacar es que el diseño y el desarrollo de estas experiencias, en muchos casos, involucraron la participación de los expertos en dominios específicos y a los usuarios finales, llevando adelante estrategias de diseño participativo. Esta situación ha llevado a investigar un conjunto de trabajos y proyectos en los que se proponen herramientas para la creación de aplicaciones IT, orientadas a usuarios sin conocimientos en programación (expertos en el dominio de la aplicación).

Las herramientas de autor analizadas permitieron conocer su disponibilidad, tecnología subyacente, modo en el que permite la tarea de creación, y los aspectos de personalización que posibilita. Las principales vacancias observadas se relacionan con la posibilidad de crear proyectos que incluyan una secuencia de actividades, y exportar dichos proyectos siguiendo estándares para poder encontrarlos y compartirlos con la comunidad.

A partir de los resultados del análisis de las herramientas de autor se realizó el aporte central de esta tesis que consiste en una herramienta de autor EDIT, que posibilita crear actividades educativas basadas en IT, secuenciadas según las necesidades del docente e integradas en un proyecto. EDIT fundamenta su diseño en varios de los marcos revisados y en modelos de herramientas de autor orientadas a la creación de materiales educativos. Para evaluar EDIT se consideró la aceptación de esta herramienta tecnológica por parte de los docentes como un indicador de su intención de uso. Al mismo tiempo, se analizaron las opiniones, percepciones y reflexiones de los docentes en relación a la IT en el campo educativo.

Los resultados permitieron afirmar que los docentes intervinientes, se mostraron interesados y motivados por las posibilidades de la IT en sus contextos educativos. Además, como resultados de las sesiones del estudio de caso, los docentes muestran un alto nivel de aceptación de EDIT. Una conclusión de interés a la que se arriba es que los participantes requirieron de la visualización de ejemplos para poder imaginar sus propias actividades educativas con IT. Se encontró una tendencia a creer que las aplicaciones basadas en IT favorecen situaciones de aprendizaje con niños, y/o en el ámbito de educación especial y no tanto con adolescentes o adultos. En general, luego de conocer aplicaciones basadas en IT para adolescentes o adultos, se notó un cambio en la opinión de los docentes manifestando la necesidad de contar con ejemplos. Los docentes finalmente indicaron creer que esta tecnología puede aportar en escenarios educativos de nivel primario y secundario. Resulta una necesidad así, establecer un espacio donde los docentes puedan compartir aplicaciones IT creadas y al cual puedan acceder, tanto para reusar aplicaciones, pudiendo adaptarlas a sus contextos, como para encontrar inspiración para crear sus propias aplicaciones IT. Además, entre los resultados obtenidos se puede mencionar que los docentes perciben a la IT como interesante, motivadora, y como un nuevo desafío en el diseño de actividades para sus ámbitos educativos. Otro aspecto que fue considerado por los docentes en el desarrollo de este tipo de actividades educativas fue la importancia de contemplar la dinámica de las actividades con IT cuando se trabaja con grupos numerosos. Para profundizar el estudio acerca de la opinión y percepción de la IT por parte de docentes, se realizó una encuesta a 12 docentes que participaron de un curso sobre interfaces de RA, RV e IT. Estos datos enriquecieron los resultados previos respecto al interés y motivación por las posibilidades de la IT en los contextos educativos.

Finalmente se pudo concluir que todos los docentes valoraron a EDIT como un puente para el acercamiento de la IT a las aulas.

De esta manera, se considera que esta tesis ha logrado abordar el total de las preguntas de investigación planteadas al inicio de este recorrido y constituye un aporte al área de Interacción Tangible, en particular aplicada en el ámbito de la educación.

LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

Se planea evolucionar hacia la siguiente versión de EDIT incorporando nuevas plantillas que habiliten la creación de otros tipos de actividades basadas en IT. También se planea atender a las propuestas realizadas por los docentes participantes de las sesiones del estudio de caso, tales como incorporar más guías y ayudas, y generar algunas alertas adicionales en la plantilla de asociación, entre otras.

Un aspecto central es la creación de un entorno o comunidad donde los docentes puedan compartir las aplicaciones IT, para fomentar la divulgación de esta tecnología. Al mismo tiempo, dejar disponible EDIT y su código fuente para socializar este proyecto y continuar con el objetivo de acercar la IT a los contextos educativos. En este sentido, cabe resaltar que la necesidad de contar con una tabletop se vuelve un aspecto de limitación en algunos casos, aunque en otros se ha visto predisposición y entusiasmo por construir una para la institución educativa.

Una línea que se deja abierta para su profundización es la de integrar como parte de la herramienta EDIT diferentes niveles de usuarios y posibilitar para aquellos más expertos el diseño del comportamiento de objetos activos.

Finalmente, se propone avanzar en las tareas de difusión de la IT para Educación, a través de talleres y espacios de divulgación.

En relación a los aspectos teóricos, se abre la puerta para trabajar en la profundización de los marcos de diseño de aplicaciones IT, especialmente, relacionados con el ámbito educativo. Además, de considerarlos en el desarrollo de nuevas aplicaciones.

Se espera así que esta tesis pueda ser continuada y profundizada por otros investigadores y sea un aporte para la comunidad.

BIBLIOGRAFÍA

Antle, A. N. (2007). Designing tangibles for children: What designers need to know. En *Chi '07 extended abstracts on human factors in computing systems* (pp. 2243–2248). New York, NY, USA: ACM. Descargado de <http://doi.acm.org/10.1145/1240866.1240988> doi: 10.1145/1240866.1240988

Antle, A. N., Droumeva, M., y Corness, G. (2008). Playing with the sound maker: do embodied metaphors help children learn? En *Proceedings of the 7th international conference on interaction design and children* (pp. 178–185).

Antle, A. N., y Wise, A. F. (2013). Getting down to details: Using theories of cognition and learning to inform tangible user interface design. *Interacting with Computers*, 25(1), 1–20.

Artola, V., Sanz, C., Baldassarri, S., Zangara, A., Guisen, A., y Martorelli, S. (2016). Capítulo v. interacción tangible. aplicaciones en el escenario educativo. el caso de itcol. En H. G. S. Catalina, S. C. Verónica, C. G. Cornelio, y N. Marcelo (Eds.), *Aplicación de la tecnología en el aprendizaje. casos de argentina y méxico* (p. 175–208). Guadalajara. México: Universidad de Guadalajara.

Bakker, S., Antle, A. N., y Van Den Hoven, E. (2012). Embodied metaphors in tangible interaction design. *Personal and Ubiquitous Computing*, 16(4), 433–449.

Benford, S., Schnädelbach, H., Koleva, B., Anastasi, R., Greenhalgh, C., Rodden, T., ... others (2005). Expected, sensed, and desired: A framework for designing sensing-based interaction. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 12(1), 3–30.

Diego-Mendoza, J., Márquez-Domínguez, J. A., y Sabino-Moxo, B. A. (2014). Desarrollo de una interfaz natural de usuario para rehabilitación motriz. *Revista Salud y Administración*, 1(3), 3–15.

Dillenbourg, P. (2016). The evolution of research on digital education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(2), 544–560.

Dourish, P. (2001). *Where the action is: Where the action is: The foundations of embodied interaction*. MIT Press.

Fitzmaurice, G. W., Ishii, H., & Buxton, W. A. (1995, May). Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 442–449).

- Fishkin, K. P. (2004, septiembre). A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal Ubiquitous Comput.*, 8(5), 347–358. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-004-0297-4> doi: 10.1007/s00779-004-0297-4
- Holmquist, L. E., Redström, J., y Ljungstrand, P. (1999). Token-based access to digital information. En *Proceedings of the 1st international symposium on handheld and ubiquitous computing* (pp. 234–245). London, UK, UK: Springer-Verlag. Descargado de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=647985.743869>
- Hornecker, E. (2002). Understanding the benefits of graspable interfaces for cooperative use. En *Coop* (pp. 71–87).
- Hornecker, E., y Buur, J. (2006). Getting a grip on tangible interaction: A framework on physical space and social interaction. En *Proceedings of the sigchi conference on human factors in computing systems* (pp. 437–446). New York, NY, USA: ACM. Descargado de <http://doi.acm.org/10.1145/1124772.1124838> doi:10.1145/1124772.1124838
- Ishii, H., y Ullmer, B. (1997). Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms. En *Proceedings of the acm sigchi conference on human factors in computing systems* (pp. 234–241). New York, NY, USA: ACM. Descargado de <http://doi.acm.org/10.1145/258549.258715> doi:10.1145/258549.258715
- Jacob, R. J., Girouard, A., Hirshfield, L. M., Horn, M. S., Shaer, O., Solovey, E. T., y Zigelbaum, J. (2008). Reality-based interaction: A framework for post-wimp interfaces. En *Proceedings of the sigchi conference on human factors in computing systems* (pp. 201–210). New York, NY, USA: ACM. Descargado de <http://doi.acm.org/10.1145/1357054.1357089> doi: 10.1145/1357054.1357089
- Koleva, B., Benford, S., Hui Ng, K., y Rodden, T. (2003, 09). A framework for tangible user interfaces. En *Proceedings of physical interaction (pi03) - workshop on real world user interfaces*.
- Manches, A., O'Malley, C., y Benford, S. (2010). The role of physical representations in solving number problems: A comparison of young children's use of physical and virtual materials. *Computers & Education*, 54(3), 622–640.
- Martinez-Maldonado, R., Dimitriadis, Y., Clayphan, A., Muñoz-Cristóbal, J. A., Prieto, L. P., Rodríguez-Triana, M. J., y Kay, J. (2013). Integrating orchestration of ubiquitous and pervasive learning environments. En *Proceedings of the 25th Australian computer-human interaction conference: Augmentation, application, innovation, collaboration* (pp. 189–192).
- Marshall, P., Price, S., y Rogers, Y. (2003). Conceptualising tangibles to support learning. En *Proceedings of the 2003 conference on interaction design and children* (pp. 101–109). New York, NY, USA: ACM. Descargado de <http://doi.acm.org/10.1145/953536.953551> doi: 10.1145/953536.953551
- Marshall, P. (2007). Do tangible interfaces enhance learning? En *Proceedings of the 1st international conference on tangible and embedded interaction* (pp. 163–170). New York, NY, USA: ACM. Descargado de <http://doi.acm.org/10.1145/1347390.1347425> doi:10.1145/1347390.1347425
- Price, S. (2008). A representation approach to conceptualizing tangible learning environments. En *Proceedings of the 2nd international conference on tangible and embedded interaction* (pp. 151–158). New York, NY, USA: ACM. Descargado de <http://doi.acm.org/10.1145/1347390.1347425> doi:10.1145/1347390.1347425
- Price, S., Rogers, Y., Scaife, M., Stanton, D., y Neale, H. (2003). Using 'tangibles' to promote novel forms of playful learning. *Interacting with computers*, 15(2), 169–185.
- Rogers, Y., Scaife, M., Gabrielli, S., Smith, H., y Harris, E. (2002). A conceptual framework for mixed reality environments: designing novel learning activities for young children. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 11(6), 677–686.
- Sanz, C., Artola, V., Guisen, A., Javier, M., Eva, C., y Sandra, B. (2017). Shortages and challenges in augmentative communication through tangible interaction using a user-centered design and assessment process. *J. UCS*, 23(10), 992–1016.
- Shaer, O., Leland, N., Calvillo-Gamez, E. H., & Jacob, R. J. (2004). The TAC paradigm: specifying tangible user interfaces. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(5), 359–369.

Sharlin, E., Watson, B., Kitamura, Y., Kishino, F., y Itoh, Y. (2004). On tangible user interfaces, humans and spatiality. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(5), 338–346.

Teo, T. (2009). Modelling technology acceptance in education: A study of pre-service teachers. *Computers & Education*, 52(2), 302–312.

Tetteroo, D., Soute, I., y Markopoulos, P. (2013). Five key challenges in end-user development for tangible and embodied interaction. En *Proceedings of the 15th acm on international conference on multimodal interaction* (pp. 247–254). New York, NY, USA: ACM. Descarga- [dodehttp://doi.acm.org/10.1145/2522848.2522887](http://doi.acm.org/10.1145/2522848.2522887) doi:10.1145/2522848.2522887

Ullmer, B., y Ishii, H. (2001, 01). Emerging frameworks for tangible user interfaces. En *Human-computer interaction in the new millenium* (p. 579 - 601).

Underkoffler, J., y Ishii, H. (1999). Urp: A luminous-tangible workbench for urban planning and design. En *Proceedings of the sigchi conference on human factors in computing systems* (pp. 386–393). New York, NY, USA: ACM. Descargado de <http://doi.acm.org/10.1145/302979.303114> doi:10.1145/302979.303114

Van Den Hoven, E., y Eggen, B. (2004). Tangible computing in everyday life: Extending current frameworks for tangible user interfaces with personal objects. En *European symposium on ambient intelligence* (pp. 230–242).

Weiser, M. (1999, jul). The computer for the 21st century. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 3(3), 3–11. Descargado de <http://doi.acm.org/10.1145/329124.329126> doi: 10.1145/329124.329126

Wensveen, S. A., Djajadiningrat, J. P., y Overbeeke, C. (2004). Interaction frogger: a design framework to couple action and function through feedback and feedforward. En *Proceedings of the 5th conference on designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques* (pp. 177–184).

Zuckerman, O., Arida, S., y Resnick, M. (2005). Extending tangible interfaces for education: Digital montessori-inspired manipulatives. En *Proceedings of the sigchi conference on human factors in computing systems* (pp. 859–868). New York, NY, USA: ACM. Descargado de <http://doi.acm.org/10.1145/1054972.1055093> doi:10.1145/1054972.1055093