

Modelo para el desarrollo y evaluación de la usabilidad en sistemas de interacción tangible desde la perspectiva del diseño centrado en el usuario

Model for the development and evaluation of usability in systems of tangible interaction from the perspective of a user focused design

ISSN 2071-8748

E-ISSN 2218-3345



BY NC SA

URI: <http://hdl.handle.net/11298/973>

DOI: <https://doi.org/10.5377/entorno.v0i67.7488>

Ing. Ana Bely Escalante-Caicedo
Magister en Ingeniería de la Universidad Autónoma de Occidente de Cali – Valle.
Coordinadora académica de la tecnología en informática
y docente investigador de Uniminuto, Colombia.
anabelyescalante@gmail.com
ana.escalante.c@uniminuto.edu
Orcid: 0000-0002-1112-8064

Recibido: 21 de agosto 2018

Aprobado: 20 de enero 2019

Resumen

La interacción tangible permite estudiar los productos o interfaces de usuario que tienen la capacidad de facilitar a las personas una mejor interacción entre los objetos físicos y la información digital en tiempo real, en un contexto de aplicación determinado, eliminando así la distinción entre los dispositivos de entrada y salida. Por ello, se conoce como una forma de interacción humano-computadora donde lo digital se integra con el mundo físico para generar una interacción más agradable, intuitiva e interactiva al usuario. Esta se ha permeado en las diferentes áreas del conocimiento como educación, entretenimiento, programación, comunicación, expresión artística y el entorno empresarial obtener mejores experiencias a nivel de usuario desde el trabajo colaborativo. El proyecto asumió el reto de investigar sobre las bases en fundamentos teóricos de los modelos de diseño de interacciones

Abstract

Tangible interaction enables the study of products or user interfaces which have the ability to facilitate better interaction between physical objects and digital information in real time, in a given implementation context, eliminating the distinction between input and output devices. Therefore, it is known as a form of human-computer interaction where the digital world integrates with the physical world to generate a more intuitive and interactive communication with the user, which has permeated the different areas of knowledge such as education, entertainment, programming, communication, artistic expression and the business environment in order to have better experiences at user level from collaborative work. The project took on the challenge of researching on the theoretical basis of existing tangible interaction design models and areas

tangibles existentes y áreas de aplicación, de donde se tomaron las actividades comunes y se enmarcaron en las etapas del ciclo de vida de un sistema de *software* y las etapas de los modelos del DCU. Como resultado, se creó una propuesta de un modelo para el desarrollo y la evaluación de la usabilidad en sistemas de interacción tangible desde la perspectiva del diseño centrado en el usuario; sugiere la manera de construir un producto a partir de la orquestación de los componentes de IT en cinco etapas (planeación, análisis, diseño, construcción y pruebas) de forma interactiva e incremental centrados en el usuario. En cada etapa se recomienda una serie de actividades que se han de realizar, fáciles de articular en los procesos de desarrollo.

Palabras clave

Interacción tangible, diseño centrado en el usuario, usabilidad, interacción hombre-máquina.

of application, where common activities were framed into the life cycle stages of a software system and the stages of the UCD models. As a result, a proposal was created for a model for the development and evaluation of usability in systems of tangible interaction from the perspective of the user centered design, which suggests how to build a product besides the orchestration of IT components in five stages (planning, analysis, design, construction and testing) interactively and incrementally focused on the user. In each stage, a series of activities have been proposed, which are easy to articulate in the development process.

Keywords

Tangible interaction, user centered design, usability, man-machine interaction.

Introducción

Esta propuesta parte de los diferentes avances tecnológicos y de la expansión de las interfaces tangibles de usuario, que se pueden utilizar en los campos de la educación, arte, medicina, publicidad, entre otros, con un enfoque interdisciplinar que hasta la fecha ha permitido integrar tecnología y espacios lúdicos, permitiendo al usuario una exploración más natural e intuitiva en diferentes contextos de aplicación. Este artículo presenta una propuesta de investigación que permita plantear un modelo que oriente el desarrollo y facilite la evaluación de la *usabilidad* en sistemas de interacción tangible (SIT) desde la perspectiva del diseño centrado en el usuario (DCU).

Para la creación de los SIT, los investigadores han desarrollado taxonomías o marcos de interacción tangible (IT) con el objetivo de proporcionar a los desarrolladores herramientas de exploración, análisis y diseño que faciliten la construcción de las interfaces tangibles de usuario (TUI), donde se vinculen los diseñadores de interacción con el desarrollo de productos a partir de la experiencia del usuario. A pesar de estos esfuerzos de integración, se ha detectado, mediante la revisión de algunos modelos existentes, que aún carecen de una

estructura bien definida basada en el ciclo de vida del desarrollo de un sistema; no cuentan con la integración de los métodos de pruebas desde el DCU, y aún persisten problemas conceptuales, metodológicos y técnicos a la hora de asignar el comportamiento del sistema y los contextos de uso a nuevos prototipos de IT (Wagner & Psik, 2006).

Al realizar una revisión detallada de los modelos de IT seleccionados como objeto de estudio, se identificaron algunas limitaciones de los SIT que se deben tener presentes en el diseño de las aplicaciones para dominios específicos (artes, música, educación, publicidad, entre otros), estas son las siguientes (Shaer & Hornecker, 2010):

La *escalabilidad* y el riesgo de perder objetos físicos, la versatilidad y la facilidad de uso y la fatiga del usuario.

Estas limitaciones se ven reflejadas en el equipo de trabajo, dado que deben invertir mayores recursos en el soporte y mantenimiento de los SIT; adicional a esto, en los usuarios se genera un efecto de insatisfacción y estrés en el proceso de interactuar de forma natural con los prototipos o SIT, ocasionado un efecto inesperado en el consumidor (Mazalek & Van, 2009).

Hasta la fecha, algunos desarrolladores de SIT han utilizado los métodos de estudios comparativos, empíricos de laboratorios, heurísticos y de observación cualitativa, similares a los de interacción hombre-máquina (HCI), para nutrir la ideación del proceso de diseño de las nuevas interfaces de IT. No obstante, persiste una brecha entre el diseño de la interfaz y los prototipos creados, lo que se ve reflejado en el usuario al momento de realizar la experiencia. Esta situación, ha impulsado a diversos investigadores a continuar sus estudios en nuevas alternativas para evaluar el diseño de las TUI (Doring, Styvester, & Schimidt, 2012).

También se han realizado estudios de usabilidad orientados a evaluar los gestos requeridos para manipular las interfaces multitáctiles desde la perspectiva de HCI. Al respecto, Nielsen Norman Group resalta que los estándares de interacción han sido eliminados, ignorados y violados, lo que trae como resultado un desastre de usabilidad en las interfaces tangibles (Brygg, 2006).

Se hace evidente que, a pesar de los avances en los marcos de diseño y usabilidad de las TUI, aún no se han explorado todos los campos de acción y que se carece de modelos específicos que permitan evaluar la usabilidad de este tipo de sistemas, así como de prácticas que faciliten orientar su desarrollo (Mazalek & Van, 2009). Esto dio lugar a la construcción del modelo para orientar el desarrollo y la evaluación de la usabilidad en SIT desde la perspectiva del DCU, con la finalidad de dar respuesta a la pregunta de investigación: ¿Cómo orientar el desarrollo y evaluar la usabilidad en SIT, a partir de los principios de la disciplina de HCI y del diseño centrado en el usuario?

En los últimos años, tanto empresarios como investigadores han buscado nuevas formas de innovar en productos y servicios con la incorporación de tecnología para mediar procesos de interacción entre usuarios y sistemas, generando un abanico de posibilidades tras la incursión de sistemas interactivos no tradicionales y que permiten su abordaje de una forma natural para el usuario, como el caso de los SIT que exploran el espacio conceptual abierto por la eliminación de la distinción de los dispositivos de entrada y salida, buscando así mejorar la experiencia de usuario mediante la generación de una interacción amigable en tiempo real.

Sin embargo, aún es deficiente la incorporación de prácticas adecuadas en el desarrollo de este tipo de sistemas, así

como de procesos formales de evaluación de la calidad de uso, percibidos en los productos digitales que se desarrollan; y no son usados de forma eficiente, eficaz, segura y satisfactoria, generando mayores costos de mantenimiento para las compañías fabricantes.

Con el desarrollo de un modelo que permita orientar el desarrollo y la evaluación de usabilidad en SIT desde una perspectiva del DCU, se busca que incorpore las etapas del ciclo de vida de un sistema tradicional y que sea consistente con el DCU, para así facilitar los procesos de construcción de SIT y mejorar los procesos de interacción por medio de la generación de una experiencia de forma más natural e intuitiva para el usuario a partir de la usabilidad, ergonomía, accesibilidad, inmediatez, simplicidad y coherente mediación entre el usuario, los objetos físicos y la información digital de forma dinámica. Al contar con este modelo, los fabricantes de productos y servicios digitales e interactivos podrían mejorar la comunicación con sus clientes, obteniendo ventajas como incrementar la captación de la atención del público objeto, impacto favorable en el proceso de decisión de compra, disminución de costos en campañas publicitarias, usuarios satisfechos y fieles, así como disminución en los costos asociados con el mantenimiento y mejoramiento de productos tras detectar fallos o errores desde el punto de vista de la usabilidad. De igual manera, desde la academia, permite abordar temáticas de investigación que van en coherencia con tendencias presentadas en innumerables estudios de prospectiva y vigilancia tecnológica, convirtiéndose en una oportunidad para el desarrollo de una línea de investigación a escala regional y nacional.

Otro de los beneficios que se presenta en el desarrollo de este proyecto de investigación es la posibilidad de iniciar un proceso de reflexión que permita transferir las buenas prácticas del HCI y del DCU, tanto a nivel de formación en cursos de pregrado y postgrado como en el sector industrial de la región, que empieza a reconocer la importancia del adecuado desarrollo de interfaces de interacción en sus productos desde la perspectiva de la usabilidad y la experiencia de usuario.

Método

Para el presente proyecto, se utilizaron los métodos cualitativo y cuantitativo bajo los parámetros de una metodología mixta con la finalidad de poder realizar un

análisis de los insumos recolectados de los modelos de diseño de IT, DCU, desarrollo de *software* y metodología RUP para lograr parametrizar las actividades en las etapas de construcción de un prototipo o producto de IT conformado por componentes de *software* y *hardware*.

Resultados

Como resultado de la revisión de las propuestas de Rehman (20017), Domingo (2010) y Toni Granollers (2011), de los modelos del DCU, se identificaron las fases de análisis, diseño, prototipo y evaluación que sirven de guía a los

equipos de desarrollo durante el proceso de implementación de un determinado sistema interactivo centrado en el usuario. Cada fase se encuentra conformada por una secuencia de actividades que se deben realizar de formas interactiva e incremental fáciles de usar y aplicar a la hora de crear aplicaciones usables, accesibles acordes con las necesidades del usuario, además se pueden incorporar en nuevas propuestas de modelos de desarrollo de *software* o SIT. A continuación, en la tabla 1, se encuentran las fases comunes de los modelos de DCU analizados con sus actividades asociadas.

Tabla 1. Fases y actividades comunes de los modelos DCU

Actividad	Análisis	Diseño	Prototipo y evaluación
Observación de campo y contexto	X		
Entrevista en profundidad (<i>focus groups</i>)	X		
Encuestas o cuestionarios	X		
Perfil de usuario		X	
Escenarios de usuarios: casos de uso UML, creación de bocetos, <i>storyboards</i>		X	
Estilos de metáfora y colores		X	
Prototipos de papel		X	
<i>Card Sorting</i>		X	
Diseño detallado		X	
Prototipo de <i>software</i>			X
Test usuario y evaluación de heurística			X
Recorrido cognitivo y de usabilidad			X

Fuente: elaboración propia.

Al realizar la revisión de los marcos o modelos de IT expuestos, se identificó que la mayoría de estos autores toman como punto de referencia el modelo MCRpd (Ullmer, B., & Ishii, H., 2000) a la hora de definir la estructura de sus propuestas, lo que permitió identificar los componentes comunes entre ellos y complementarios. Asimismo, varios de los autores recomiendan usar los modelos propuestos como una herramienta de apoyo en el proceso de análisis y diseño en la construcción de un SIT (ver tabla 2).

Tabla 2. Componentes comunes y complementarios de la estructura de los modelos de IT

Estructura	Ulmer e Ishii	Hornecker y Buur	Kenneth y Fishkin	Marc y Michael	Renée y Norma	Couture	Elisa Van	Alissa N. Antle	Emmanuel Dubois	Eva Cerazo	Laura Cortés
Vista (mundo físico-digital)	X		X	X		X	X	X	X	X	X
Control	X	X				X	X	X			
Análisis de experiencia, metáfora y personificación		X				X		X			
Diseño de experiencia		X						X			
Cognitiva de la persona	X	X		X	X		X	X	X		X
Investigación de la acción-ideación-social					X		X				X

Fuente: elaboración propia.

No obstante, los modelos seleccionados como objeto de estudio en este proyecto carecen de una estructura basada en el ciclo de vida del desarrollo de un sistema (análisis, diseño, implementación y pruebas) que les facilite realizar la integración de los componentes del mundo físico y digital (*software*, *hardware*, objetos físicos) y usuario de los SIT de forma sencilla, interactiva e incremental. Al realizar la revisión de las propuestas de los modelos de IT, permitió extraer la secuencia de pasos o actividades frecuentes que los autores recomiendan seguir como consideraciones específicas a la hora de construir los SIT (ver tabla 3).

Tabla 3. Actividades frecuentes de los modelos de IT antes revisados

Secuencia de pasos o actividades	Ulmer e Ishii	Hornecker y Buur	Kenneth y Fishkin	Marc y Michael	Renée y Norma	Couture	Elisa Van	Alissa N. Antle	Emmanuel Dubois	Eva Cerazo	Laura Cortés
Identificar las propiedades de la IT								X	X		
Identificar la necesidad del usuario	X	X			X	X	X	X	X	X	
Idear el concepto y la definición del problema							X			X	X
Definición de requerimientos		X			X						
Selección componentes físicos, digitales, actor, objetos tangibles	X	X	X	X	X		X		X		X
Definir contexto físico, cognitivo, virtual y entorno social		X	X	X							
Experiencia de usuario		X				X			X	X	X
Creación de bocetos	X						X	X		X	
Diseño de superficie interactiva y sistema	X	X		X							
Diseño del ciclo de interacción	X	X		X	X	X			X	X	X
Asignación de comportamiento								X		X	

Diseño y construcción de la manipulación táctil de los objetos		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Establecer conexión entre los objetos físicos y el mundo virtual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Creación de prototipos en papel	X	X		X	X		X	X		X	
Creación del prototipo del sistema	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Simulación del prototipo		X			X	X			X		
Evaluación y pruebas del prototipo		X					X	X		X	X
Construir el prototipo en un producto funcional								X		X	
Manejo de errores y retroalimentación			X					X		X	X

Fuente: elaboración propia.

Lo anteriormente expuesto, permitió enmarcar las actividades específicas de los modelos de IT en las fases de análisis, diseño, implementación y pruebas del ciclo de vida tradicional de desarrollo de sistemas a partir de los componentes de los SIT, donde la mayoría de las actividades recomendadas por los autores se agrupan en las fases de análisis y diseño, dejando así de lado los demás procesos que se incorporan en el ciclo de vida de desarrollo de un sistema interactivo de IT. Esto, hace evidente que las propuestas revisadas carecen de un modelo estructurado en etapas de desarrollo que integre, de forma iterativa e incremental, la secuencia de pasos necesarios para la creación de prototipos y aplicaciones de IT centradas en el usuario final, que incorporen las buenas prácticas de ingeniería de *software* y los principios de DCU.

Modelo propuesto

A partir de la revisión documental y bibliográfica de los marcos de diseño de interacción tangible, los fundamentos teóricos de DCU y modelos de desarrollo de *software* se identificó en los marcos existentes de interacción tangible –IT la carencia de la integración de las etapas de los modelos de desarrollo de sistemas, actividades y técnicas del DCU, dicha integración facilita y agiliza los procesos de construcción de prototipos y productos en el campo de interacción tangible.

Por ello, con la propuesta del modelo para el desarrollo y evaluación de la usabilidad de sistemas de interacción tangible, desde la perspectiva del diseño centrado en el usuario, se busca de forma integral agrupar las actividades y tareas que se deben seguir en el momento de la construcción de un SIT en cinco etapas: planeación, análisis, diseño, construcción y pruebas de forma iterativa e incremental, donde se integran aspectos relacionados con las particularidades de los marcos de interacción tangible, los métodos del proceso de DCU y las etapas comunes del ciclo de vida de los MDS.

Por lo expuesto, se permitió enmarcar la propuesta del modelo en un ciclo de vida clásico de ingeniería de *software* donde se orquestan los componentes y las actividades de análisis y diseño comunes de los marcos de interacción tangible revisados. Estos marcos se encuentran clasificados en las tablas 2 y 3, en donde el proceso del modelo de DCU que se visualiza en la ilustración 1, se reitera, lo cual me permite proponer un modelo para el desarrollo y la evaluación de la usabilidad de sistemas de interacción tangible desde la perspectiva del DCU, que sea fácil de usar por los expertos y desarrolladores de aplicaciones de IT.

Ilustración 1. Integración de actividades comunes de DCU y modelos IT en el ciclo de vida MDS

Análisis	Diseño	construcción	pruebas
Identificar la necesidad del usuario:	Perfil de usuario	Prototipo de software	Test usuario
Observación de campo y contexto	Escenarios de usuarios:	Construir el prototipo en un producto funcional	Evaluación de Heurística
Entrevista de profundidad (focus groups)	Casos de uso UML	Establecer conexión entre los objetos físicos y el mundo virtual.	Recorrido Cognitivo
Encuestas o cuestionarios	Creación de bocetos	Manejo de errores	Recorrido de usabilidad
Identificar las propiedades de la IT	Storyboards		
Idear el concepto	Estilos de metáfora y colores		
Definición del problema	Prototipos de papel		
Organizar el equipo de desarrollo	Experiencia de usuario		
Asignación de roles al equipo de desarrollo	Diseño de superficie interactiva y sistema		
Definición de requerimientos	Diseño del ciclo de interacción		
Selección componentes físicos, digitales, actor	Asignación de comportamiento		
Entorno social	Diseño y construcción de la manipulación fácil de los objetos		
Definir contexto físico, cognitivo, y virtual	Prototipo del sistema		
Análisis de avances	Simulación del prototipo		
	Retroalimentación		

Etapas comunes del ciclo de vida de los MDS

Actividades comunes de los modelos DCU

actividades comunes de los modelos de diseño de IT

Fuente: elaboración propia.

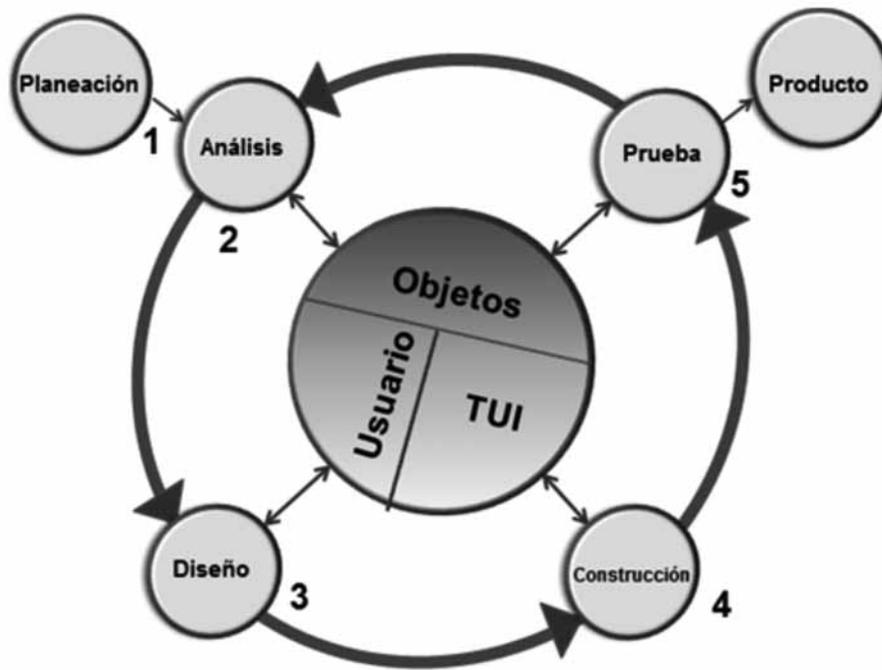
Para la creación del modelo enfocado en el desarrollo y evaluación de la usabilidad de sistemas de interacción tangible, desde la perspectiva del diseño centrado en el usuario, se realizó una integración de las actividades de análisis y diseño recopiladas en la revisión de los marcos de interacción tangible con las actividades del modelo de DCU en las etapas propuestas seleccionadas del ciclo de vida de los MDS de forma iterativa e incremental con retroalimentación continua.

Asimismo, las actividades y etapas expuestas anteriormente se incorporarán en el modelo propuesto desde los tres pilares: usuario, mundo físico (objetos físicos), mundo digital (TUI), para generar un modelo de desarrollo de SIT que permita involucrar de forma transversal al usuario final desde la etapa inicial hasta la finalización del prototipo, que

sea fácil de comprender, entender, usar y adaptarse en la construcción de aplicaciones de IT. De acuerdo con el área de estudio y la naturaleza de la propuesta, se presenta el modelo para el desarrollo y evaluación de la usabilidad de sistemas de interacción tangible desde la perspectiva del DCU, como una herramienta que apoye el diseño y construcción de este tipo de aplicaciones.

El modelo propuesto se estructuró en cinco etapas: planeación, análisis, diseño, construcción y pruebas de forma iterativa e incremental subyacentes a los tres pilares de la IT (mundo físico, mundo digital y usuario), incorporando el ciclo de vida genérico de los MDS con las actividades comunes de análisis y diseño de los modelos revisados de IT y las actividades comunes de los modelos del proceso de DCU, como se observa en la ilustración 2.

Ilustración 2. Modelo de desarrollo y evaluación de la usabilidad de los sistemas de interacción tangible desde la perspectiva del diseño centrado en el usuario



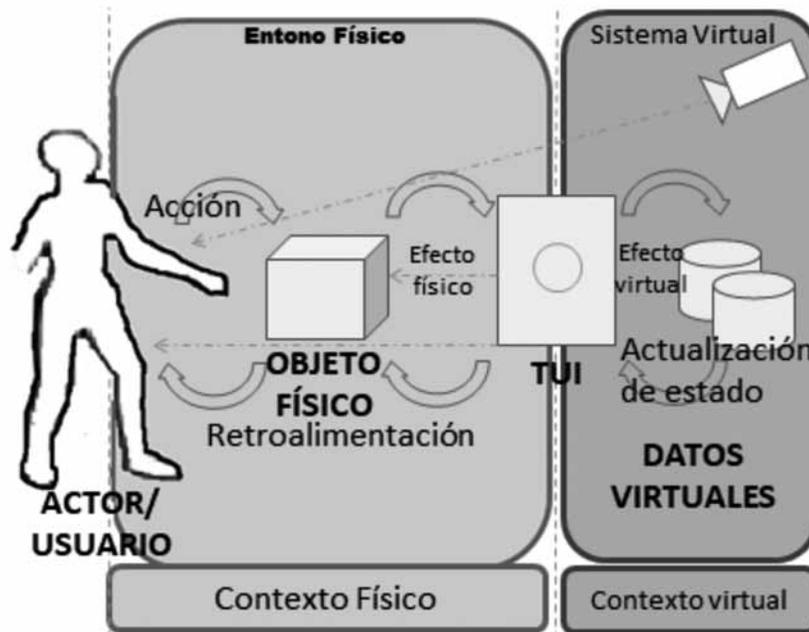
Fuente: elaboración propia.

Con el modelo propuesto, se busca minimizar las debilidades que se muestran a continuación, identificadas en los modelos revisados de IT:

- Ausencia de normalización de la estructura del proceso de construcción
- Ausencia de documentación de los procesos
- Insuficiente flexibilidad
- Deficiente articulación del proceso de DCU en las diferentes etapas de los marcos de IT

Esto permitió estructurar el modelo en una sola dimensión, donde se integran los fundamentos (usuario final, objetos tangibles, TUI) en un contexto físico y virtual, a partir de las actividades previamente identificadas donde se incorporan los aspectos básicos HCI, usabilidad y accesibilidad para facilitar así un mejoramiento continuo iterativo e incremental con una continua retroalimentación en el resultado de los procesos ejecutados en las diferentes etapas en el momento de construir los SIT, los que se integran en la ilustración 3.

Ilustración 3. Fundamentos del modelo



Fuente: elaboración propia.

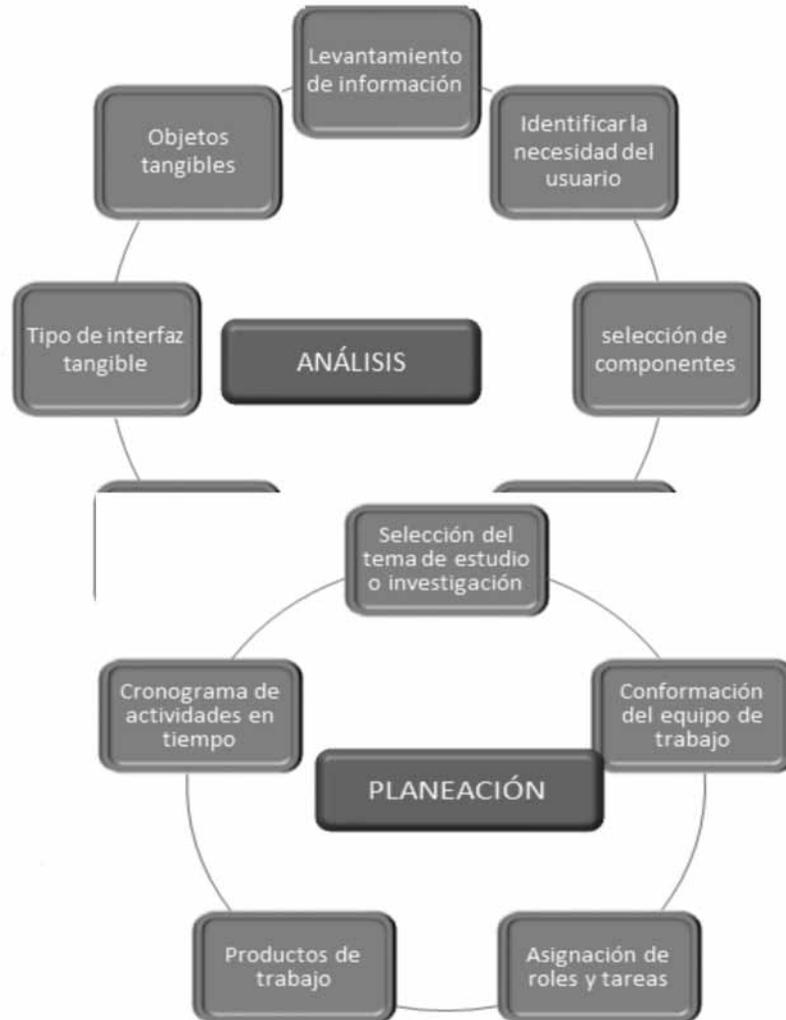
Las etapas del modelo, se estructuraron a partir de los tres pilares (usuario final, objetos tangibles, TUI) de IT, de la evaluación del proceso del DCU y de los modelos de desarrollo de *software*, donde se recomienda realizar actividades específicas fáciles de adaptar y articular a los procesos de desarrollo de forma progresiva, constructiva e interactiva con retroalimentación constante a partir de las características de cada prototipo acorde con las necesidades de los usuarios, el contexto físico y el contexto virtual.

A continuación, se hace una descripción general de las etapas del modelo propuesto, donde se presentan las

especificaciones y consideraciones que se deben tener presente en el momento de realizar la construcción de un SIT.

Planeación

En esta primera etapa, se busca seleccionar el tema de estudio o investigación de forma clara, el cual debe ser específico, medible y alcanzable; y establecer una serie de actividades de gestión que faciliten realizar la asignación de los recursos, productos de trabajo, entregables y estimación de tiempo en la ejecución de las tareas.

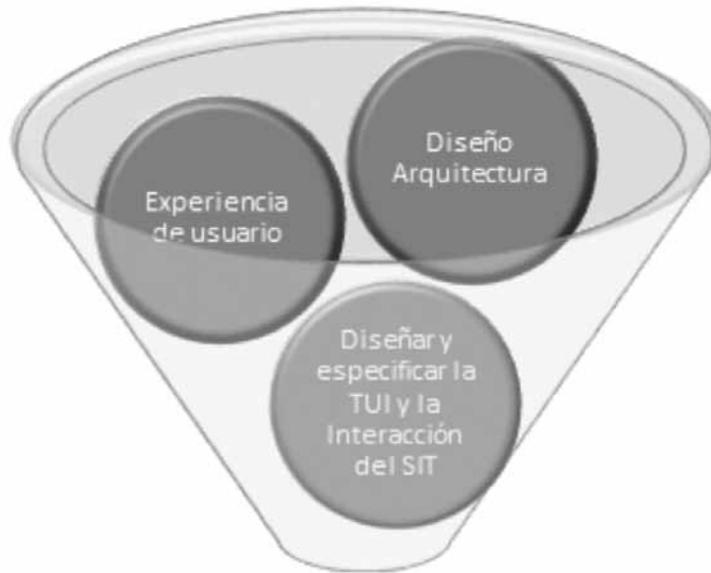


Fuente: elaboración propia.

Análisis

En esta etapa, se pretende realizar un levantamiento de información mediante la aplicación de las técnicas de investigación que permitan identificar las necesidades del usuario y cliente, para así plantear una propuesta de solución acorde con el contexto de uso y usuario del SIT. Esto permitirá definir los requisitos del sistema

de interacción tangible desde la orquestación de los tres pilares (usuario, objetivos tangibles e interfaz de usuario). Con estos insumos, el grupo interdisciplinario de desarrolladores podrá realizar una selección previa de los componentes digitales, físicos, del entorno y contexto de uso, para así tener una visión más clara del objetivo por alcanzar durante el desarrollo de la aplicación interactiva con un enfoque en el DCU.



Fuente: elaboración propia.

Diseño

En esta etapa, se busca esbozar, modelar, los artefactos y componentes de interfaz de usuario, objetos tangibles, interacción, tecnología, que se identificaron en la etapa anterior; necesarios para la implementación de las aplicaciones de los SIT, se evaluará con el usuario final mediante la realización de prototipos que enmarquen los tres pilares del modelo (usuario, objetivos tangibles e interfaz de usuario), para así poder identificar los componentes necesarios para la fase de construcción.

Construcción

En esta etapa se integran los componentes de *software*, *hardware* y objetos físicos tangibles a partir de la experiencia del usuario con la construcción de un prototipo funcional para obtener una aplicación que cumpla con las necesidades y objetivo que se planteó en las primeras etapas del modelo. Para el desarrollo del prototipo, el equipo interdisciplinario iniciará con la selección de tipo de interfaz multiusuario y de un *software* multiplataforma para la aplicación del reconocimiento de patrones fiduciales y detección de dedos, selección del paquete de fiduciales para los objetos tangibles, tipo de interacción, lenguaje para la implementación de los componentes, objetos tangibles y contenidos digitales que cumplan con el protocolo TUIO.



Fuente: elaboración propia.

Pruebas

Se pretende, en esta etapa, como objetivo, realizar las pruebas de usabilidad para la detección de errores y evaluar la funcionalidad del sistema a partir del usuario final, para así poder tener una retroalimentación continua con la finalidad de mejorar el sistema de interacción tangible antes de lanzar o poner en uso el producto. Las pruebas que se realizarán en el modelo propuesto, se encuentran divididas en diferentes tipos relacionados con la interfaz de usuario, con la interacción y con los requisitos funcionales de la aplicación centrada en el usuario final.



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El modelo propuesto se creó a partir de la orquestación de las etapas frecuentes del ciclo de vida de los MDS (Pressman, Bertalanffy) con las actividades comunes de los modelos de DCU (Granollers, Muriel) y de IT (Ishii; Hoven; Cerezo; Hornecker) en 5 etapas: planeación, análisis, diseño, construcción y pruebas (Bertalanffy), de forma iterativa e incremental subyacentes a los tres pilares de los SIT: OT, TUI, usuario (Ullmer & Ishii); con la finalidad de ser usado por los desarrolladores novatos o expertos de sistemas interactivos o de aplicaciones como una guía que facilite la asignación de las tareas al equipo de trabajo en la construcción de este tipo de sistemas de una forma transversal a diferentes áreas del conocimiento. La evaluación de la usabilidad en SIT se incluyó en el modelo propuesto a partir de la definición de requisitos de la facilidad de aprendizaje del usuario, el tiempo de respuesta del sistema al usuario al ejecutar una acción, y la disminución de la carga cognitiva, a partir de la identificación de las necesidades del usuario final.

El "modelo para el desarrollo y evaluación de la usabilidad en sistemas de interacción tangible desde la perspectiva del diseño centrado en el usuario" se evaluó mediante

la opinión de expertos en el área de IT: Yenny Méndez, Toni Granollers, Eva Cerezo y Javier Calderón Téllez. El modelo se probó por medio de la creación del prototipo Mateo Numerón, donde el equipo de trabajo pudo integrar fácilmente los componentes básicos de los SIT (Ullmer & Ishii), como son usuario, TUI (Ullmer & Ishii; Kaltelbrunner) y objetos tangibles (Ishii), a partir del DCU (Granollers, Muriel) con el contexto físico y digital mediante la utilización de los productos de trabajo de entrada y salida de las tareas definidas en cada etapa.

Referencias

- Alty, J., Knott, R., Anderson, B., & Smyth, M. (1997). Framework for engineering metaphor at the user interface. *Interacting with Computers*. 13(2), 301-322.
- Antle, A. N. (2007). *The CTI framework: informing the design of tangible systems for children. Learning through physical interaction*. Surrey, B.C., Canadá: Escuela de Artes y Tecnología Interactivas, Simon Fraser University.
- Antle, A. N. (2012). Exploring how children use their hands to think: an embodied interactional analysis. *Behaviour and Information Technology*. 32(9), 1-17.

- Antle, A. N., & 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.
- Antle, A. N., Motamedi, N., Tanenbaum, K., & Xie, Z. L. (2009). *The eventtable technique: distributed fiducial markers*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/221308545_The_EventTable_technique_distributed_fiducial_markers
- Berg, R., Boer, N., & Horst, M. (2009). Foundations of tangible interaction. *Module report*. 58.
- Boehm, B. W. (1998). A spiral model of software development and enhancement. *Journal Computer*. 21(5), 61-72.
- Brygg, U. (2006). Core tangibles and tangible visualizations: prospects for tangible convergence and divergence. Louisiana State University. 1-5.
- Brygg, U., Ishii, H., & Jacob, R. (2004). Token + constraint systems for tangible interaction with digital information. *Computer-Human Interaction, TOCHI*. 12(1), 81-118.
- Cerezo, E., Marco, J., & Baldassarri, S. (2015). Hybrid games: designing tangible interfaces for very young children and children with special needs. *Springer Science+Business Media Singapore*. 17-48.
- Couture, N. (2015). Interaction tangible, de l'incarnation physique des données vers l'interaction avec tout le corps. *HAL Archives Ouvertes*. 55.
- Couture, N., Rivière, G., & Reuter, P. (2010). Tangible interaction in mixed reality systems. *Springer-Verlag*. 1-21.
- Fishkin, K. P. (2004). A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal and Ubiquitous Computing*. 8, 347-358.
- Fishkin, K. P., Moran, T. P., & Harrison, B. L. (1999). Embodied user interfaces: towards invisible user interfaces. *Engineering for Human-Computer Interaction*. 22, 1-18.
- González Santiago, C. A. (2011). *Desarrollo de una interfaz tangible para el aprendizaje basado en juegos de forma natural e innata*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Gorbet, M. G., Orth, M., & Ishii, H. (1998). Triangles: tangible interface for manipulation and exploration of digital information topography. *Proceedings of CHI*. 1-8.
- Granollers, T. (2004). Mpiu+a. *Una metodología que integra la ingeniería del software, la interacción persona-ordenador y la accesibilidad en el contexto de equipos de desarrollo multidisciplinares*. (Tesis doctoral). Universitat de Lleida, Lérida, ESP.
- Granollers, T., Lorés Vidal, J., & Cañas Delgado, J. J. (2011). *Diseño de sistemas interactivos centrados en el usuario*. UOC.
- Hermann, M., & Weber, M. (2009). When three worlds collide: a model of the tangible interaction process. *CHISIG*. 341-344.
- Hermann, M., Mahler, T., de Melo, G., & Weber, M. (2007). The tangible reminder. *IET International Conference on Intelligent Environments*. 144-151.
- Horn, M., & Jacob, R. J. K. (2007). Tangible programming in the classroom with tern. *Human Factors in Computing Systems*. 1-5.
- Hornecker, E. (2004). *Tangible user interfaces als kooperationsunterstützendes medium*. Alemania: Universität Bremen.
- Hornecker, E. (2005). *A design theme for tangible interaction: embodied facilitation*. Paris, Francia: Kluwer Academic Publishers.
- Hornecker, E. (2006). An encompassing view on tangible interaction: a framework. *Proceedings of Computer-Human Interface, CHI*. 1- 10.
- Hornecker, E. (2006). Physicality in tangible interaction: bodies and the world. 1-4.
- Hornecker, E. (2007). Tangible interaction: interaction - design foundation. 1-10.
- Hornecker, E. (2009). Tangible interaction design, space, and place. 1-5.
- Hornecker, E. (2010). Creative idea exploration within the structure of a guiding framework: the card brainstorming game. *Tangible and Embedded Interaction, TEI*. 1-8.
- Hornecker, E., & Buur, J. (2006). Getting a grip on tangible interaction: a framework on physical space and social interaction. *Proceedings of Computer-Human Interface, CHI*. 1-10.
- Hoven, E. (2007). Design research & tangible interaction. *Tangible and Embedded Interaction, TEI*. 109-115.
- Hoven, E., & Mazalek, A. (2007). Tangible play: research and design for tangible and tabletop games. *Intelligent User Interfaces*. 10-14.
- Hoven, E., Boerdonk, K., & Tieben, R. (2009). Contacto a través del lienzo: un encuentro entretenido. *Pers Ubiquit Comput*. 551-567.
- Hoven, E., Frens, J. W., & Aliakseyeu, D. (2007). Design research & tangible interaction. *Tangible and Embedded Interaction, TEI*. 109-115.

- Hoven, E., Garde Perik, E., & Offermans, S. (2012). Reflecting on the foundations and qualities of tangible interaction. *Digital Object Identifier*. 1-13.
- Ishii, H. (2008). Tangible bits: beyond pixels. *Tangible and Embedded Interaction*, TEI. 15-22.
- Ishii, H., & Ullmer, B. (1997). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. *Proceedings of CHI*. 22-27.
- Ishii, H., Parkes, A. J., & Raffle, H. S. (2004). Topobo: a constructive assembly system with kinetic memory. *Tangible Media Group*. 1-8.
- Maher, M., Lee, L., & Carroll, J. M. (2017). Designing tangible models. En J. M. Carroll (Ed.), *Designing for gesture and tangible interaction*. (43-48). Morgan & Claypool Publishers.
- Maher, M., Lee, L., Gero, J., & Timothy, C. (2017). Characterizing tangible interaction during a creative combination task. *Design Computing and Cognition*. 43-62.
- Mahler, T., Hermann, M., & Weber, M. (2009). *Interfaces móviles en interacción tangible mnemotécnica: interacción hombre-computadora*. Alemania: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Marco, J., & Cerezo, E. (2012). *Modelado de controles tangibles para juegos con toyvision*. Elche, España: Interacción.
- Marco, J., Cerezo, E., Baldassarri, S., & Mazzonne. (2009). Bringing tabletop technologies to kindergarten children. *British Computer Society*. 103-111.
- Marco, J., Baldassarri, S., & Cerezo, E. (2013). *Toyvision: a toolkit to support the creation of innovative board-games with tangible interaction*. Barcelona, España: Embedded and Embodied Interaction.
- Mazalek, A., & Hoven, E. (2009). Framing tangible interaction frameworks. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*. 23(3), 225-235.
- Michael, H., & Robert, J. (2007). Designing tangible programming languages for classroom use. *Internacional sobre Interacción Tangible e Integrada*. 15-17.
- Muriel Garreta, D., & Pera, E. M. (2010). *Diseño centrado en el usuario*. Catalunya, España: Universitat Oberta de Catalunya.
- Murillo, D. (2010). *Cátedra de accesibilidad*. Catalunya, España: Universidad Politécnica de Catalunya. Cataluña.
- Norman, D. (1988). *La psicología de los objetos cotidianos*. Madrid: Nerea.
- Shaer, B. O., & Hornecker, E. (2010). Tangible user interfaces: past, present and future directions. *Foundations and Trends, Human-Computer Interaction*. 3(1-2), 1-30.
- Shaer, O., Leland, N., H., E., & Gamez, C., & Jacob, R. J. K. (2004). The TAC paradigm: specifying tangible user interfaces. *Pers Ubiquit Comput*. 359-369.
- Ullmer, B., & Ishii, H. (2000). Emerging frameworks for tangible user interfaces. *IBM Systems Journal*. 39(3-4), 1-11.
- Ullmer, B., & Ishii, H. (1997). The metadesk: models and prototypes for tangible user interfaces. *Proceedings of UIST*. 1-10.