

PI133-03

ApTUI - *Framework* para el diseño participativo de interacciones
tangibles

Laura Juliana Cortés Rico
cortes-laura@javeriana.edu.co

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
BOGOTÁ, D.C.

2015

PI133-03

ApTUI - Framework para el diseño participativo de interacciones tangibles

Autor

Laura Juliana Cortés Rico

MEMORIA DEL TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA CUMPLIR UNO DE LOS
REQUISITOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

MAGISTER EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

Director

Leonardo Flórez Valencia

Asesor

Rafael Andrés González Rivera

Comité de Evaluación del Trabajo de Grado

Andrea del Pilar Rueda Olarte

César Alberto Collazos Ordóñez

Página web del trabajo de grado

<http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI133-03-ApTUI>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
Junio, 2015

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

Rector Magnífico

Jorge Humberto Peláez Piedrahita

Decano de la Facultad de Ingeniería

Jorge Luíz Sánchez Téllez

Director Departamento de Ingeniería de Sistemas

Rafael Andrés González Rivera

Artículo 23 de la Resolución No. 1 de Junio de 1946

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la justicia”

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por su incondicional apoyo y por disponer todo en mi hogar para poder culminar con éxito este proyecto. Agradezco también a Giovanni por acompañarme y apoyarme en todos los momentos, por su paciencia y dedicación. Agradezco a la Fundación Juan Pablo Gutiérrez Cáceres y a la Pontificia Universidad Javeriana porque a través de su programa de becas para posgrado contribuyen a que más profesionales, como ha sido mi caso, podamos lograr nuestras metas de vida.

Agradezco al Profesor Leonardo Flórez por dirigir mi trabajo de grado, por sus consejos y apoyo. Agradezco también al Profesor Rafael González por su continua disposición para atender mis dudas y darme consejos sobre mi trabajo. De igual manera, agradezco al Profesor Jaime Pavlich por su apoyo y amable disposición para ayudarme a concretar la definición del metamodelo.

Finalmente, pero de manera muy especial, agradezco al equipo de investigación del proyecto Bordando el Conocimiento Propio. En particular a Tania, por ser una excelente directora del proyecto, siempre dispuesta a apoyarnos como investigadores y como personas. Doy gracias a Doña Elsa, Olivia, Merceditas y Celmira por abrirnos las puertas de sus casas y de "sus manos" para permitirnos aprender e investigar con ellas.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Retos en el diseño participativo de interacciones tangibles	1
1.2. Enfoque de la tesis	2
1.2.1. Estudio de caso: diseño participativo de una interfaz tangible inspirada en el calado sobre tela, labor artesanal que se realiza en Cartago, Valle del Cauca	3
1.2.2. <i>Framework</i> que articula formas de diseñar Interacciones Tangibles	5
2. Marco conceptual	6
2.1. Interacción humano-computador	6
2.1.1. El enfoque de la Ingeniería Semiótica	7
2.1.2. La fenomenología en la interacción humano-computador	7
2.1.3. <i>Constructive Design Research</i>	7
2.1.4. Diseño participativo en el diseño de interacciones humano-computador	7
2.2. Interacciones e interfaces tangibles de usuario	8
2.2.1. Clasificación y ejemplos	8
2.2.2. Investigaciones recientes y relevantes	8
3. ApTUI: <i>framework</i> para diseñar interacciones tangibles	10
3.1. Forma de pensar <i>-way of thinking-</i>	11
3.1.1. Reconocimiento	12
3.1.2. Diálogo	14
3.1.3. Representación	15
3.2. Forma de trabajar <i>-way of working-</i> y forma de controlar <i>-way of controlling-</i>	16
3.2.1. Metodología iterativa, incremental y abierta	16
3.2.2. Ciclos en el proyecto Bordando el Conocimiento Propio	17
3.2.3. Hitos	19
3.2.4. Consideraciones sobre la participación	20
3.3. Forma de modelar <i>-way of modelling-</i>	21
3.4. Forma de soportar <i>-way of supporting-</i>	21

4. Lenguaje de modelado de interfaces tangibles de usuario	23
4.1. Requerimientos del lenguaje	23
4.2. Semántica	24
4.2.1. Constructos	24
4.2.2. Relaciones	25
4.2.3. Metamodelo	25
4.3. Metamodelo de dominio específico	25
4.3.1. GME: <i>Generic Modeling Environment</i>	26
4.3.2. Implementación	28
4.3.3. Notación	28
4.4. Ejemplos	29
4.4.1. <i>Marble Answering Machine</i>	29
4.4.2. Hormigas Conga	30
5. Prototipo de una interfaz tangible de usuario para diseñar patrones de calado	33
5.1. Concepto de la interfaz	33
5.1.1. Diagrama de casos de uso	34
5.1.2. Especificación de requerimientos	35
5.2. Modelo con el lenguaje propuesto	39
5.3. Solución tecnológica	40
5.3.1. Representación computacional de patrones de calado	40
5.3.2. Tecnología bordada: tangibles para estampar puntadas	45
5.4. Experimentación, prueba de concepto y trabajo futuro sobre el prototipo	48
6. Validación del <i>Framework</i> propuesto	51
6.1. Validación progresiva: rigor y transparencia en la toma de decisiones	52
6.2. Validación sumativa: proyectos de investigación formativa con estudiantes de Ingeniería de Sistemas del Politécnico Grancolombiano	52
6.3. Evaluación del lenguaje de modelado: notación visual	54
6.3.1. Notación Visual	54
7. Conclusiones y trabajo futuro	57

Índice de figuras

3.1. Arquitectura del <i>Framework</i> analítico <i>Ways Of</i>	11
3.2. Estructura de la <i>forma de pensar</i> <i>WoT</i>	12
3.3. Fotografías de talleres <i>hands-on</i>	13
3.4. Estructura de la <i>forma de trabajar</i> <i>WoW</i>	16
4.1. Metamodelo	26
4.2. Capas de modelado	27
4.3. Modelo de la <i>Marble Answering Machine</i> usando <i>TUIParadigm</i>	31
4.4. Modelo de la interfaz tangible Hormigas Conga con <i>TUIParadigm</i>	32
5.1. Deshilado y bordado-calado	34
5.2. Diagrama de casos de uso de Cala-ITU	35
5.3. Representación computacional de la tela	41
5.4. Representación computacional del contorno de las regiones cerradas	42
5.5. Representación computacional del deshilado	43
5.6. Representación computacional de la puntada «Nido de abejas»	44
5.7. Representación computacional de la puntada «Nido de abejas» como patrón.	45
5.8. Representación computacional de un patrón calado	45
5.9. Tangibles para estampar y pintar representaciones de puntadas	47
5.10. Etiquetas de los sellos	47
5.11. Procesamiento de los datos de las etiquetas	48
5.12. Modelo de Cala ITU-A	49
5.13. Modelo de Cala-ITU-B	50

Índice de tablas

4.1. Notación visual del metamodelo propuesto	29
6.1. Encuesta de percepción de utilidad del <i>framework</i> ApTUI	55

Resumen

Las interacciones tangibles son una forma de interacción humano-computador en la que lo digital se hibrida con lo físico. En este caso, lo físico se refiere a objetos cotidianos con un alto valor cultural. En esta tesis de Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación, se asumió el reto de investigar sobre procesos de diseño participativo de interacciones tangibles desde la práctica y con base en una serie de fundamentos teóricos con una visión material de la computación. El trabajo práctico tuvo lugar en el proyecto «Bordando el Conocimiento Propio», orientado a fortalecer diálogos de saberes entre el diseño de modas y la labor artesanal del calado sobre tela que se realiza en Cartago, Valle. En particular, incluyó el diseño participativo de una interfaz tangible de usuario que permite explorar posibilidades del calado, a través del diseño de nuevos patrones; esta interfaz se desarrolló con un colectivo de caladoras y un equipo multidisciplinar de diseñadoras, científicas sociales e ingenieros de áreas diversas. La dimensión teórica se abordó desde los procesos de creación de interacciones tangibles que existen actualmente, la fenomenología y la Ingeniería Semiótica. Como resultado se obtuvo la propuesta de un *framework* que sugiere formas de diseñar interacciones tangibles: forma de pensar, de trabajar, de controlar, de modelar y de soportar el diseño.

Abstract

Tangible interactions are a form of human-computer interaction in which digital and physical dimensions are hybridized. In this case, the physical dimension relates to everyday physical objects with a high cultural value. In this Master thesis in Computer and Systems Engineering, it was assumed the challenge of researching on processes of participatory designing tangible interactions, from practice and based on a series of theoretical foundations with a view of the computation as a materiality. The practical work took place in the Project «Embroidering self-knowledge», aimed at strengthening dialogue of knowledge between fashion design and craftsmanship of calado, a kind of embroidery made in Cartago, Valle. In particular, it included the participatory design of a tangible user interface for exploring possibilities of calado, by designing new patterns; This interface was developed with a group of caladoras and a multidisciplinary team of designers, social scientists and engineers from various fields. The theoretical dimension was addressed from the process of creation of tangible interactions that exist currently, phenomenology and Semiotics Engineering. This research result in the proposal of a framework aimed at suggesting ways of designing tangible interactions: way of thinking, of working, of controlling, of modeling and supporting the design.

Resumen Ejecutivo

Este proyecto se enfoca en el área de investigación en interacciones tangibles que estudia procesos de comunicación entre personas mediados por dispositivos tecnológicos en los que objetos físicos son utilizados para acceder, representar y manipular información digital. La intención de utilizar objetos físicos como medios de interacción ha generado grandes retos para la comunidad científica [18, 46, 66], algunos de los cuales fueron asumidos en esta investigación: encontrar estrategias de diálogo que faciliten la comunicación entre diversas formas y áreas del conocimiento involucradas en el diseño de interacciones tangibles, comprender el rol de lo material en la computación y crear espacios participativos que permitan que los usuarios sean co-creadores de artefactos tecnológicos culturalmente relevantes. Asumir estos retos trazó como objetivo de este proyecto “*proponer un framework que permita el diseño participativo de interacciones tangibles y un lenguaje de modelado para representar las interfaces derivadas de este proceso*” en particular, orientado a comunidades unidas por prácticas corporales.

Esta investigación se ha desarrollado como una tesis de Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación, en el marco del proyecto “Bordando el conocimiento propio: Sistematización de experiencias y diseño participativo del tejido como práctica de cuidado en Cartago, Valle” -BCP-. Se basa en un estudio de caso con una comunidad de artesanas que elaboran calado sobre tela en Cartago-Valle del Cauca, foco del proyecto BCP; y en el análisis del estado del arte en interacciones tangibles. Investigar con una comunidad de artesanas, cuya labor involucra principalmente la manipulación de materiales y tiene gran relevancia cultural, así como hacer parte del equipo multidisciplinar que conforma BCP, permitieron asumir en la práctica los retos en la creación de interacciones tangibles ya mencionados.

El trabajo práctico desarrollado en BCP, analizado desde las perspectivas teóricas que guían el diseño y desarrollo de interacciones tangibles actualmente, permitió proponer una especificación del *framework* analítico «*Ways of*» presentado por Sol en 1988 [69]. Así, el *framework* propuesto en esta tesis define *formas de pensar, trabajar, controlar, dar soporte y modelar* interacciones tangibles participativamente, con comunidades unidas por prácticas corporales como la elaboración de artesanías. La selección y desarrollo de este *framework* siguió una reflexión sobre la necesidad de acompañar estructuradamente técnicas usadas en el de diseño de interfaces tangibles (como los lenguajes de modelado) con metodologías, filosofías y herramientas que facilitarían la traducción de ideas en artefactos relevantes y representativos, pero también que guiaran el diálogo plural y horizontal en la generación y construcción colectiva de estas ideas.

La *forma de pensar* define el dominio de los problemas o situaciones que se pueden abordar con el *framework* propuesto y especifica la base filosófica que sustenta los procesos de búsqueda, diseño y desarrollo de soluciones o experimentación alrededor de estas situaciones. En este caso, el dominio es el de la creación de interacciones -e interfaces- tangibles en comunidades unidas por la realización de prácticas corporales. La filosofía propuesta tiene su fundamento en el diseño participativo como una estrategia para diseñar sistemas tecnológicos con los usuarios; específicamente, propongo que la participación se logra en la medida en que haya reconocimiento, diálogo y representación. Esta filosofía toma como soporte el trabajo desarrollado en BCP y fundamentos teóricos en torno a tres aspectos: el papel simbólico de los artefactos computacionales, esencialmente abordado por la Ingeniería Semiótica de Clarisse de Souza [14], la materialidad en la computación y en el diseño de interacciones, considerada desde un enfoque fenomenológico [84], y finalmente, la investigación basada en el diseño a través de la construcción, que toma como soporte la propuesta de *Constructive Design Research* [38].

La *forma de trabajar* se presenta como una metodología iterativa, incremental y abierta de cuatro etapas: recono-

cimiento y reflexión, ideación, prototipado, y experimentación. Iterativa porque el diseño de interacciones tangibles requiere varios ciclos de ir y volver y porque hay un fuerte enlace entre las etapas que permite su recorrido de una forma no lineal. Incremental no se refiere exclusivamente a un artefacto que evoluciona, sino a una forma incremental de representar mejor a las comunidades involucradas en el diseño; una representación que se materializa en artefactos culturalmente relevantes. Abierta considera que los resultados no son únicamente los artefactos *terminados*, sino el empoderamiento de las comunidades participantes, la apropiación de tecnología que implica un rediseño continuo de los artefactos en la práctica, y la posibilidad de desarrollar localmente nuevas tecnologías.

La *forma de controlar* presenta cómo identificar el paso de un ciclo de diseño al siguiente, cuáles y cómo son los entregables de cada etapa, cómo navegar a través de la forma de trabajar propuesta y presenta consideraciones que permitan asumir en la práctica las restricciones de la participación. Adicionalmente, este documento presenta actividades que se pueden desarrollar en el marco de esta metodología y acompaña la presentación con la *forma de soportar* que se describe en términos de herramientas como formatos, guías de talleres participativos, esquemas, ejemplos, entre otros; así como provee una herramienta tecnológica que soporta el modelado de interfaces tangibles de acuerdo con el metamodelo propuesto como parte de la *forma de modelar*.

La *forma de modelar* se concentra en un lenguaje de modelado propuesto para representar estructuralmente interfaces tangibles de usuario. La semántica del lenguaje se basa en los constructos y especificaciones del paradigma TAC (*Token And Constraint*) y el lenguaje TUIML (*Tangible User Interface Modelling Language*). El principal aporte de este lenguaje es que posibilita la representación de la dimensión física y digital en un mismo esquema, alineándose mejor (respecto a los lenguajes que toma como base) con la premisa de las interfaces tangibles de usuario como hibridaciones entre bits y átomos. El lenguaje permite también una aproximación a soluciones tecnológicas que permitan implementar el modelo propuesto.

El proceso de validación se realizó de tres maneras, cada una orientada a alguna o algunas de las *formas de diseñar interacciones* que articula el *framework* propuesto. La primera fue una validación progresiva que se sustenta por el rigor y transparencia en la toma de decisiones de diseño, usada fundamentalmente para validar la *forma de pensar y trabajar*; está estrechamente ligada al estudio de caso como representativo del dominio de problemas a los que refiere ApTUI La segunda es una validación sumativa orientada a la *forma de trabajar*, y en menor proporción a la de *modelar, controlar y soportar*; se realizó con 18 estudiantes de octavo semestre de Ingeniería de Sistemas del Politécnico Grancolombiano, como un proyecto transversal durante el primer semestre de 2015. La tercera forma de validar se orientó a evaluar la notación del lenguaje de modelado, de acuerdo con una serie de principios de diseño de notaciones visuales que permiten analizar la fortaleza de la notación y su poder de representación en relación con la semántica del metamodelo.

Capítulo 1

Introducción

Where the sea meets the land, life has blossomed into a myriad of unique forms in the turbulence of water, sand, and wind. At another seashore between the land of atoms and the sea of bits, we are now facing the challenge of reconciling our dual citizenships in the physical and digital worlds
Ishii, H., Tangible Bits: Beyond Pixels, 2008

1.1. Retos en el diseño participativo de interacciones tangibles

Las interfaces tangibles de usuario (ITU) son entendidas como aquellas que permiten el acceso, representación y manipulación de la información digital a través de objetos físicos cotidianos. Esta característica intrínseca de las ITU como hibridación entre lo físico y lo digital, en combinación con una metodología de diseño participativo, deviene en una serie de retos conceptuales, técnicos y metodológicos [18, 46, 66] que sirvieron como motivación y justificación para el desarrollo de este trabajo de tesis.

Desde lo conceptual, el diseño de interacciones tangibles implica el reconocimiento de un entrelazado entre lo físico y lo digital. En este sentido se hace necesario reconocer la dimensión digital y la material, pero en mayor medida cómo es la relación entre estas dos dimensiones: cómo lo físico representa el estado interno o digital del sistema, y cómo lo digital da cuenta de las acciones físicas del usuario o del contexto sobre el que se encuentra el sistema. Implica también definir qué componentes son mejor representados físicamente y cuáles en forma digital [66]. Además, lleva a cuestionarse acerca de lo que Ishii denomina una manipulación directa de bits a través del cuerpo [33] ¿Cómo se puede interpretar la unión entre lo físico y lo digital? ¿Son componentes distintos de un mismo sistema que se unen a través de una interfaz? ¿O no deben ser diferenciados?

Desde lo metodológico, el diseño participativo de ITUs involucra el encuentro entre diversas formas de conocimiento, como el artesanal y el disciplinar, y de múltiples disciplinas, como la psicología, la antropología, la sociología, el diseño industrial y la ingeniería. Lo multidisciplinar implica a su vez pluralidad metodológica, en donde los profesionales de cada área del conocimiento intentan priorizar los métodos de su disciplina. La participación supone el reto de definir fronteras del equipo de trabajo en relación con las fronteras disciplinares, de forma que internamente se dialogue a través de un lenguaje común, pero preservando el saber de cada disciplina. Asimismo, un diseño participativo debe permitir la co-creación de artefactos tecnológicos relevantes, donde los usuarios sean reconocidos y se reconozcan como diseñadores.

Desde lo técnico, se han encontrado grandes desafíos tanto para el diseño, como para la construcción de ITUs, los más usuales presentados a continuación. Una ITU debe permitir la interacción en paralelo que se puede dar por la acción de múltiples usuarios a la vez, o por múltiples acciones que ejecute un mismo usuario en un mismo momento. Debe permitir una interacción en tiempo real con tiempos de respuesta muy pequeños, de manera que al realizar la acción, el usuario reciba una respuesta casi inmediata. Debe permitir una coherencia sensorial donde el usuario perciba una reacción del sistema espacialmente muy cerca al lugar donde realizó la acción. El desarrollo tecnológico de interfaces tangibles, implica además el uso de sensores que permitan percibir digitalmente las condiciones ambientales o acciones que el usuario ejecuta y que son relevantes en la interacción, así como el uso de actuadores que permitan que lo físico refleje adecuadamente el estado digital del sistema [64].

Tratar con los retos mencionados se traduce en la necesidad de herramientas conceptuales, metodológicas y tecnológicas que orienten y soporten la creación de interacciones tangibles. Aunque existen herramientas en la actualidad [66] [31] [75], ninguna considera el proceso de creación de interacciones tangibles al mismo nivel de los artefactos, ni está orientada al diseño participativo. Adicionalmente, sólo existe un lenguaje de modelado descriptivo, propuesto como tesis doctoral en ciencias de la computación: TUIML, que aún no es ampliamente utilizado.

1.2. Enfoque de la tesis

Originalmente la tesis se enfocó en la «proposición de un lenguaje de modelado para el desarrollo de interfaces tangibles de usuario (hardware y software) a través de procesos de diseño/construcción participativos en comunidades con poco conocimiento de TIC». La propuesta incluía una fuerte orientación hacia la alfabetización digital, dada la naturalidad asociada usualmente a las interfaces tangibles. Metodológicamente se propuso realizar la investigación a través del método inductivo-hipotético, que incluyó el estudio de un caso relevante para la comprensión empírica de la situación, en este caso el diseño de interacciones tangibles, una especificación de las bases teóricas, la proposición del lenguaje de modelado y su validación en otro o el mismo caso. El caso seleccionado para el análisis empírico y parte de la validación fue el de la práctica artesanal de bordado que se elabora en Cartago, Valle del Cauca, en el marco del proyecto de investigación BCP (ver sección 1.2.1).

En la fase de análisis del estudio de caso, y en términos de la propuesta formulada, me encontré con dos grandes retos. El primero fue el de reconocer el lenguaje de modelado como una herramienta de representación que supone una idea concreta de la interfaz de usuario que se desea obtener. En el caso de las bordadoras, sin embargo, no existía tal idea; en cambio, inicialmente existía una comunidad de bordadoras, una de diseñadoras, una de ingenieros y una de científicas sociales con intereses diversos alrededor de un desarrollo tecnológico. El segundo fue el de alinear la terminología; al ser multidisciplinar, existieron varios términos comprendidos de forma diferente por los diversos participantes. Por ejemplo, la propuesta inicial presentaba un fuerte enfoque hacia las interfaces tangibles como instrumentos para reducir la *brecha digital*; este concepto de *brecha digital* es controversial pues supone un desconocimiento de las múltiples dimensiones involucradas en el diseño tecnológico. Es decir, supone que hay dos clases de comunidades, las que dominan las herramientas TIC y las que no, y pone el diseño tecnológico en términos de trazar un puente entre estos dos mundos aislados [15]. Enfrentar estos retos hizo necesario re-comprender la propuesta, reconociendo los hallazgos en contexto. Se consideró no enfocar la tesis en interfaces tangibles de usuario (centradas en los datos, medio o canal de comunicación), sino enfocarla en interacciones tangibles (con una visión más amplia del proceso de comunicación que median las interfaces). Adicionalmente, no orientar la investigación

hacia la alfabetización digital a través de interfaces tangibles, sino hacia las interacciones tangibles como medios de comunicación que permiten el diálogo de saberes diferentes, y finalmente, soportar el lenguaje de modelado con un *framework* que buscara facilitar el diseño participativo de interacciones tangibles, permitiendo la creación colectiva de ideas concretas de interfaces, así como su representación a través del lenguaje.

A partir de estas consideraciones se re-formularon los objetivos de la tesis, así:

Objetivo General

Proponer un *framework* que permita el diseño participativo de interacciones tangibles y un lenguaje de modelado para representar las interfaces derivadas de este proceso.

Objetivos Específicos

1. Identificar comunidades con las que se podría realizar la investigación y seleccionar una como estudio de caso representativo reconociendo los actores, prácticas y procesos involucrados en su hacer.
2. Analizar el estado del arte en interacciones tangibles con enfoque social, así como *frameworks* y lenguajes de modelado asociados al desarrollo de interacciones e interfaces tangibles de usuario.
3. Proponer un *framework* para el diseño participativo de interacciones tangibles y un lenguaje de modelado para la representación de interfaces tangibles; que integren la investigación en el estudio de caso (modelo descriptivo) con el análisis del estado del arte (modelo conceptual).
4. Diseñar un prototipo funcional en el que se pongan en práctica el *framework* y el lenguaje de modelado propuestos.
5. Validar de forma preliminar el *framework* y el lenguaje de modelado.

El enfoque de la tesis estuvo en la proposición de un *framework* tanto relevante como riguroso, basado en una serie de fundamentos teóricos y en una reflexión en la práctica que tuvo lugar dentro del estudio de caso. El *framework* incluye una forma de modelar en la que se especifica el lenguaje de modelado propuesto.

1.2.1. Estudio de caso: diseño participativo de una interfaz tangible inspirada en el calado sobre tela, labor artesanal que se realiza en Cartago, Valle del Cauca

El estudio de caso estuvo orientado al trabajo con comunidades de artesanos. Esta delimitación se basó en la consideración de la artesanía como un tema de particular interés desde un enfoque material de las interacciones humano-computador. De acuerdo con Gross [28], la orientación artesanal de HCI se refiere a la consideración del diseño de interacciones como un oficio en el que, involucrándose en las prácticas de las comunidades con las que se diseña y de sus materialidades, es posible yuxtaponer lo tradicional con lo tecnológico, y más cercano a las interacciones tangibles: lo digital con lo físico. Específicamente, el caso estudiado fue el de la práctica de calado artesanal sobre tela que realizan en Cartago, Valle del Cauca, Colombia.

El caso fue parte del proyecto de investigación «Bordando el conocimiento propio: Sistematización de experiencias y diseño participativo del tejido como práctica de cuidado en Cartago, Valle» -BCP- que incluyó el colectivo de bordadoras y caladoras de la Asociación Probordados de Cartago, la participación de una diseñadora industrial y

una de textiles, los Departamentos de Antropología e Ingeniería de Sistemas de la Pontificia Universidad Javeriana y el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones del Politécnico Grancolombiano; y que contó con financiación de COLCIENCIAS y Artesanías de Colombia en el marco de la convocatoria 609 de 2013: «Arte, Cultura y Diálogo de Saberes». El componente de este proyecto que se desarrolló y analizó como parte del trabajo de maestría presentado en esta memoria, fue el del diseño de una tecnología de la información y de las comunicaciones (TIC) orientada a fortalecer los diálogos de saberes alrededor de la práctica de bordado en Cartago.

Caracterización y contexto

Cartago, Valle del Cauca, es una ciudad de la zona suroccidental de Colombia reconocida por las delicadas artesanías que producen mujeres del lugar, haciendo uso de dos técnicas principalmente: bordado y calado sobre tela [10]. El bordado se elabora creando formas sobre las telas con hilos de diferentes colores a través de múltiples puntadas. En la elaboración de bordados las sensaciones visuales producidas son importantes, pero a diferencia de los estampados, los bordados generan también sensaciones táctiles que se perciben al acariciar la labor. De otra parte, el calado consiste en deshilar las telas con trama y urdimbre creando una grilla para luego bordarla retejiendo el textil, al tiempo que se elaboran patrones donde lo simétrico adquiere un papel protagónico.

La práctica de calado

El desarrollo tecnológico se centró en la práctica del calado, a partir de las conclusiones resultantes de la sistematización realizada por el equipo etnográfico del proyecto [55] [56]. Las razones fundamentales para esta decisión se presentan a continuación.

- El calado no es usualmente incluido en prendas de diseño textil o de modas. Quienes realizan este tipo de diseño no conocen el potencial de la práctica, o si lo conocen, no dimensionan sus restricciones.
- En el calado, a diferencia del bordado, no hay un diálogo creativo entre diseñadoras de moda o textiles y caladoras. Mientras las caladoras aseguran que para diseñar calado hay que saber calar, las diseñadoras no reconocen la versatilidad de la técnica.
- El calado es un tipo de bordado representativo de la región de Cartago que combina técnicas como el *Labirinto* de Brasil [16] y el calado canario de España [25].
- El calado tiene una fuerte tendencia a ser simplificado por las dinámicas del mercado. Así, las puntadas más complejas sólo las saben hacer caladoras expertas, en su mayoría mujeres de tercera edad. Esto hace pensar que el saber-hacer de esta artesanía se está perdiendo.
- La elaboración del calado en Cartago se realiza como una copia creativa. Usualmente se reproducen patrones observando prendas ya terminadas o a partir de una fotocopia tomada directamente de la tela calada.
- Las caladoras expertas son capaces de reproducir el proceso de elaboración de un patrón de calado a partir de la observación de su resultado.
- El calado es una técnica con mucha riqueza matemática. Se reconocen simetrías en sus patrones, así como puntadas que teselan la superficie de la tela, que rellenan regiones cerradas y se ubican en planos cartesianos sobre cuadrículas o grillas formadas a partir del deshilado.

El proyecto siguió una serie de premisas éticas que guiaron el diseño tecnológico continuamente. La primera es que los artefactos que resultaran del proyecto de investigación no estarían orientados a la solución de problemas, sino a la experimentación y mutuo reconocimiento entre las tecnologías asociadas a la práctica del calado y las asociadas a la información y las comunicaciones. Así, la investigación se constituyó en una manera de resignificar tanto el calado como el diseño tecnológico. La segunda premisa es que la tecnología debía enfocarse en la preservación de la práctica como una labor manual -artesanal- y en ese sentido no buscar su automatización.

Con base en los hallazgos etnográficos y las premisas éticas, el componente tecnológico del proyecto BCP se definió como el *diseño y desarrollo participativos de una interfaz tangible de usuario como mediadora del diálogo entre diseñadoras de modas y caladoras en tiempo de diseño de patrones de calado*, que se presenta con detalle en el capítulo 5. El proceso de diseño sirvió como inspiración y validación continua en la construcción del *framework*; lo que se presenta, respectivamente, en los capítulos 3 y 6.

1.2.2. Framework que articula formas de diseñar Interacciones Tangibles

El *framework* siguió una reflexión sobre la necesidad de acompañar estructuradamente el lenguaje de modelado con metodologías, filosofías y herramientas que facilitaran la traducción de ideas en artefactos relevantes y representativos, pero también que guiaran el diálogo plural y horizontal en la generación y construcción participativa de estas ideas. La propuesta es una especificación del *framework ways of* o *formas de* propuesto por Sol en 1988 [69] que articula formas de pensar, trabajar, controlar, soportar y modelar, en este caso, interacciones tangibles.

La forma de pensar se basa en el diseño participativo como estrategia de creación de tecnologías *con* los usuarios. Se proponen tres ejes para guiar el diseño participativo de interacciones tangibles: el reconocimiento, el diálogo y la representación [13]. La propuesta tiene su origen en los resultados prácticos de BCP y se fundamenta sobre bases teóricas del rol simbólico de la computación, su dimensión material y la investigación basada en el diseño. Del lado simbólico, se hace referencia a la Ingeniería Semiótica, una propuesta de Clarisse de Souza [14] que considera los artefactos tecnológicos como simbólicos, en tanto representan a sus diseñadores y el contexto en el cual fueron diseñados [27]. Sobre la materialidad en la computación, se toman bases de la fenomenología [84]. Sobre la investigación basada en el diseño, se hace referencia a una teoría en particular que se basa en la construcción: *Constructive Design Research* [38].

La forma de trabajar especifica cómo se puede lograr metodológicamente la creación participativa de las interacciones tangibles. La metodología se presenta en cuatro hitos iterativos, incrementales y abiertos: reconocimiento y reflexión, ideación, prototipado y experimentación. En todos los casos, orientados al mutuo y propio reconocimiento, al diálogo de saberes entre comunidades diversas y a la representación de dichas comunidades a través del diseño. La propuesta metodológica se acompaña de una serie de herramientas que soportan el desarrollo de las actividades asociadas al proceso propuesto. La forma de controlar acompaña a la de trabajar haciendo explícitos los retos de la participación, sus restricciones y las propuestas para tratar con estas condiciones.

La forma de modelar se concentra en la especificación del lenguaje de modelado que se basa en los constructos y relaciones del paradigma TAC, y del lenguaje descriptivo TUIML. Se presenta tanto la semántica como la notación propuesta para el lenguaje. El *framework* es detallado en el capítulo 3, en el que se hace referencia continua al caso de estudio y a fundamentos teóricos que soportan la propuesta.

Capítulo 2

Marco conceptual

We now stand at a point in technological development where the distinction between the digital and the material is increasingly blurred, and we even see projects in which our most mundane objects, like the clothes we wear, and the fruit and vegetable that we buy at the supermarket, are becoming part of our digital and interactive experiences.
Fernaesus, Y., Jonsson, M., Tholander, J., Revisiting the Jacquard Loom: Threads of History and Current Patterns in HCI, 2012

2.1. Interacción humano-computador

Iniciando los años 80, el uso de dispositivos de cómputo empezó un camino de migración de usuarios especializados a usuarios diversos [7]. La creación de la computadora personal marcó como potenciales usuarios a personas de diferentes características, entornos socio-culturales, habilidades, intereses y gustos; lo que motivó a algunos investigadores a interesarse más en la forma en que se relacionan las personas con las máquinas, y más específicamente, con los computadores [7]. Surgió entonces una nueva subárea de investigación dentro de las ciencias de la computación denominada HCI (*Human-Computer Interaction*), interacción humano-computador en español. Hoy en día, HCI ya no es solamente una especialización de las ciencias de la computación, sino un área de investigación y una práctica multidisciplinar que reúne psicólogos, sociólogos, ingenieros, científicos de la computación, antropólogos, diseñadores gráficos, entre otros [17]. La integración de diversas disciplinas ha hecho que algunos se refieran a HCI como una «comunidad de comunidades» que analiza la forma en que se enlaza la *usabilidad* con el desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones [7].

La intersección disciplinar que han propiciado los estudios en HCI ha generado diferentes enfoques y filosofías de investigación. Para los propósitos de este proyecto se toman, y se introducen brevemente, la Ingeniería Semiótica (sec.2.1.1), la fenomenología (sec.2.1.2) y la investigación basada en el diseño constructivo: *Constructive Design Research* (sec. 2.1.3). Adicionalmente, el creciente interés en generar interfaces más naturales (y con mayor sentido cultural) para el usuario ha segmentado el área de investigación en HCI en subáreas como la de la computación ubicua, la realidad aumentada y virtual, la computación *vestible* y el foco de este proyecto: las interacciones tangibles [42] (sec 2.2).

Finalmente, el reconocimiento del rol protagonista de las personas en el diseño de interacciones HCI, ha generado una fuerte investigación en torno al área socio-técnica. Especialmente enfoques como *User Experience (UX)*, diseño

centrado en el usuario, diseño centrado en lo cultural; y el de mayor interés en este proyecto: el diseño participativo. En la sección 2.1.4 se presenta un resumen de algunas investigaciones en diseño participativo de interacciones HCI.

2.1.1. El enfoque de la Ingeniería Semiótica

Clarise de Souza propone que la interacción con dispositivos computacionales se debe entender como un proceso de comunicación entre personas, **mediado por** computadores, dado el valor simbólico que poseen estos dispositivos respecto a sus creadores y el contexto en el que fueron concebidos y desarrollados [24]. A este enfoque le llama Ingeniería Semiótica y está especialmente orientado a analizar la relación diseñador-usuario desde un enfoque semiótico *en tiempo de interacción*. Así, el proceso de crear interacciones está íntimamente ligado al diseño de símbolos que integran el artefacto con el que el usuario interactúa, y que al ser comprendidos en el uso, generan una interlocución entre quien diseña y quien usa [70].

2.1.2. La fenomenología en la interacción humano-computador

La fenomenología tiene su origen y base en la filosofía Heideggeriana, que considera el cuerpo como una extensión de la mente y no mente y cuerpo como entidades separadas. De acuerdo con esta postura, el sentido que se le da al mundo depende de cómo se actúa en y con él. Así, la experiencia y la interacción son previos a la conceptualización del mundo, pues no es posible tener un modelo de él, sin tener una experiencia corporal con él [19]. Por su enfoque, la fenomenología tiene una relevancia directa en el diseño de artefactos, herramientas y tecnologías, y por lo tanto en el diseño de interacciones. Gallagher hace referencia al ser en el mundo, *being-in-the-world*, orientado por acciones, como una manera de experimentar las cosas que nos rodean; en ese sentido, precisa que la fenomenología es útil porque explora cómo nuestro entorno físico y social importan para nuestra experiencia, cognición, solución de problemas y la forma en que nos relacionamos con otros [23].

2.1.3. Constructive Design Research

Es una extensión de la investigación basada en el diseño en la «que la construcción -ya sea de un producto, sistema, espacio o medio- toma un lugar central y se constituye en el medio clave para construir conocimiento» [38]. Esta construcción puede ir desde un mock-up o un dibujo, hasta la construcción de prototipos elaborados, de alta fidelidad. De acuerdo con esta propuesta metodológica, la actividad de investigación tiene su eje central en el diseño, que a su vez se realiza a través de la construcción de artefactos que no necesariamente están orientados al producto final. Para el diseño de interacciones, los creadores proponen tres lugares clave: el campo, el cuarto de demostraciones y el laboratorio [38]; que como se presentará más adelante, se convirtieron en espacios clave en el diseño de la interacción tangible presentada y del *framework* propuesto para el diseño de interacciones tangibles.

2.1.4. Diseño participativo en el diseño de interacciones humano-computador

El diseño participativo se basa en la filosofía del usuario como actor constante durante todo el proceso de creación tecnológica. El rol del usuario se re-define al de co-diseñador, co-creador y co-desarrollador [29]. Carroll describe el diseño participativo como la integración de dos proposiciones de diseño: moral y pragmática [8]. La moral establece que el usuario, al ser quien se verá afectado más directamente por el sistema, tiene derecho a participar en el proceso

de diseño. La pragmática entiende al usuario como experto y por tanto su participación en el proceso de diseño incrementa las posibilidades de éxito del artefacto. Uno de los principios fundamentales del diseño participativo es su cualidad de involucrar al usuario con voz y voto en *todo* proceso de diseño.

De acuerdo con Vines *et al.* [79], las metas de incluir la participación en procesos de diseño de interacciones humano computador son: compartir el control del diseño con los usuarios, compartir la experticia entre los diferentes miembros del equipo y los usuarios, y motivar procesos de cambio a través del proceso mismo de diseño.

2.2. Interacciones e interfaces tangibles de usuario

Las interfaces tangibles de usuario, o *tangible user interfaces (TUI)*, corresponden a un término creado por Hiroshi Ishii en el *Tangible Media Group* del MIT, para hacer referencia a aquellas interfaces que permiten la interacción con información digital a través de objetos físicos de uso cotidiano o con un alto valor cultural [34]. En línea con esta definición, Shaer y Hornecker las presentan como aquellas que permiten representaciones tangibles de datos digitales y proveen al usuario la capacidad de, casi literalmente, aprehender datos con sus manos para generar efectos sobre el funcionamiento digital y físico del sistema [63].

2.2.1. Clasificación y ejemplos

Las interfaces tangibles se clasifican en tres tipos: superficies interactivas, bloques constructivos y las del tipo *TAC: Token And Constraint* o en español, marcador-restricción [65]. Las **superficies interactivas** son aquellas en las que los objetos que permiten la interacción con la información digital se manipulan sobre superficies planas aumentadas, que pueden ser horizontales o verticales. Aumentadas se refiere a que sobre ellas se encuentra la proyección de datos que varían de forma coherente con la manipulación de los objetos. Sobre las superficies se puede detectar la presencia, movimiento, identidad y las relaciones entre los objetos. El segundo tipo, **bloques constructivos**, corresponde a aquellas interfaces tangibles implementadas bajo un principio modular, inspirado por juguetes tipo LEGOTM. La utilización de bloques modulares permite representar sistemas abstractos o sistemas basados en el mundo real, a escala. Los módulos pueden ser homogéneos (todos los bloques tienen la misma funcionalidad) o heterogéneos (existen bloques con funcionalidades diferentes). Un ejemplo reciente son los *Sifteo Cubes* creados por Merrill, Sun & Kalanithi en 2012 [47]. Finalmente, las interfaces **tipo TAC**, se definen en términos de relaciones que se establecen entre dos tipos de elementos físicos: marcadores (*tokens*) y restricciones (*constraints*). Los marcadores pueden relacionarse con restricciones compatibles, donde la compatibilidad generalmente se establece de acuerdo con la forma geométrica de los objetos. Es decir, un marcador no es compatible con una restricción si físicamente no «encajan» [76]. En la sección 2.2.2 se presenta un paradigma creado para este tipo de interfaces que también permite representar interfaces tangibles del tipo *superficies interactivas*.

2.2.2. Investigaciones recientes y relevantes

Frameworks disponibles para la creación de interacciones tangibles

Existen varios *frameworks* asociados a las interfaces tangibles de usuario. La mayoría de ellos tiene un enfoque conceptual y en general definen ciertas taxonomías que facilitan la creación de interfaces. Se presentan como

referencia algunos de estos a continuación:

Fishkin [21]. Ubica las interacciones tangibles en un plano de dos ejes: metáfora e incorporación (*embodiment*). El primero representa el grado de similitud entre los elementos de la interfaz y su equivalente en el mundo real. A su vez, existen dos tipos de metáforas: sustantivo, que se refiere al parecido de la forma del objeto con lo que representa y verbo, que se refiere al parecido en la manipulación del objeto de la interfaz respecto a como se manipula el objeto que representa en el mundo real. El segundo eje, incorporación o *embodiment*, se refiere a qué tan ligadas están las entradas y salidas del sistema; esto es, qué tanto el usuario percibe el nivel de cómputo del sistema. Existen 4 niveles de incorporación: *i*) completa, en la que el dispositivo de entrada es el mismo que el de salida, *ii*) cercana, donde la salida es percibida cerca a la entrada, *iii*) ambiental, en la que la salida está alrededor del usuario y *iv*) distante, donde la salida se encuentra en otro lugar respecto a la entrada.

Holmquist et al. [31]. En su propuesta existen tres tipos de objetos físicos que pueden ser enlazados con información digital: *i*) contenedores, que son objetos genéricos usados para mover información entre diversos dispositivos o plataformas, *ii*) tokens, que son usados para acceder información almacenada y que además reflejan físicamente algunos aspectos de la información que almacenan y *iii*) herramientas, usados para manipular información digital.

Shaer & Calvillo et al. [5] [64]. Paradigma TAC, definido por los autores como un un *framework* conceptual unificado para representar interfaces tangibles. Este *framework* se presenta en la sección 2.2.2 por su relación estrecha con el lenguaje TUIML.

Otros *frameworks* se encuentran en las secciones 5.5 a 5.7 del libro de Shaer [63].

Paradigma TAC y lenguaje de modelado TUIML

El paradigma TAC es una de las herramientas más integrales que existen en cuanto a representación de interfaces tangibles, propuesta por Shaer en 2004 [65]. Se basa en cuatro conceptos: *Pyfo*, que corresponde a cualquier objeto físico que tiene lugar en una interacción tangible, *Token* que se refiere a *Pyfos* que representan información digital o funciones computacionales, *Constraint* que es un tipo de *Pyfo* que restringe físicamente las acciones que puede ejecutar un usuario sobre ese objeto o sobre otros objetos en relación con éste, y TAC que es la relación que se establece cuando un *Token* se asocia físicamente a un *Constraint*. La descripción de este paradigma se encuentran en detalle en [64].

TUIML es un lenguaje de modelado propuesto también por Shaer en 2008 [66] [64] con dos grandes componentes: el estructural, basado en el paradigma TAC, y el comportamental, que hace uso de diagramas de estado y de interacciones, estos últimos basados en redes de Petri. Estructuralmente este lenguaje de modelado propone partir de la especificación de los objetos físicos -*Tokens* y *Constraints*- que harán parte de la interacción y crear una paleta (*TAC Palette*) con las relaciones TAC posibles. La paleta define tanto el *Token* y el *Constraint*, como la representación visual de la asociación, las acciones posibles con relación a esa asociación (por ejemplo mover, adicionar, remover) y la respuesta del sistema a esas acciones en lenguaje natural. Comportamentalmente se especifican diálogos que describen el comportamiento de una interfaz tangible en términos de estados en alto nivel y tareas de interacción que pueden surgir en un estado o una transición. Adicionalmente, las interacciones describen el conjunto de tareas que pueden ser ejecutadas en el sistema. En el libro *A Visual Language for Specifying and Programming Tangible User Interfaces*, se encuentra el detalle de esta propuesta [66].

Capítulo 3

ApTUI: *framework* para diseñar interacciones tangibles

An artifact itself may be physical, but as it is incorporated into a practice, it takes on a symbolic value too. The artifact, and the actions people engage in with that artifact, have meaning, both for the people engaged in those actions and for members of the community of practice. (...) Tangible computing is of interest precisely because it is not purely physical. It is a physical realization of a symbolic reality.

Paul Dourish, Where the Action is: Foundations of Embodied Interaction, 2001

Este capítulo presenta el *framework* ApTUI, propuesto para guiar, acompañar y soportar el proceso de diseño de interacciones tangibles con comunidades unidas a través de prácticas corporales y como parte de equipos de trabajo multidisciplinarios. El *framework* fue fundamentalmente desarrollado desde la práctica, a través de la experiencia de diseño tecnológico participativo que tuvo lugar en el proyecto Bordando el Conocimiento Propio -BCP-. ApTUI se fortalece teóricamente con una serie de bases conceptuales del estado del arte en diseño tecnológico, en particular el de interacciones tangibles y corporales, que están alineadas con los hallazgos en BCP.

Originalmente la investigación acá presentada tenía como objetivo general únicamente la proposición de un lenguaje que permitiera el modelado de interfaces tangibles de usuario. Sin embargo, al iniciar el estudio de caso se evidenció ausencia de soporte metodológico para acompañar el proceso de diseño de interacciones tangibles, en particular con comunidades y equipos multidisciplinarios como los del caso estudiado. La necesidad de llegar colectivamente a una idea concreta y relevante de interfaz, se tradujo entonces en una serie de apuestas metodológicas y filosóficas que además de permitir el diseño de la interfaz para el caso BCP, se constituyeron en el origen del *framework* propuesto, con el que se espera contribuir al desarrollo de proyectos similares.

En el estado del arte en interacciones tangibles se encuentran *frameworks* enfocados principalmente en el artefacto (sección 2.2). En complemento, el acá presentado propone técnicas, metodologías y herramientas que articulan estructuralmente el proceso de creación con los productos resultantes. Esta articulación se realiza como una especificación del *framework* analítico *Ways Of*, presentado por Sol en 1988 [69] y complementado por Seligman en 1989 [62], dada su visión integral del proceso de reconocimiento y transformación de situaciones a través de sistemas de información y su utilización en escenarios de diseño de metodologías [20, 45, 71, 73]. Este *framework* se define en cinco dimensiones: forma de *pensar*, forma de *trabajar*, forma de *controlar*, forma de *modelar* y forma de *soportar* (fig.

3.1) [73]. La *forma de pensar* se refiere a la filosofía del *framework* y el dominio de situaciones en las que puede ser potencialmente utilizado. La *forma de trabajar* propone hitos, pasos y actividades a llevar a cabo durante el proceso de diseño. La *forma de controlar* define directivas para acompañar las actividades de la metodología propuesta, como los criterios de cambio de un ciclo de diseño al siguiente, y presenta consideraciones que ayudan en la transformación del proceso a productos relevantes. La *forma de modelar* especifica estrategias de representación o modelado de los artefactos resultantes del diseño, estando más enfocada en el producto que en el proceso. Finalmente, la *forma de soportar* integra las herramientas que soportan los procesos de diseño, tanto tecnológicas (por ejemplo software de modelado), como no tecnológicas (por ejemplo guías de actividades de diseño participativo).

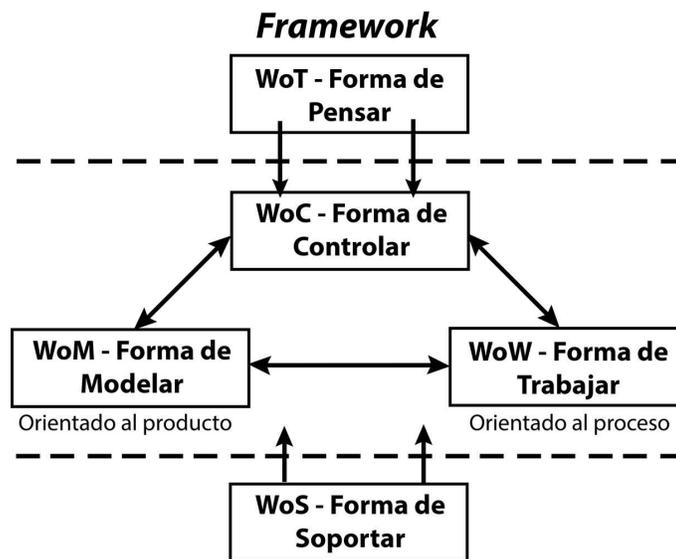


Figura 3.1: *Framework* analítico *Ways Of -Formas de-* para el diseño integral de metodologías. Modificado de [73]

3.1. Forma de pensar -way of thinking-

La filosofía se sustenta sobre el diseño participativo como una estrategia para diseñar tecnología *con* otros, que considera tanto aspectos sociales como técnicos en el diseño. Este enfoque entiende el rol del usuario como co-creador de la tecnología, que no sólo participa en la especificación de requerimientos y en procesos de validación, sino que participa activamente en la toma de decisiones. De acuerdo con Carroll, la participación se justifica desde dos proposiciones: la moral, en tanto los usuarios tienen derecho a ser incluidos en el proceso de diseño de algo que será involucrado en sus dinámicas, y la pragmática, según la cual un diseño llevado a cabo con los usuarios tiene mayores posibilidades de éxito [8].

Diseñar participativamente implica involucrarse en las áreas y formas de conocimiento propio y de los otros participantes, lo que a su vez implica definir fronteras que incluyan a todos los miembros del equipo dentro de un *nosotros* incluyente. En el caso del proyecto BCP, por ejemplo, fue usual que al inicio se hablara de nosotros (los académicos) y ellas (las bordadoras); notación que fue cambiando al apropiarnos del enfoque participativo, de forma que posteriormente el *nosotros* reconocía tanto a las bordadoras, como al equipo académico, entendiéndonos todos como investigadores. Lograr tal forma de reconocimiento deriva en desafíos metodológicos y conceptuales, algunos

evidenciados por Sabiescu and Memarovic [59]: manejo de fronteras y brechas de conocimiento entre los participantes, negociación entre métodos y técnicas de diseño diferentes, y formulación de metas de diseño que tengan en cuenta las características de los artefactos en relación con las fronteras culturales de la comunidad y sus metas a largo plazo. Adicionalmente, en BCP se enfrentaron otros desafíos como: recursos limitados y fronteras geográficas que dificultaron el encuentro frecuente entre los participantes, tensiones entre saberes y formas de hacer¹, gran dificultad para que las bordadoras se reconocieran a sí mismas como diseñadoras de tecnología y lenguajes especializados de ciertas disciplinas como la ingeniería, que dificultaron los procesos de comunicación en algunos momentos.

Para llevar a cabo procesos de diseño participativo de interacciones tangibles que tengan en cuenta los desafíos mencionados, se propone una filosofía articulada por tres ejes: el reconocimiento, el diálogo y la representación; que surgen desde la experiencia en BCP y tienen fundamento en la Ingeniería Semiótica, la materialidad en la computación, desde la fenomenología, y una forma de investigación basada en el diseño que se orienta al *hacer*: *Constructive Design Research* (fig. 3.2). Estos elementos y bases teóricas son relevantes desde el dominio de situaciones hacia las que se orienta ApTUI: *diseño de interacciones tangibles con comunidades unidas por prácticas corporales*. Este dominio considera que es a través del cuerpo, y de su relación con lo material, que se pueden crear interacciones tangibles participativamente con comunidades poco cercanas a las tecnologías de la información y las comunicaciones, pero fuertemente unidas por prácticas que involucran lo corporal, como en el caso de las bordadoras en el proyecto BCP. En los siguientes apartados se especifican los ejes mencionados.

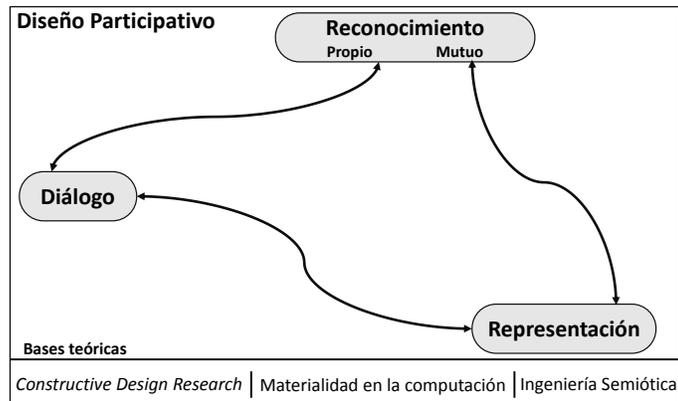


Figura 3.2: Estructura de la *forma de pensar* WoT

3.1.1. Reconocimiento

En los procesos creativos como los ya mencionados, se pueden diferenciar distintas comunidades de práctica. En el caso BCP, por ejemplo, están la comunidad de bordadoras, la de ingenieros, la de científicas sociales y algunas con una presencia menos fuerte como la comunidad de diseñadores de modas. El reconocimiento se refiere al proceso a través del cual cada comunidad reflexiona sobre sus *prácticas* (reconocimiento propio) y las de otros (reconocimiento mutuo) y sobre cuáles son las posibilidades de creación como miembros de una misma comunidad (la de diseñadores/investigadores).

¹Por ejemplo se evidenció una tensión entre la tecnología y el bordado como práctica tradicional. Inicialmente en el proyecto BCP, la comunidad de bordadoras percibía la tecnología únicamente como una forma de automatización que le quita el valor artesanal a la labor del bordado y que amenaza con borrar la tradición.

La propuesta del *reconocimiento* como eje articulador en la participación, dialoga de cerca con un enfoque particular de la investigación basada en el diseño que se orienta al *hacer*: *Constructive Design Research* (CDR) [2,38] (sec 2.1.3). Este enfoque es descrito por sus precursores, Koskinen *et al.* [38], como una forma de investigación a través del diseño en la que la construcción es clave en la formación de nuevo conocimiento. En línea con esta definición, se argumenta que para que exista un reconocimiento de las prácticas propias y de otros es necesario involucrarse directamente con ellas, *haciéndolas, incorporándolas*; adicionalmente, que construir y experimentar colectivamente durante el diseño son procesos fundamentales para reconocerse como parte de una misma comunidad, la de diseñadores/investigadores. Como ejemplo, en el proyecto BCP fue necesario que ingenieros y científicas sociales bordáramos con nuestras manos y que, algunos, conviviéramos en espacios domésticos con quienes bordan en Cartago; asimismo, entrar en contacto con las prácticas implicó que las comunidades de bordadoras y científicas sociales participantes se involucraran con prácticas de diseño tecnológico como la construcción de circuitos eléctricos (fig 3.3).



Figura 3.3: Fotografías de talleres *hands-on* en los que nos involucramos directamente con las prácticas de las comunidades participantes. **A.** ingeniero realizando un patrón de calado que diseñó previamente. **B.** Pesebre bordado por una bordadora de Cartago; el bordado incluye el circuito que permite que se enciendan algunas zonas. **C.** Bordadora y estudiantes de tecnología en electrónica de Cartago, bordando circuitos en un taller de contacto tecnológico. **D.** Ingeniero aprendiendo a deshilar, uno de los procesos base en la elaboración de calados caratagüeños.

Este reconocimiento, sin embargo, no es ilimitado. De acuerdo con Wenger [83] y con King [40], participar en las prácticas de una comunidad no implica la intención de ser miembro de esa comunidad, sino tener un conocimiento incorporado de la práctica de otros *suficiente* para dialogar en torno al diseño. Así, los académicos de BCP no bordamos con la intención de convertirnos en bordadores, sino con el propósito de reconocer e incorporar aspectos del

bordado relevantes para el diseño tecnológico.

3.1.2. Diálogo

El diseño participativo considera que el diseño es un proceso fundamentalmente social, en el que se hace necesario difuminar las fronteras entre usuarios y diseñadores, así como las fronteras disciplinares entre diferentes áreas del conocimiento [44]. Dentro de las comunidades participantes en el diseño, sus miembros utilizan códigos propios para representar lo que saben y hacen y de esta manera comunicarse efectivamente con sus pares. Sin embargo, un proceso participativo implica encontrar lenguajes comunes que permitan comunicar y discutir efectivamente las ideas, así como negociar decisiones de diseño, *entre* comunidades diversas; e incluso entre áreas afines como la ingeniería de sistemas y la electrónica.

Desde la experiencia en el proyecto BCP y con base en enfoques recientes como el mencionado en la sección anterior, *Constructive Design Research* [2, 38], se propone que el *diálogo a través del hacer*, como filosofía en el diseño de interacciones tangibles, facilita la horizontalidad y pluralidad en la comunicación entre los miembros del equipo investigador. Este diálogo tiene una dimensión material importante, que se discute a continuación.

Dentro del equipo de BCP, el diálogo más importante ocurrió en talleres «*hands-on*» durante los cuales entramos en contacto con las prácticas propias y de otros, así como con los prototipos que hicieron parte del diseño. Estos diálogos tuvieron un componente tácito muy importante, donde el reconocimiento y la toma de decisiones ocurrieron observando e interactuando con las materialidades propias de las prácticas y con las que surgieron en el proceso de diseño. Un ejemplo relevante es la presentación de la dimensión tecnológica a las bordadoras a través de un taller de contacto tecnológico. Este taller tuvo dos elementos importantes, el primero es que se realizó con estudiantes de tecnología en electrónica de Cartago, que además de estar relacionados con el bordado por ser tradicional en la región, contribuyeron a incrementar el carácter *local* del taller. El segundo componente es que estuvo enfocado en bordar circuitos, utilizando para ello materiales propios de la labor del bordado (telas, hilos, tambores, agujas) y del desarrollo electrónico (baterías, elementos conductores, LEDs), en particular, haciendo uso del kit de bordado electrónico Arduino Lilypad². Sin embargo, por los recursos limitados que dificultaron la participación, fueron pocos los escenarios de encuentro que permitieron estar en el mismo espacio, interactuando a la vez con las mismas materialidades. Con esta limitación y dada la necesidad de un diálogo continuo, se hizo indispensable la comunicación a través de inscripciones gráficas como videos de las bordadoras realizando la labor de bordar, que se constituyeron como materialidades en sí mismos [12].

Regresando a la definición de interfaces tangibles, es a través de elementos físicos que se representa, manipula y accede la información digital. En este sentido, el proceso de diseñar interacciones tangibles requiere de diálogos en los que la dimensión material esté continuamente *presente* y se considere parte vital de la interacción [27, 30]. Esta vitalidad se ancla al valor simbólico y cultural de las formas físicas, que Gross define en términos de un rol dual: lo material como mediador y como participante activo en la experiencia de interacción [22, 27].

Adicionalmente, tanto el diálogo a través del hacer, como el reconocimiento, están ligados a la fenomenología, ampliamente estudiada desde la perspectiva de HCI [19, 37, 74, 84]. Desde un enfoque fenomenológico, la forma en la que comprendemos y reconocemos el contexto en el que estará inmersa la interacción, está determinada por la

²Arduino Lilypad es una tarjeta de desarrollo diseñada para su utilización en *wearables* o tecnología vestible. Los kits de Arduino Lilypad incluyen hilo conductor, actuadores y sensores diversos, todos compatibles con la tarjeta. Más información se encuentra disponible en: <http://www.arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/ArduinoBoardLilyPad>

forma en que estamos y nos relacionamos, corporalmente, con las materialidades propias de ese contexto. Gallagher, en referencia a la fenomenología, especifica que «nos involucramos con otros y con el mundo principalmente como agentes incorporados y no como observadores pasivos o mentes independientes» [23]. Lucy Suchman, en su libro «*Plans and Situated Actions: The Problem of Human-machine Communication*», argumenta que los cursos de acción humana, en este caso las decisiones de diseño, dependen continuamente de las situaciones sociales y *materiales* que circunscriben cada momento de interacción entre los diferentes actores y los actores en relación con el ambiente (contexto del diseño) [72].

3.1.3. Representación

La representación se hace posible cuando los participantes pueden sugerir, discutir y negociar ideas de diseño porque tienen suficiente reconocimiento del dominio de conocimiento de los otros participantes y de su conocimiento propio (sec. 3.1.1), y además, son capaces de dialogar a través de un lenguaje común (sec. 3.1.2). Esto implica desear y dar forma a las ideas como inscripciones gráficas y objetos tangibles, que reflejan las diversas opiniones y son relevantes para las comunidades involucradas. Conceptualmente este eje se relaciona con la propuesta de Ingeniería Semiótica de Clarise de Souza (sec. 2.1.1). Esta teoría entiende la computación como un medio en el que los dispositivos computacionales tienen un gran carga simbólica, pues es a través éstos, y en particular de sus interfaces, que los diseñadores se comunican con los usuarios. Así, los artefactos que se derivan de los procesos de diseño se constituyen en materializaciones que nos representan como diseñadores, representan el contexto en el que se toman las decisiones de diseño e ilustran nuestro entendimiento sobre cómo, para qué y por qué serán usados [52].

El diseño requiere continuamente de representaciones que tienen significados sujetos a interpretaciones [60] y que proveen la posibilidad de explorar, comunicar y grabar ideas [35]. Algunas áreas del conocimiento son disciplinadas en su manera de representar, utilizando formas estandarizadas como diagramas esquemáticos, de estados y transiciones, de casos de uso, etc. Sin embargo, el diseño de interacciones es plural en su esencia, y requiere la diversificación en los modos de representar, incluyendo dibujos, conversaciones, mapas mentales, metáforas, y de particular interés para el diseño de interacciones tangibles, acciones. De acuerdo con Wegner, el entendimiento de estas representaciones únicamente es posible a través del involucramiento en las prácticas de las comunidades participantes, gracias al cual las interpretaciones dentro del equipo de diseño están acotadas dentro de una frontera común a los participantes [83]. Finalmente, estas representaciones existen en dos formas: como mediadoras durante el proceso de diseño y como representaciones finales, que son las que el usuario percibe e interpreta [59]. Estas últimas son las que toma en cuenta la Ingeniería Semiótica en su interpretación de las interfaces como medios y la interacción como un proceso semiótico.

Diversos modos de representación tuvieron lugar en el proyecto BCP, de los que he seleccionado uno como ejemplo relevante. Éste corresponde a la decisión de incluir un modelo computacional de la forma en que se *visualizan* puntadas que ya se elaboran en el calado cartagüeño (cap. 5). Este modelo computacional de puntadas representa que *i*). como diseñadores consideramos que la labor artesanal de elaboración de calado debe preservarse, en tanto el modelo computacional no evoca el proceso de elaboración, sino la forma en que se ve el resultado final, *ii*). reconocemos que la innovación en los calados cartagüeños está asociada a la forma en que se combinan puntadas que ya se realizan, y no a la creación de nuevas puntadas, *iii*). reconocemos que las caladoras tienen la capacidad de reproducir -elaborar- calados a partir de la muestra de un patrón terminado en el que se combinan diferentes puntadas. Este ejemplo también evoca la dimensión material de la computación, pues el modelo mismo representa las materialidades del

bordado; esto es, aunque el hilo y la tela sean presentados como líneas sobre una pantalla, la forma en que se dibujan debe representar las restricciones propias de esas materialidades, como que el hilo debe ser siempre sostenido por la tela [12].

3.2. Forma de trabajar *-way of working-* y forma de controlar *-way of controlling-*

En esta sección se propone una metodología para hacer operacional la filosofía descrita en la *forma de pensar* (sec 3.1). Esta metodología se organiza en cuatro hitos iterativos, incrementales y abiertos: reconocimiento y reflexión, ideación, prototipado y experimentación (fig.3.4). La metodología es acompañada por la *forma de controlar* que se presenta como una serie de lineamientos que guían la ejecución de los ciclos bajo el esquema propuesto y se complementa con consideraciones orientadas a la metodología desde un enfoque participativo. Inicialmente se especifica a qué se refiere el que la metodología propuesta sea iterativa, incremental y abierta, posteriormente se ejemplifica presentando brevemente los ciclos de diseño que han tenido lugar en BCP, se continúa con la presentación de los hitos y se finaliza con el señalamiento de algunas consideraciones de la metodología.

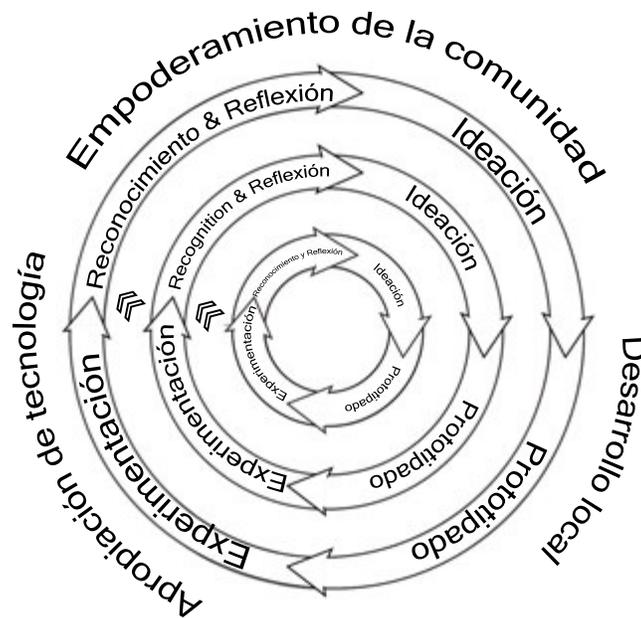


Figura 3.4: Metodología propuesta como forma de trabajar - *Way of Working* -

3.2.1. Metodología iterativa, incremental y abierta

Ciclos *iterativos* significa que la metodología requiere ir y volver varias veces antes de llegar a una idea concreta de los artefactos y que existe una conexión entre los hitos. Esta conexión, entre otras relaciones, implica que debe existir un proceso reflexivo sobre todas las ideas prototipadas y experimentadas, lo que incluye reconocer la reacción de los diferentes actores al interactuar con los prototipos y reconocer cómo esas materialidades reconfiguran el proceso mismo de diseño. El ir y volver está estrechamente ligado al concepto de incremental, pues no se refiere a regresar a

puntos anteriores en el diseño, sino a idear, prototipar y experimentar continuamente en el contexto de las prácticas participantes.

Incremental en este caso difiere de la forma en que se utiliza el concepto en ingeniería de software; no se refiere exclusivamente a un diseño incremental sobre el artefacto, sino que incluye una forma incremental de representar mejor a las comunidades involucradas. Así, pasar de un ciclo al siguiente sugiere que hay mayor inmersión en el proyecto, lo que hace que sea más fácil traducir las ideas en resultados relevantes. En este caso incrementar el diseño, o pasar de un ciclo al siguiente, está determinado por los aprendizajes que se tengan del contexto, lo que a su vez supone mejores representaciones de la comunidad. Jakob Nielsen describe el diseño incremental como aquel que tiene como meta «un refinamiento basado en el aprendizaje de lecciones aprendidas de iteraciones previas» [50]. Si bien Nielsen hace énfasis en el refinamiento de prototipos - artefactos -, en esta propuesta lo incremental no se restringe a esta visión artefactual. En este sentido, el paso se da cuando ocurre un cambio significativo sobre el diseño, que se entiende como el «barrido» de nuevas ideas dentro de las fronteras del proyecto, la adición o remoción de aspectos relevantes sobre ideas alrededor de las cuales se está experimentando, así como «barrer», justificadamente, ideas hacia fuera de los límites del proyecto [48]. La acción de marcar ideas fuera del proyecto se considera como evolutiva porque indica una mejor comprensión del contexto dentro de la investigación/diseño, y permite que estas ideas o prototipos sean usados como contra-ejemplos.

Abierta considera que los resultados no son *solamente* los artefactos terminados, sino un empoderamiento de las comunidades que facilita la apropiación de las tecnologías diseñadas, el desarrollo local de nuevas tecnologías sostenibles, así como apropiación e incorporación de los procesos llevados a cabo como parte del diseño. De un lado, esta consideración lleva a argumentar que en la práctica los artefactos que se deriven del proceso de diseño, son resignificados y re-significan las comunidades usuarias [51]. De otro lado, el fuerte enfoque de exploración y diálogo que tiene ApTUI considera que el proceso de exploración conjunta, diálogo de saberes y mutuo aprendizaje alrededor de las prácticas, es en sí mismo un resultado de la investigación/diseño.

La propuesta de estos ciclos reconoce la pluralidad metodológica intrínseca de los procesos de diseño multidisciplinarios y participativos. Una de las cualidades más importantes es que los ciclos están orientados a que el diseño y la investigación ocurran en la práctica, orientación que deja abiertas múltiples posibilidades de articulación con otros métodos o metodologías, dependiendo de cada proyecto particular. Ejemplos de éstos son el uso de métodos etnográficos en el diseño tecnológico, y en particular en el diseño de interacciones [58], métodos centrados en el usuario [81] o métodos propios del diseño participativo como ETHICS [43] o MUST [36].

3.2.2. Ciclos en el proyecto Bordando el Conocimiento Propio

En el proyecto de Bordando el Conocimiento Propio, la etnografía fue el método de mayor articulación, a partir del cual se tomaron las decisiones de diseño más relevantes. La etnografía fue fundamentalmente realizada por científicas sociales, quienes involucraron al equipo de ingeniería a través de talleres de presentación de la sistematización del trabajo de campo y la investigación cualitativa. Adicionalmente, el trabajo etnográfico incluyó mi participación en campo, conviviendo en espacios domésticos con las bordadoras, tomando clases de bordado directamente en Cartago, experimentando con las bordadoras sobre los prototipos tecnológicos, entre otras actividades. Hasta este momento (Junio de 2015), se distinguen 3 ciclos de diseño en BCP, resumidos a continuación.

1. **Tecnología asistencial.** Este ciclo se caracterizó por un reconocimiento inicial de parte del equipo académico,

del contexto cartagüense. En esta etapa las ideas de diseño tecnológico estaban enfocadas en asistir la situación de precariedad de quienes bordan en la región. Así, ideas como artefactos tecnológicos que cuentan las historias de las personas que bordan a un cliente que compra una prenda bordada para que este último reconozca un mayor valor económico, fueron las protagonistas. Estas ideas, aunque válidas en otras situaciones, fueron puestas fuera de los límites del proyecto porque el trabajo etnográfico de las científicas sociales permitió reconocer que suponían lugares subordinados de las bordadoras respecto al equipo académico [54]. Así, reconocer el rol de las bordadoras como co-creadoras, con el propósito de lograr un diseño participativo, permitió comprender y apropiarse el bordado como tecnología, y poner a dialogar saberes de la labor de bordar con saberes de la tecnología, a un mismo nivel. Este reconocimiento fue el factor de cambio que guió el paso al siguiente ciclo de diseño.

2. **El bordado como conocimiento.** Este ciclo de diseño estuvo marcado por el asombro. A través de actividades de investigación cualitativa, de carácter etnográfico, el equipo de ingeniería del proyecto tuvo un acercamiento más corporal al bordado. De un lado, a través de talleres en los que aprendimos a bordar. De otro lado, por medio de actividades con las bordadoras donde observamos, sentimos y discutimos en torno a piezas bordadas y dechados³. En atención a estas observaciones y por las razones señaladas en la introducción (cap 1), en este ciclo se tomó la decisión pensar el desarrollo tecnológico en torno al calado específicamente y no al bordado en general. El asombro ocurrió al reconocer propiedades matemáticas complejas en los calados (teselaciones, simetrías, manejo de ejes coordenados, etc) y particularidades de la técnica que requieren de gran experticia y conocimiento incorporado. En este ciclo trabajamos alrededor de la idea de un lápiz que permitiera dibujar nuevas puntadas simulando el movimiento del hilo sobre la tela. A través de prototipos sobre papel experimentamos alrededor de la idea, encontrando que no era apropiada porque *i)* los patrones que se obtuvieron no fueron reconocidos como *calables*, y *ii)* la innovación en los patrones de calado no está asociada a nuevas puntadas, sino a formas diferentes de combinar puntadas que ya se realizan en Cartago.
3. **Tecnología bordada.** El proyecto se encuentra en este ciclo actualmente, en el que el trabajo se ha concentrado en el reconocimiento de las prácticas asociadas a la artesanía de calado. En este proceso se ha llegado a decisiones de diseño relevantes como el de una interfaz tangible como mediadora de diálogo entre quienes diseñan prendas y quienes las calan. El análisis de los patrones de calado nos llevó a la metáfora de las puntadas como estampas sobre la tela. Simplificando el proceso creativo para describirlo de forma concreta, este análisis encaminó el proyecto hacia la elaboración de elementos tangibles que al ser ubicados sobre pantallas capacitivas como las de dispositivos móviles, estamparan imágenes de las puntadas. Estas estampas se simulan sobre la representación digital de la tela, siguiendo las propiedades de la artesanía y cuidando las restricciones de su técnica, para facilitar el diseño de patrones de calado. En el capítulo 5 se detalla el prototipo de la interfaz. Uno de los procesos más importantes de este ciclo es que a partir de los talleres de bordado electrónico y de experiencias previas de los participantes, llegamos a tangibles que literalmente son bordados con hilo conductor. Además, es precisamente su bordado el que permite interactuar con las pantallas capacitivas a través de los tangibles. Finalmente, uno de los logros más significativos de este ciclo es que las caladoras reconocen los

³Los dechados son trozos de tela sobre los que las bordadoras elaboran, a manera de mostrario, puntadas que saben realizar. Éstos, además, son usados para experimentar y aprender nuevas puntadas. En algunos casos las bordadoras dejan hebras sueltas en puntadas complejas para recordarlas des-haciéndolas y re-haciéndolas parcialmente.

patrones simulados con la interfaz como *calables* y al verlos, empiezan a realizar la labor.

3.2.3. Hitos

Reconocimiento y reflexión

Este hito incluye observar activamente, escuchar receptivamente [82] y analizar trabajos relacionados. Se sugieren actividades como etnografía, talleres *hands-on*, entrevistas, reuniones e incluso charlas informales. Los artefactos derivados de este hito son típicamente documentos de sistematización que presentan análisis cualitativos y cuantitativos que resultan de la experimentación y el reconocimiento en el trabajo de campo. La documentación puede estar acompañada de presentaciones, imágenes o videos que faciliten una lectura analítica de la sistematización. Otros artefactos pueden ser estados del arte, redes de ejemplos o bases de datos en las que se haga referencia a publicaciones relevantes para la investigación.

Ideación

Consiste en desear, proponer, discutir y negociar formas en las que la tecnología se puede tejer en el contexto. Es un espacio abierto de creación, por ejemplo en BCP viajamos desde ideas de artefactos para oler, tocar y escuchar el bordado, hasta ideas más realizables a corto plazo como la de tangibles para estampar representaciones digitales de puntadas. Para este hito se proponen actividades de creación como dibujos, mapas mentales, modelado con elementos como plastilina, agrupaciones y asociaciones, entre otras. Como actividades asociadas a la presentación de ideas se proponen *storyboards*, narración oral o escrita, teatro, entre otras formas de comunicar que sean comprensibles por los participantes. Finalmente, se proponen actividades de discusión como debates, foros, y algunas más específicas para el diseño de interacciones como *Bull's eye diagramm* o *Round Robin* [32]. Estas actividades de materializan en inscripciones gráficas [41] y documentos.

Prototipado

Se refiere a dar forma física a las ideas. Incluye prototipado asociado al artefacto tecnológico que está siendo diseñado y prototipos orientados a la experimentación para reconocer el contexto. Se hace especial énfasis en los prototipos como medios de experimentación que no necesariamente son modelos funcionales que se acercan a la solución de un problema; siguiendo a Brown, el propósito de los prototipos es dar forma a una idea para mostrar sus fortalezas y debilidades y así identificar nuevas direcciones [4]. De acuerdo con Petrelli (*et al.* [57]), los prototipos físicos son los que nos permiten evaluar la integración de función y forma, componentes centrales en el diseño de interacciones tangibles. En BCP, por ejemplo, uno de los participantes tuvo la idea de pensar las puntadas como dibujos, a esta idea se le dio forma a través de un prototipo en papel que correspondía al dibujo de las puntadas usando colores diferentes según la capa de la tela sobre la que se ponía el hilo (derecho, revés). Con este prototipo se esperaba experimentar alrededor de la idea de un lápiz para dibujar puntadas; después de un proceso de experimentación y reflexión sobre el prototipo se evidenció que las bordadoras no asociaban las puntadas dibujadas al calado sino a otro tipo de bordados como el español.

Este hito incluye diversidad de posibles actividades asociadas a prototipado. Mencionando algunas, está el prototipado rápido, en tres formas posibles: embebido, que significa embeber objetos existentes en otros contextos, de

apertura, que se refiere a prototipar usando como elementos partes de objetos existentes, y de combinación, que corresponde a la unión de varios objetos existentes en un mismo prototipo [57]. Existen actividades asociadas a prototipos en papel, *mock-ups*, creación de prototipos *Lo-Fi* (de baja fidelidad) y *Hi-Fi* (de alta fidelidad) asociados al producto, entre otros. En esta etapa de la metodología los artefactos resultantes son los prototipos mismos.

Experimentación

Es el proceso en el que se usan materialidades propias de las prácticas y generadas como parte del proceso de diseño, estas últimas correspondientes a los prototipos. Fundamentalmente la experimentación se realiza a través de talleres *hands-on*, estrechamente ligados a la reflexión. Experimentar y reflexionar sobre la experimentación constituyen los procesos de evaluación y validación de la metodología propuesta.

Esta fase metodológica se acerca conceptualmente a la propuesta de *thinking through doing* (pensar a través del hacer), detallada por Klemmer, Hartmann y Takayama en su artículo «*How Bodies Matter: Five Themes for Interaction Design*» [37]. Los autores se basan en la fenomenología para proponer que es través de la interacción física con el mundo que se aprende sobre él y sus propiedades. En particular, mencionan dos formas de experimentación: la acción epistémica, que se refiere a la manipulación de artefactos para entender mejor el contexto, y la acción pragmática, concerniente al uso de artefactos con el propósito directo de completar una tarea. Adicionalmente y en relación con la conexión entre la experimentación y la reflexión, los autores mencionan la práctica reflexiva como una forma de evaluación *trabajando sobre* y no sólo *pensando sobre* el diseño.

3.2.4. Consideraciones sobre la participación

En este apartado se presentan algunas consideraciones metodológicas y filosóficas desde el enfoque participativo y bajo las formas de pensar y trabajar detalladas anteriormente. Se consideran: el alcance de la participación, el rol del usuario como co-diseñador y la toma de decisiones de diseño.

Sobre el alcance de la participación se propone un enfoque de diseño participativo que no implica, necesariamente, que todos los actores participen en todas las tareas, todo el tiempo. Esta propuesta reconoce que los recursos limitados, distancias geográficas y lenguajes especializados propios de las diferentes áreas y formas de conocimiento, hacen poco viable una forma de participación completamente inmersiva [13]. En este sentido, se argumenta que a través del reconocimiento, el diálogo y la representación, es posible lograr formas sinérgicas de participación donde se materialicen ideas colectivamente, al tiempo que se potencializa el saber de cada comunidad participante y su contribución al diseño. Esta forma de participación se aproxima a lo que Kyng define como una experiencia de aprendizaje mutuo con limitaciones, ya que no es posible (ni deseable) que unas comunidades entren completamente a ser parte de las otras [40]. Adicionalmente, el uso de inscripciones gráficas, como los videos de las bordadoras realizando la labor en el caso de BCP [12], contribuyen a un diálogo indirecto en el que no es necesario estar en el mismo espacio, al mismo tiempo.

Sobre el rol del usuario como diseñador se hace referencia a González y Dahanayake [26], quienes argumentan que los usuarios no deben ser consultados al inicio y al final del proyecto, sino que deben tener una participación continua que incluya discusiones sobre la «*situación problema*» y no inicie con soluciones tecnológicas preconcebidas. En la metodología presentada como parte de ApTUI, se propone que la participación continua se facilita dialogando y aprendiendo a través del *hacer* propio de las prácticas participantes. Esta orientación busca contrarrestar el desco-

nocimiento de las comunidades sobre su participación, además de permitir horizontalidad en la toma de decisiones de diseño. En BCP, por ejemplo, ha sido un desafío que las bordadoras se auto-reconozcan como diseñadoras de tecnología. Sin embargo, a través de talleres en los que ellas mismas bordan con hilo conductor, construyen circuitos y elaboran tangibles reconocidos por las pantallas de tacto, las bordadoras se han empoderado de su rol y han empezado a reconocerse como investigadoras y diseñadoras de tecnología.

Finalmente, sobre la toma de decisiones de diseño se hace necesario resaltar que la pluralidad del diseño participativo implica diversidad de opiniones que generan negociaciones y tensiones continuas. Como estrategia para lidiar con éstas, se propone el prototipado y la experimentación como herramientas de discusión. Así, las ideas de los participantes no sólo son evaluadas, sino manipuladas, re-formuladas, re-moldeadas e incluso justificadamente puestas fuera de las fronteras del proyecto. Este último punto implica una actitud reflexiva que permita asumir el cambio como una evolución en el diseño/investigación. Por ejemplo en BCP, la idea de un lápiz para ir dibujando las puntadas fue descartada como interfaz resultante; pero ha servido como contra-ejemplo constante para señalar nuestra comprensión del calado cartagüeño. Esta situación, sin embargo, implicó inicialmente frustración para algunos participantes que participamos fuertemente en dar forma y experimentar alrededor del lápiz.

3.3. Forma de modelar -*way of modelling*-

Esta sección corresponde a la forma de modelar, dimensión del *framework Ways Of* que está más asociada al producto. En ApTUI el producto corresponde a interfaces tangibles de usuario, caracterizadas por el uso de objetos físicos para acceder, manipular y representar información digital [33]. Si bien las interfaces en general requieren del uso de objetos físicos (como lo son la pantalla, el teclado y el *mouse*), la particularidad de las interfaces tangibles está en el valor simbólico y cultural de los objetos, de su relación con la cotidianidad y de la forma en la que se realizan acciones sobre ellos. Entendiendo esta cualidad de las interfaces tangibles, la propuesta de forma de modelar que se realiza está centrada en la consideración de una representación descriptiva de estas interfaces en la que se puedan percibir las relaciones que existen entre lo físico y lo digital, entre objetos físicos diferentes, y entre distintas entidades digitales. Por la complejidad de la forma de modelar y su relevancia para el trabajo de tesis acá presentado, esta dimensión se especifica en detalle en el capítulo 4: «Lenguaje de modelado de interfaces tangibles de usuario».

3.4. Forma de soportar -*way of supporting*-

La forma de soportar provee herramientas que contribuyen con el progreso del diseño y la representación del producto. Tomando como base la visión integral del *framework Ways Of* que incluye tanto la dimensión del proceso (diseño de interacciones tangibles), como la del producto (interfaces tangibles de usuario), en esta sección se proveen herramientas que contribuyen con ambas dimensiones. En cuanto al proceso, se presentan herramientas usadas en el proyecto BCP y otras como referencias de otros procesos participativos que se consideran de utilidad. Sobre el producto, se presentan una herramienta para la especificación de requerimientos y una de modelado que permite la proposición de modelos de nuevas interfaces tangibles con base en el metamodelo propuesto (cap 4).

Herramientas de soporte metodológico

- **Redes de ejemplos.** Es una propuesta de esta investigación en la que se presentan trabajos relacionados a través de redes e hipervínculos. Esta forma de presentación permite encontrar relaciones fácilmente. Las redes se elaboran definiendo áreas de interés, encontrando referencias relevantes y relacionándolas con las áreas propuestas. Utilizando colores diferentes, zonas del dibujo, entre otras, se pueden relacionar ejemplos en más de dos dimensiones. En el **Anexo A** se presenta la red de ejemplos construida para el proyecto BCP.
- **Heurística crítica.** Es una herramienta propuesta por Werner Ulrrich que consta de doce preguntas orientadas a cuestionarse sobre la situación actual y la intervención del proyecto [77]. Así, las preguntas se enfocan en la comparación constante entre el «ser» y el «deber ser». Un ejemplo concreto es «¿Quién es el beneficiario del sistema?» en comparación con «¿Quién debería ser el beneficiario del sistema?».
- **Motivación para la creación.** Propuesta metodológica, realizada por Pérez-Bustos y Franco-Avellaneda [53], para el desarrollo de actividades en escenarios de educación no formal como clubes de ciencia y tecnología. Esta herramienta permite diseñar fácilmente actividades pensando en cuatro momentos: reconocimiento de referentes, motivación, creación y reflexión. Esta propuesta metodológica fue usada en el diseño de algunos de los talleres *hands-on* en el proyecto BCP.
- **Actividades de diseño centrado en el humano.** El instituto LUMA⁴ desarrolló un compilado de actividades de diseño centrado en el humano en el libro «Innovating for people - Handbook of Human-Centered Design Methods» [32] que están orientadas a la observación, la comprensión y el hacer. Dentro del proyecto BCP nos inspiramos en algunas de estas actividades como «*Bull's Eye Diagramming*», «*Round-Robin*» y «*Creative Matrix*», modificándolas de acuerdo con nuestros intereses particulares.
- **Actividades de *Bodystorming*.** *Bodystorming* es una técnica utilizada en el diseño de interacciones, que consiste en imaginar que un artefacto existe y actuar de acuerdo con esa existencia [61]. Esta técnica es potencialmente útil en la investigación basada en el diseño que se orienta al hacer y la incorporación de prácticas.

Herramienta de modelado

- **Plantilla Volere** Es una herramienta que permite la especificación de requerimientos funcionales y no funcionales, haciendo énfasis en categorías definidas para éstos últimos⁵. Es usualmente utilizada en la especificación de requerimiento de interfaces humano-computador [67].
- **General Modeling Environment.** Este *toolkit*, de acceso libre, permite la creación de lenguajes de modelado - metamodelos - de dominio específico⁶. Fue utilizado para implementar el metamodelo propuesto, como se muestra en el capítulo 4, y adicionalmente permite que sobre este mismo ambiente se puedan crear modelos específicos de interfaces nuevas, haciendo uso del metamodelo propuesto, al registrar el paradigma. El paradigma creado, para su utilización en la creación se nuevos modelos, se puede descargar de: <https://dl.dropboxusercontent.com/u/734089/TUIParadigm.zip>.

⁴<http://www.luma-institute.com/>

⁵<http://www.volere.co.uk/>

⁶<http://www.isis.vanderbilt.edu/projects/gme/>

Capítulo 4

Lenguaje de modelado de interfaces tangibles de usuario

While wholeness can be understood from a perspective that accounts for what something contains, the notion of meaning is about how this container is perceived and understood.

Wiberg, M. Methodology for materiality: interaction design research through material lens, 2014

En este capítulo se presenta el lenguaje de modelado propuesto: su semántica y notación visual o sintaxis. Se inicia con una descripción de los requerimientos establecidos para el lenguaje, de acuerdo con un análisis del estado del arte y una revisión de interfaces tangibles existentes. Posteriormente se presenta la semántica del lenguaje en términos de constructos y relaciones, especificada en lenguaje natural y representada en un diagrama de clases UML. El lenguaje inicialmente se propuso como una extensión de UML, creando un perfil con estereotipos y valores etiquetados [11]. Sin embargo, después de realizar pruebas de concepto con dos expertos, se determinó utilizar una notación visual enriquecida que permitiera obtener conclusiones rápidas, aún para personas no expertas en UML. Para desarrollar esta notación se utilizó una herramienta que permitiera el desarrollo de un metamodelo de dominio específico, en particular se usó *GME: Generic Modeling Environment*. En el documento de presenta el metamodelo de dominio específico propuesto y se detalla cómo construir modelos con él. Adicionalmente, se ejemplifica con dos modelos de interfaces tangibles, uno de los cuales corresponde a la *Marble Answering Machine* [68] frecuentemente usada para realizar pruebas de concepto de modelos, *frameworks* y *toolkits* orientados a las interfaces tangibles.

4.1. Requerimientos del lenguaje

- El componente estructural del lenguaje debe permitir la visualización de los constructos y de las relaciones *entre la dimensión física y la digital* de la interfaz tangible.
- El lenguaje debe ser fácilmente comprensible por ingenieros de áreas diferentes asociadas a la computación. En particular, comprensible por ingenierías asociadas al *hardware* como la electrónica y al *software* como la ingeniería de sistemas.
- El lenguaje debe permitir una descripción integral del sistema que a su vez permita una aproximación a su solución tecnológica.

- El lenguaje debe permitir la representación de un rango amplio de interfaces tangibles: del tipo TAC, superficies interactivas y bloques constructivos.
- El lenguaje debe ser de dominio específico, orientado al diseño de interfaces tangibles.
- El lenguaje debe permitir la especificación de las acciones que el usuario o el sistema puedan ejecutar con la interfaz tangible.
- La representación del metamodelo y de los modelos que con él se construyan deben ser formales.
- El lenguaje debe ser estándar o estar basado en un lenguaje estandarizado.

4.2. Semántica

4.2.1. Constructos

Objetos físicos. Agrupados como *PhysicalClass*, corresponden a objetos físicos pasivos, que no tienen ningún componente de *hardware* con alimentación. Ejemplos de estos objetos pueden ser vasos, lapiceros, pero también cubos con etiquetas impresas de tipo QR o reactTable, o etiquetas como *tags* de RFID. Inspirado en el paradigma TAC, existen dos tipos especializados de objetos físicos: *Tokens* y *Constraints*.

Tokens o *TokenClass* son objetos físicos *aprehensibles* que representan información digital o funciones computacionales [66].

Constraints o *ConstraintClass* corresponden a objetos físicos que limitan el movimiento de los *tokens* con los cuales son asociados [66].

Objetos hardware. Agrupados como *HWClass*, son objetos físicos activos que tienen unidad de procesamiento y almacenamiento. Pueden ser sistemas embebidos, como microcontroladores o tarjetas de desarrollo, o computadores de propósito general, como dispositivos móviles o de escritorio. Tienen sensores y actuadores.

Sensor. Se agrupan como *SensorClass*. Representan elementos físicos conectados al hardware cuyo propósito es sensor variables físicas. Es importante resaltar que en esta propuesta, un objeto físico no necesariamente es aprehensible (no es únicamente *Token* o *Constraint*). Así, el ambiente puede ser considerado un objeto *PhysicalClass*, y una variable a sensor puede ser la temperatura ambiente.

Actuador. Se agrupan como *ActuatorClass*. Representan objetos a través de los cuales un objeto hardware puede ejecutar una acción sobre un objeto físico, o controlarlo. Pueden representar actuadores reales, como un servomotor, o conceptuales, como un «apilador».

Objetos software. Agrupados como *SWClass*, estos objetos programan el hardware e implementan la capa lógica de la solución. Una clase *SWClass* controla una sola clase *hardware* y está compuesta por otras clases *DigitalClass*, equivalentes a las clases de UML.

Usuario. Este lenguaje permite modelar el rol del usuario (*UserClass*) como ejecutor de acciones sobre objetos físicos en el sistema. Las acciones pueden ser ejecutadas sobre un objeto en relación con sí mismo (como agitarlo) o en relación con otro (como ubicar un objeto sobre una mesa).

Acciones. Agrupadas como *ActionClass*, las acciones representan lo que el usuario o el sistema hacen sobre uno o varios objetos físicos. Se describen generalmente en términos verbales, y se relacionan con quién ejecuta la acción (el usuario o el actuador) y los objetos con los que se realiza.

Respuesta. Definidas como *ResponseClass* representan la respuesta del sistema a una acción del usuario o del hardware mismo. Por ejemplo, al poner un objeto sobre la mesa el sistema puede mostrar algo sobre la mesa, o puede iniciar un proceso en respuesta.

Evento-Trigger Corresponde a un evento que ocurre internamente en el sistema, por ejemplo un intervalo temporal, la recepción de una llamada, entre otros, y que genera una acción del hardware sobre objetos del sistema.

4.2.2. Relaciones

Entre objetos físicos. Existen tres relaciones posibles entre objetos físicos. *TACAssociation*, que ocurre cuando se establece una asociación entre un objeto físico del tipo *TokenClass* y uno del tipo *ConstraintClass*. Esta relación es en la que se concentran el paradigma TAC y el lenguaje TUIML [66]. *TangibleAssociation*, que se establece para posibilitar la asociación de objetos físicos que no necesariamente son un par *Token* y *Constraint*, abriendo la posibilidad al modelado de interfaces tangibles del tipo bloques constructivos, y finalmente, relación de *composición*, pues un objeto físico puede estar compuesto por otros objetos.

Entre objetos hardware. Esta asociación está descrita como una asociación de comunicación entre dos unidades de procesamiento (*HWClass*). Para detallarla, se propone el uso atributos con los que se puede definir cuántos y cuáles comandos hacen parte del protocolo, la trama, la tecnología, el estándar, etc.

Entre objetos hardware y objetos software. El metamodelo propone una relación *SWClass - HWClass* por cada clase *hardware* en el sistema. Esta relación representa el software que se programa o implementa sobre el *hardware*. Las clases lógicas (*DigitalClass*) componen la clase *SWClass*.

Entre objetos DigitalClass. Las clases *DigitalClass* representan las clases UML, en ese sentido, las relaciones posibles son de asociación, agregación, herencia y composición.

Entre usuarios y acciones. La asociación se establece cuando un usuario ejecuta una acción.

Entre actuadores y acciones. Se establece cuando un actuador, que es parte del hardware, ejecuta una acción.

Entre sensores y acciones. Se establece cuando el sensor, parte del hardware, sensa una acción o evento. Por ejemplo, si lo que sensa es el evento de poner, quitar o mover un objeto respecto a otro.

Entre sensores y objetos físicos. Se refiere a la relación que le permite al hardware, a través de los sensores, percibir variables físicas de los objetos. Por ejemplo, su temperatura, nivel de humedad, o su color.

Entre objetos físicos y objetos software. La relación se establece entre clases lógicas, de las tradicionales en UML, y objetos físicos. Es una relación de representación donde el objeto físico puede representar o ser representado por un objeto lógico.

4.2.3. Metamodelo

En la figura 4.1 se presenta el metamodelo propuesto donde se evidencian los constructos y relaciones presentados, a través de un diagrama de clases.

4.3. Metamodelo de dominio específico

Inicialmente se propuso un modelo de dominio específico como un perfil UML que hizo uso de sus mecanismos de extensión: estereotipos, valores etiquetados y restricciones. El perfil fue escrito con detalle en [11]. Sin embargo,

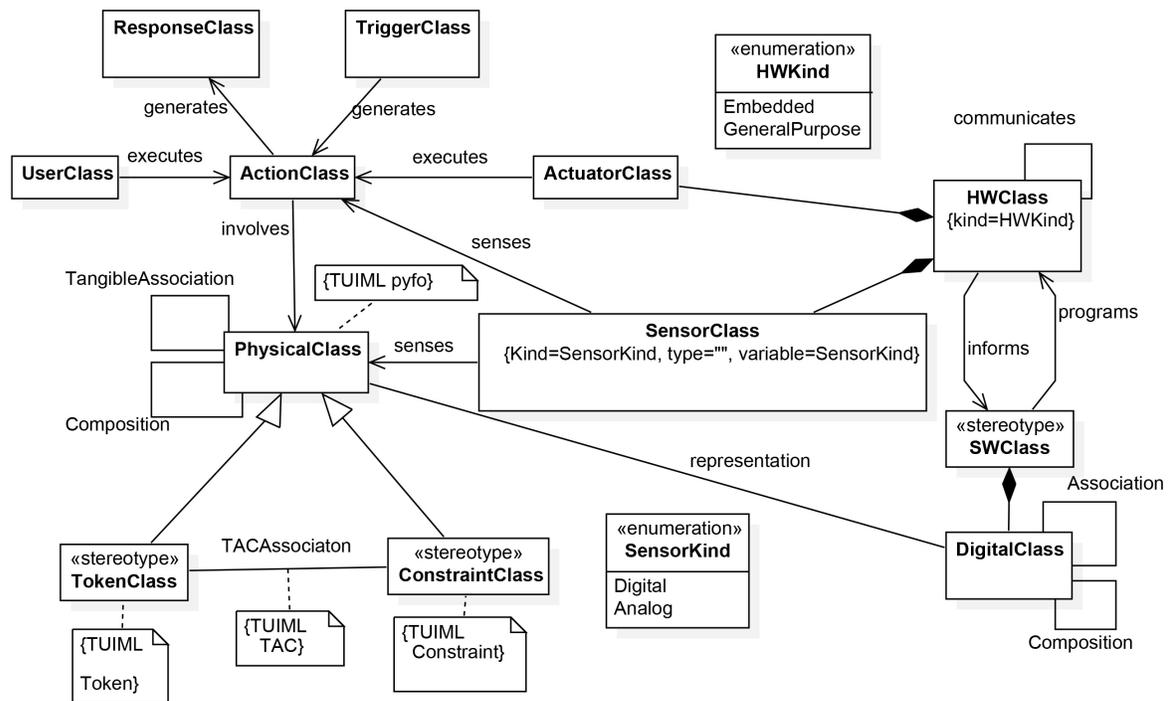


Figura 4.1: Metamodelo

al realizar pruebas de concepto con expertos en ingeniería de software e ingeniería dirigida por modelos, se encontró la necesidad de establecer un metamodelo con una notación más explícita y relacionada con la semántica propia de las interfaces tangibles. Esta sección presenta este modelo definido sobre *Generic Modelling Environment* (GME) una herramienta de modelado de dominios específicos. Inicialmente se hace una muy breve introducción a GME y posteriormente se presenta la notación visual para cada constructo y relación.

4.3.1. GME: *Generic Modeling Environment*

La información que se resume a continuación se tomó de [78]. GME es un conjunto de herramientas configurable para crear modelos de dominio específico. La configuración se logra a través de metamodelos que especifican el paradigma de modelado (o lenguaje de modelado) del dominio de aplicación. GME tiene dos componentes: MgaMeta, que define el lenguaje o paradigma de modelado y MgaModel, que usa el componente MgaMeta para permitir el diseño de modelos basados en el paradigma definido por MgaMeta.

Conceptos de modelado

El vocabulario de dominio específico se construye haciendo uso de los constructos propios de GME (fig. 4.2). Los usados en esta implementación son:

- *Folder* Un *folder* es un contenedor que permite organizar los modelos. Todo proyecto tiene un *folder* raíz (*RootFolder*) en el que se pueden guardar otros *folders* y modelos.
- *FCO*. *First Class Object* agrupa los conceptos que tienen un rol central en la creación de metamodelos: átomos,

modelos y conexiones.

- Átomos. Son entidades básicas que no tienen estructura interna, es decir, que no contienen otros objetos
- Modelo. Muy similar a los átomos, se diferencian en que los modelos contienen otros objetos como átomos, otros modelos o conexiones.
- Conexiones. Concepto que representa relaciones. En GME las conexiones pueden tener atributos.
- Aspecto: Representan diferentes vistas de la estructura de un modelo.
- Atributo: Propiedades que representan información que puede ser almacenada en un FCO.
- Referencias: Son equivalentes a los apuntadores en la programación orientada a objetos. No corresponden a objetos reales, sino a apuntadores a objetos reales (que hacen parte del modelo).

La utilización de MgaMeta y MgaModel para la creación de un lenguaje de modelado de interfaces tangibles, se presenta en la figura 4.2, en la que se muestra un equivalente por capas. En la sección 4.3.2 se detalla la implementación de la capa M2: TUIParadigm y en la sección 4.4, se presentan ejemplos de modelos en los que se usa el lenguaje (de la capa M2), que corresponden a la capa M1.

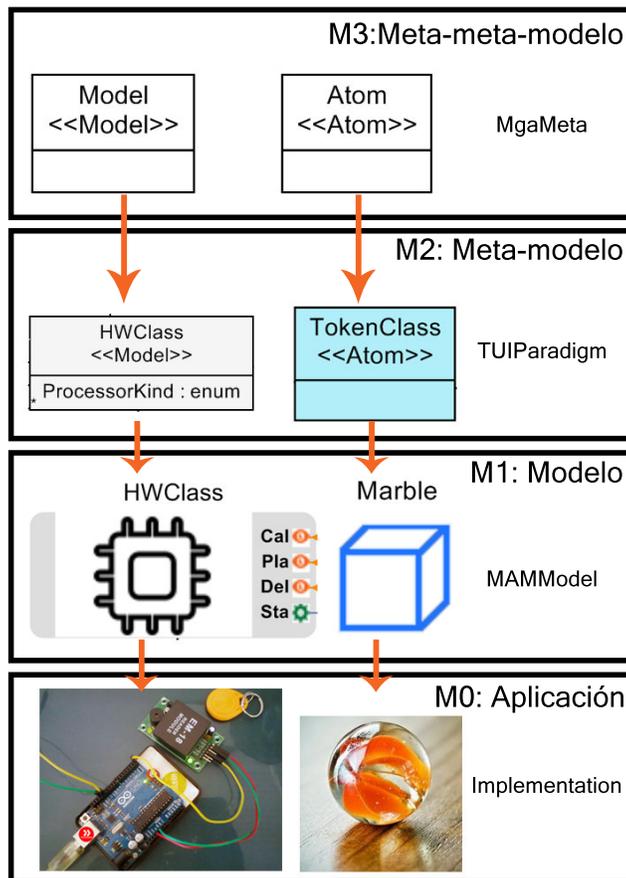


Figura 4.2: Capas de modelado

4.3.2. Implementación

La definición del metamodelo, una vez establecida la semántica, inicia con el desarrollo del diagrama de clases propio del dominio de aplicación -interfaces tangibles para este caso-, haciendo uso de MetaGME. Posteriormente se construye la visualización, definiendo qué elementos del metamodelo se visualizan en la construcción de los modelos y en qué vista. Por último, se definen los atributos de los constructos que los requieran. GME es extensible con la inclusión de elementos COM que se pueden programar sobre diferentes lenguajes de programación; como trabajo futuro se utilizarán estos elementos para enriquecer la visualización de los modelos y permitir la generación de código a partir de ellos. En el **Anexo C** se incluye el archivo fuente del metamodelo elaborado.

Existen dos diagramas principales: de arquitectura y físico-lógico. En el diagrama de arquitectura se incluye en el centro la interfaz (componente TUI) y a él se conectan todos los grandes elementos que intervienen en la interacción: usuario, hardware, software y objetos físicos. El diagrama físico-lógico se compone de ternas de la forma ModeloFísico-Hardware-Software. Se pueden incluir tantas ternas como el modelador decida. Estas ternas se refieren a interacciones que tienen lugar en el uso; tanto del modelo físico hacia el sistema, cuando un usuario ejecuta una acción a la que el sistema responde, como del sistema hacia el modelo físico, cuando ocurre un evento en el sistema que lo hace actuar sobre el modelo físico. Dentro de este diagrama se pueden crear tres subdiagramas específicos: de hardware, que incluye el procesador, los actuadores, los sensores y una referencia a las acciones u objetos que los sensores sensan, el diagrama de software que es equivalente a un diagrama de clases, pero con la posibilidad de referenciar objetos físicos de la interfaz que representan o son representados por las clases lógicas, y el diagrama de acciones, en el que se modelan las acciones de la forma: «**Usuario** ejecuta una **acción** con un **Token** en relación a un **Constraint** y esto produce una **respuesta**» o de la forma: «**Evento** genera que el **actuador** realice una **acción** con un **Token** en relación a un **Constraint**».

4.3.3. Notación

La migración del perfil UML a un metamodelo de dominio específico desarrollado sobre GME tuvo una de sus bases más fuertes en la notación. De acuerdo con Moody, la notación visual es crítica en la comunicación con los usuarios finales (usuarios del modelo) pues permite presentar información más efectivamente a personas no técnicas [49]. Al realizar pruebas de concepto con personas tanto expertas como no expertas en UML, se encontró que la diferenciación entre clases sólo a través del indicador de estereotipo «» dificultaba la rápida lectura del modelo, la detección de relaciones y la asociación del modelo con posibles soluciones tecnológicas. En vez de permitir una visualización paralela, lo que se busca con las notaciones visuales, el modelo requería una lectura serial. GME no sólo permite definir un ícono por defecto para cada clase, sino que a nivel de modelo también permite que el usuario personalice sus íconos; tarea permitida dentro del lenguaje acá propuesto. En la tabla 4.1 se presentan los íconos utilizados para cada uno de los constructos y relaciones del lenguaje propuesto.

Entidades	TUI		ActionClass	
	PhysicalClass		Response Class	
	TokenClass		TriggerClass	
	Constraint Class		SWClass	
	UserClass		DigitalClass	
	HWClass		References	
	SensorClass		PhysicalModel	
	ActuatorClass			

Relaciones	TACToken		Tangible Association	
	TACConstraint		Programs / Informs	
	Executes		Representation	
	Communicates		Association	
	Senses		Composition	
	Generates		Composition-Architecture	
	Involves			

Tabla 4.1: Notación visual del metamodelo propuesto

4.4. Ejemplos

4.4.1. *Marble Answering Machine*

La *Marble Answering Machine* (MAM) es una máquina contestadora tangible. Cada vez que alguien deja un mensaje de voz, una canica (o *marble*) se acumula en una pila, representando un nuevo mensaje. El destinatario puede escuchar el mensaje tomando la canica y poniéndola en una muesca de la contestadora; puede regresar la llamada a quien dejó un mensaje ubicando la canica en otra muesca; o puede borrar el mensaje regresando la canica a la máquina al arrojarla en el agujero. En la figura (figura 4.3) se presenta el modelo propuesto para esta interfaz haciendo uso del paradigma TUIParadigm, creado en GME.

4.4.2. Hormigas Conga

Esta interfaz es del tipo superficie interactiva. Consta de una mesa sobre la que se proyecta un paisaje que tiene dos zonas de tierra y una zona de agua que las separa. En una zona de tierra se encuentra el alimento y en la otra se encuentra el hormiguero. El objetivo del jugador es pasar las hormigas de un lado al otro de tierra, para que puedan llevar alimento al hormiguero. Para hacerlo, puede ubicar hojas sobre el agua y arrastrar la hoja cuando una hormiga haya subido a ella o puede armar un puente con varias hojas, para que las hormigas tengan un camino sobre el cual pasar. Todo esto deberá hacerlo antes de que el sapo, que vive en el agua, aparezca y se coma las hormigas. Finalmente, el jugador debe cuidar el no quitar una hoja del agua si hay una hormiga subida a ella, o la hormiga se ahogará. Para este ejemplo se realizó el modelo con TUIParadigm haciendo uso de íconos propios de la aplicación para tener una representación más significativa 4.4.

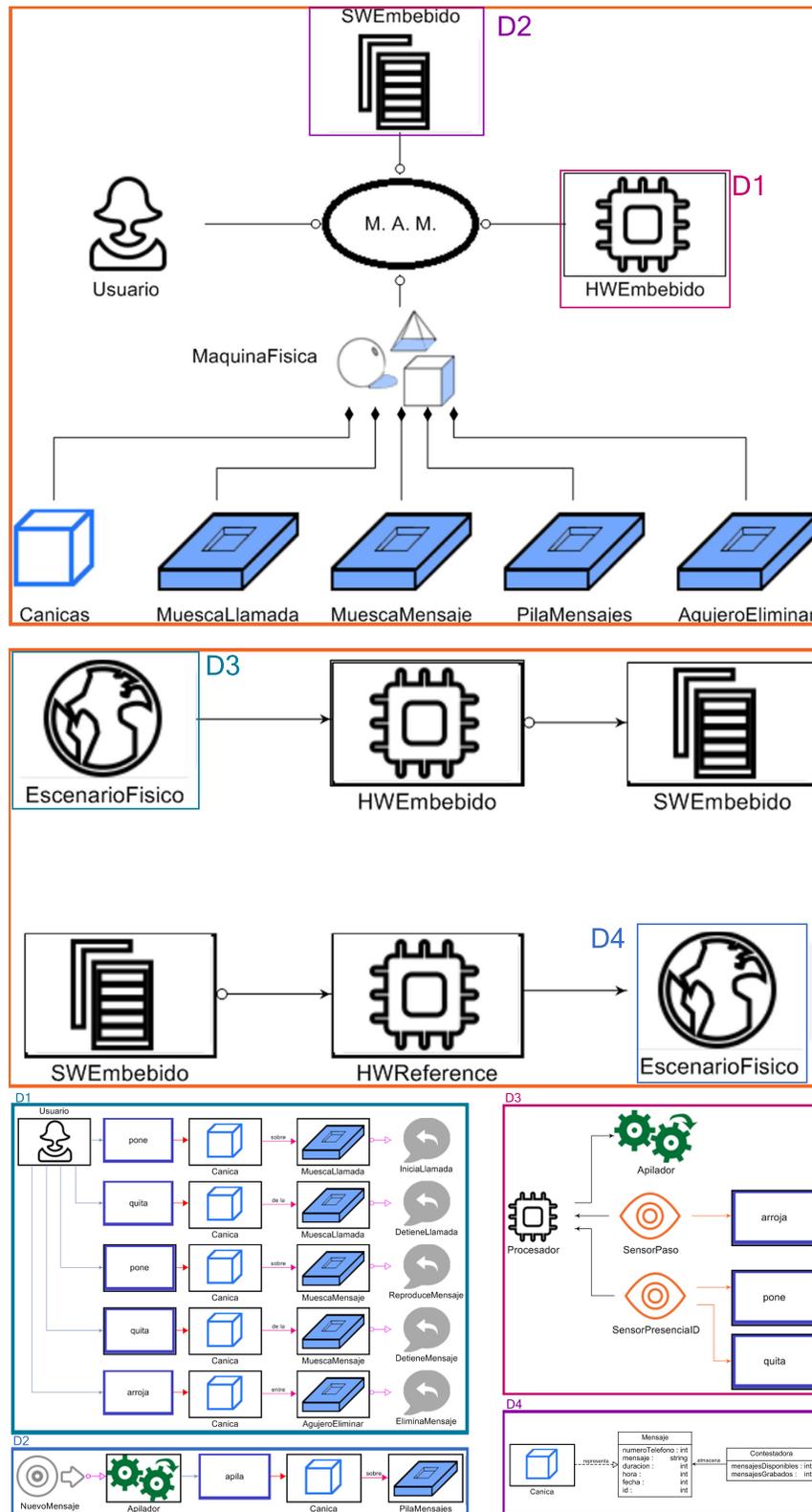


Figura 4.3: Modelo de la *Marble Answering Machine* usando *TUI Paradigm*. Arriba, diagrama de arquitectura. Medio, diagrama físico-lógico. Abajo, diagramas específicos de hardware, acciones y software.

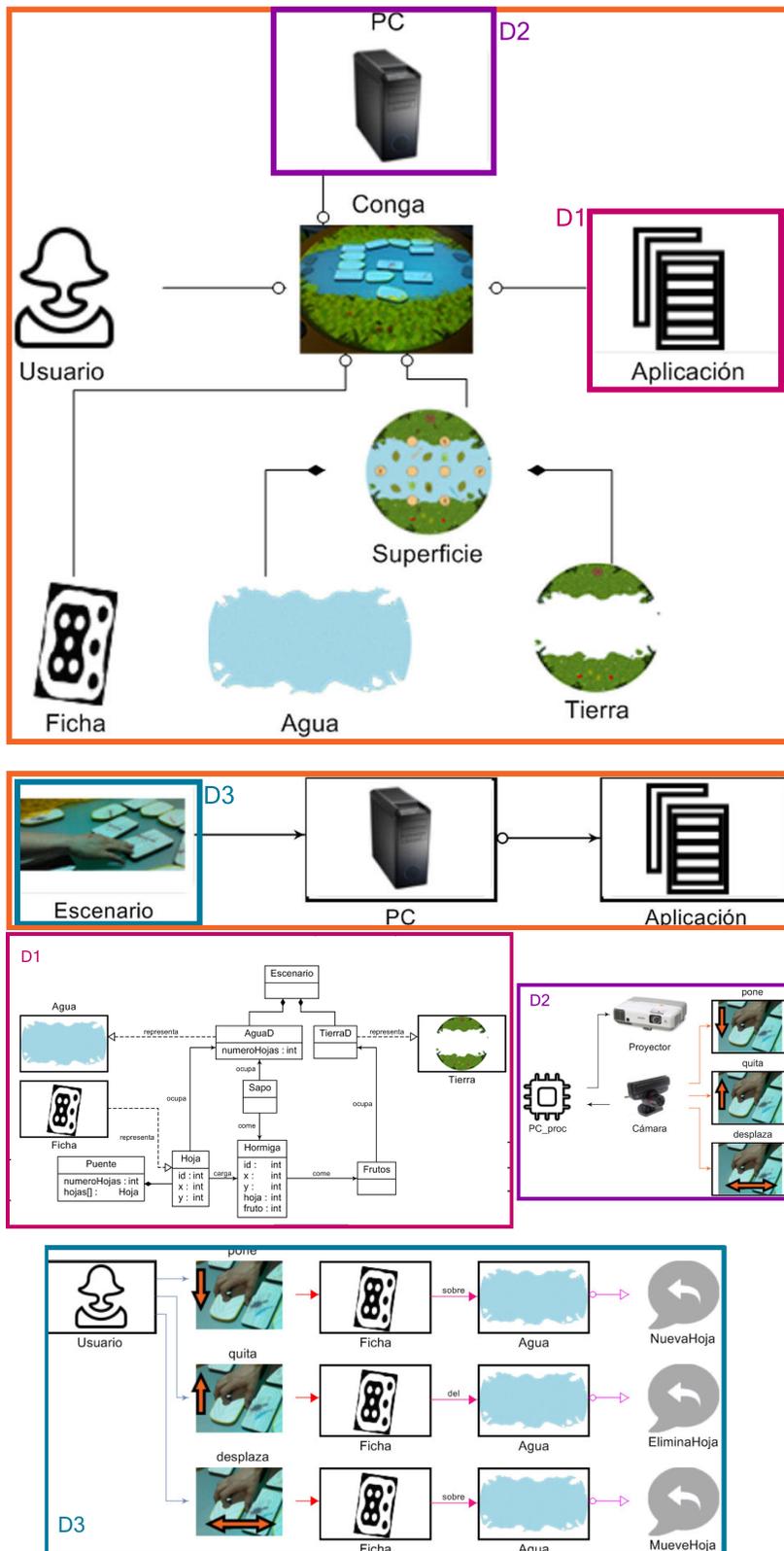


Figura 4.4: Modelo de la interfaz tangible Hormigas Conga con TUIParadigm usando íconos dedicados. Arriba, diagrama de arquitectura. Medio, diagrama físico-lógico. Abajo, diagramas de hardware, software y de acciones.

Capítulo 5

Prototipo de una interfaz tangible de usuario para diseñar patrones de calado

Materials such as conductive fibers, reactive inks, photoelectrics, and shape-memory alloys are already shaping new physical forms and new experiences that are redefining our relationship with materiality and with technology
Coelho, Marcelo - Transitive Materials: Towards an Integrated Approach to Material Technology

El diseño tecnológico que tuvo lugar en esta tesis hizo parte del proyecto de investigación «Bordando el conocimiento propio: Sistematización de experiencias y diseño participativo del tejido como práctica de cuidado en Cartago, Valle», en el marco de la convocatoria de COLCIENCIAS 609 de 2013: «Arte, Cultura y Diálogo de Saberes». En este capítulo se presenta el prototipo de alta fidelidad desarrollado: su concepto, la especificación de casos de uso y de requerimientos, el modelo de la interfaz, la solución tecnológica y los resultados de la experimentación al momento.

5.1. Concepto de la interfaz

Cala-ITU es una interfaz tangible de usuario orientada a mediar el diálogo de saberes asociados al diseño de modas o textil y al calado. La interfaz facilita el diseño de patrones de calado de acuerdo con las características y restricciones propias de esta técnica artesanal y de sus materiales. Inicialmente se identificaron dos usuarios: quien diseña y quien cala. Del lado del diseñador, la interfaz debía permitir la experimentación alrededor del diseño de nuevos patrones de calado; del lado de la caladora, la interfaz estuvo orientada a permitir la visualización de los patrones diseñados. Cala-ITU debía permitir la interlocución entre quien diseña y quien cala en tiempo de diseño y de elaboración del calado.

Por las posibilidades que ha permitido el proyecto, la experimentación se ha hecho en mayor proporción con las caladoras. Este proceso reconoce que actualmente son ellas quienes no sólo calan sino que, a través de procesos de copia creativa¹, también diseñan los patrones de calado. La interfaz abre potencialmente la puerta a quienes calan para que exploren directamente nuevas posibilidades del calado. Por ejemplo, una de las caladoras más expertas de Cartago

¹La copia creativa se da principalmente a través de la visualización de fotocopias tomadas directamente de prendas con calado. Adicionalmente, las caladoras de Cartago tienen tendencias repetitivas en los patrones: franjas, rombos y flores, que hacen percibir el calado como poco innovador

manifestó, después de experimentar con la interfaz, su interés por hacer calados en regiones cerradas pequeñas, para elaborar prendas caladas «diferentes y más fáciles de calar».

Como se presenta a continuación, el planteamiento de casos de uso y requerimientos estuvo enfocado en la interfaz para mediar el diálogo entre dos actores diferenciados: caladora y diseñadora . Sin embargo, el prototipado y la experimentación hasta el momento se han orientado específicamente al componente orientado a la creación de patrones, y aún no a su visualización remota ni a la discusión caladora/diseñadora. Adicionalmente, este trabajo se ha realizado principalmente con las caladoras, con quienes hemos encontrado que la tecnología no sólo debería estar orientada a mediar el diálogo entre quien cala y quien diseña, sino que debe posibilitar la experimentación alrededor de esta artesanía también de parte de las caladoras.

Breve introducción al calado

El calado es una técnica de bordado artesanal elaborada sobre telas con trama y urdimbre como el lino. Consiste en extraer de la tela algunos hilos, proceso llamado deshilar, para posteriormente re-bordar la estructura de la tela con hilos de colores, generalmente, muy similares al color de la tela (fig. 5.1).

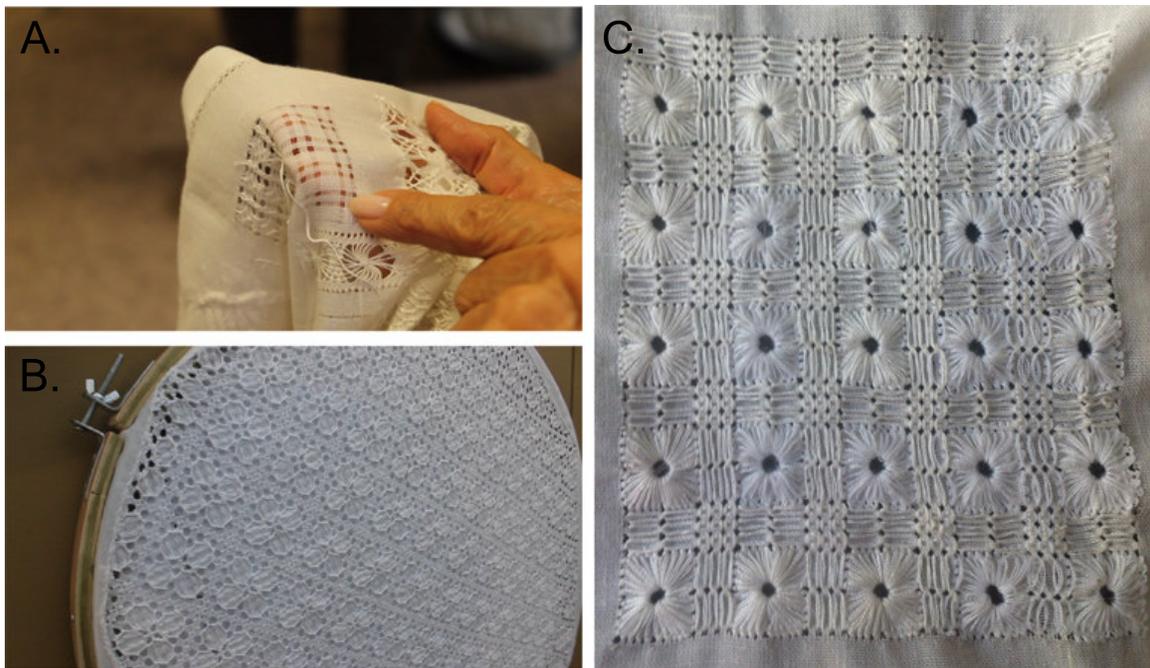


Figura 5.1: A. Sección de la tela que ha sido deshilarada. B. y C. Patrones de calado.

5.1.1. Diagrama de casos de uso

En el establecimiento de los casos de uso se identificaron cuatro actores: caladora, diseñador(a), administrador y sistema. Como se mencionó en la sección previa, hasta el momento caladora y diseñadora han sido un mismo actor en la mayoría de espacios de experimentación, reflexión, ideación y prototipado que hemos tenido. El actor administrador es el encargado de incluir nuevas puntadas (codificadas) en el sistema; a futuro, se espera que también las caladoras

tecnológica, específicamente para el diseño de patrones que puedan ser calados sobre una prenda usando las técnicas de Cartago, y en interlocución continua con las caladoras. El equipo académico cuenta con científica sociales, quienes participan en procesos etnográficos del diseño tecnológico e ingenieros quienes participamos en el diseño y desarrollo tecnológico.

Justificación y restricciones del proyecto. El calado bordado o por deshilado es una técnica que no se incluye usualmente en los diseños textiles modernos. Esta técnica, a diferencia de los otros tipos de bordado que se realizan en Cartago, no parte de un dibujo sobre la tela, sino de un resultado que se observa, se experimenta y se replica. Esta limitación del lado del diseño, aunque fortaleza del lado del saber-hacer de las caladoras, ha generado modelos de patrones que son muy propios de la localidad cartagüeña, pero que se perciben como repetitivos.

De acuerdo con los diseñadores, no incluyen el calado en sus prendas porque es difícil representarlo, por ejemplo a través de un dibujo. Esta dificultad en la representación se evidencia adicionalmente por la poca codificación que existe, ya que son muy pocos los libros y revistas que se encuentran de esta artesanía. Una motivación adicional para el diseño de esta interfaz es la de preservar la labor manual del calado, aunque permitiendo su enriquecimiento a través de la exploración de nuevos diseños. En relación con este interés, es importante resaltar que no se encuentran referencias de automatización del calado sobre tela por deshilado. Finalmente, como soporte del proyecto se tiene que la construcción del calado involucra conceptos matemáticos asociados a la geometría, la simetría, las teselaciones, y el dibujo con una línea, así como conceptos más sencillos como el conteo o el uso de coordenadas cartesianas. De acuerdo con las caladoras, contar hilos es la clave de un buen calado. La asociación matemática no es percibida por las caladoras, aunque está presente tanto en la elaboración, como en la artesanía misma.

Convenciones y definiciones

- *Calado.* Labor que se hace con aguja en alguna tela o tejido, sacando o juntando hilos, con que se imita la randa (el encaje) (RAE). Técnica de bordado, en la que la ornamentación se realiza sobre un deshilado que se elabora sobre la trama del tejido [1].
- *Bastidor.* Armazón de palos o listones de madera, o de barras delgadas de metal, en la cual se fijan lienzos para pintar y bordar, que sirve también para armar vidrieras y para otros usos análogos (RAE).
- *Vainica.* Bordado que se hace especialmente en el borde de los dobladillos, sacando algunas hebras del tejido (RAE).
- *Randa.* Guarnición de encaje con que se adornan los vestidos, la ropa blanca y otras cosas.
- *Rematar.* Dicho de un sastre o de una costurera: Afianzar la última puntada, dando otra sobre ella para asegurarla, o haciendo un nudo especial a la hebra (RAE).
- *Deshilado.* Proceso de sacar los hilos (hilos verticales) y las pasadas (hilos horizontales) del tejido de fondo, según el dibujo a realizar los rebordes de éste se bordan o embozalan y los espacios intermedios se rellenan con puntos o puntadas decorativas [1].
- *Embozalar.* Ajustar al tejido los hilos cortados en el deshilado. También se le dice así al amarre inicial que se le realiza a la hebra sin utilizar nudo [1].

* *Calable*. Propiedad que se atribuye a un patrón si se pueda calar en tela, siguiendo técnicas del bordado de Cartago.

* *ITU*. Interfaz tangible de usuario.

Hechos relevantes y supuestos. La labor de calar en Cartago, a diferencia de la de bordar, no se realiza sobre un dibujo en la tela. La base del trabajo está en contar y sacar hilos. Al realizar esta labor, el entramado de la tela es modificado, generando nuevas texturas y estructuras. Para poder completarlo de manera más rápida, las caladoras lo elaboran por etapas y por capas. La primera etapa es la del deshilado, en la que se extraen hilos en trama y urdimbre. La segunda etapa consiste en re-bordar la estructura usando hilos de colores, generalmente muy similares al color de la tela; este trabajo lo realizan por capas, bordando casi siempre en diagonal una capa y luego regresando para bordar otra capa. El calado se elabora sobre regiones cerradas, aunque en algunas prendas el borde de la región es uno de los bordes de la prenda (como en las guayaberas). La mayoría de regiones son cuadriláteros: rectángulos y rombos. Finalmente, se resalta la experticia de la caladora: las caladoras expertas son capaces de reproducir paso a paso el proceso de construcción de una pieza calada observando un calado terminado y experimentando sobre papel o tela hasta conseguir un resultado muy similar al original.

Alcance del trabajo. El trabajo espera fortalecer la relación entre saberes asociados al diseño de modas y textiles, la elaboración de calado y el diseño tecnológico, a través de talleres, actividades y herramientas que faciliten el diálogo y medien en la diversificación y reconocimiento de una técnica tradicional.

Alcance del producto. El sistema está compuesto por dos bloques: uno que permite el diseño de patrones y otro que permite la visualización «y señalamiento» de los patrones que están siendo diseñados. El bloque de diseño permite proponer patrones con base en las principales propiedades del calado. El bloque de visualización permite observar, comentar y señalar el patrón que está siendo diseñado, así como le permite a una caladora experta estimar su complejidad. Para el diseño de patrones se propone una interfaz tangible de usuario como medio de interacción con el sistema. Para la visualización, se proponen elementos que se puedan combinar con electrodomésticos, particularmente que se encuentren en casa de las caladoras, como el televisor y el teléfono.

Requerimientos funcionales y de datos. A continuación se presenta un listado de los requerimientos funcionales ordenados por prioridad. En el **Anexo B** se encuentran detallados, incluyendo para cada uno su descripción, justificación, fuente, criterio de evaluación, dependencias, conflictos, material de soporte e historia.

1. **Req. 1** Debe permitir la representación de puntadas de calado.
2. **Req. 3** Debe permitir el diseño de patrones que al ser construidos, generen un efecto de calado.
3. **Req. 4** Debe permitir la representación de regiones cerradas y la de grillas deshiladas entre las regiones creadas.
4. **Req. 5** Debe permitir que se varíen horizontal y verticalmente las dimensiones de la grilla sobre la que se va a diseñar un patrón.
5. **Req. 2** Debe permitir el diseño de patrones de calado siguiendo sus propiedades matemáticas como la simetría y las teselaciones.

6. **Req. 6** Debe permitir la simulación del patrón diseñado sobre la tela.
7. **Req. 7** Debe permitir la selección de una tela para simular la implementación de un patrón.
8. **Req. 8** Debe ser posible guardar un patrón.
9. **Req. 9** Debe ser posible acceder un patrón previamente guardado.
10. **Req. 10** Debe ser posible editar un patrón: incluir nuevas puntadas, remover puntadas, modificar el deshilado, añadir regiones, remover regiones o cambiar la tela.
11. **Req. 11** Debe ser posible imprimir un patrón.
12. **Req. 12** Debe ser posible deshacer una acción sobre un patrón.
13. **Req. 13** Debe ser posible rehacer una acción sobre un patrón.
14. **Req. 14** Debe permitir que la caladora observe remotamente el progreso de diseño de calado.
15. **Req. 15** Debe permitir la comunicación bidireccional entre caladora y diseñadora en tiempo de diseño.
16. **Req. 16** Debe permitir que la caladora señale remotamente puntos de interés sobre el diseño.
17. **Req. 17** Debe permitir la captura de fotografías del calado elaborado y su asociación a patrones diseñados con el sistema.

Requerimientos no funcionales

1. *Look and Feel*

- Debe evocar formas, herramientas y materiales de trabajo usadas tanto en los procesos de diseño textil como en los de calar.
- Las interfaces para la interacción de los usuarios con el artefacto, deben facilitar el diálogo entre diseñadoras y bordadoras.

2. Usabilidad

- Debe permitir la coordinación ojo-cerebro-mano-cuerpo propia de los oficios de calado y diseño.
- Debe permitir la experimentación, las nuevas creaciones y combinaciones alternas.
- Del lado de las caladoras, debe ser posible visualizar el patrón diseñado en un televisor con entradas RGB.
- El efecto de una acción sobre un patrón mientras se diseña, debe ser percibido en el mismo lugar y momento en que se ejecute la acción.
- La representación que se haga de las puntadas debe ser lo suficientemente buena como para permitir que las caladoras las identifiquen.

3. Éticos

- Debe hacer visibles las habilidades de las caladoras expertas para recrear paso a paso un proceso de calado, observando la pieza resultante.
- No debe verticalizar, en ninguna dirección, la relación diseñadora-caladora.
- El artefacto puede ser experimental: inspirado en lo local, en la labor de bordar-calar, pero no necesariamente debe ir dirigido a quienes bordan o calan de manera directa o utilitaria.
- Debe hacer evidente la versatilidad de las puntadas en cuanto a formas, usos y habilidades asociadas a su creación.
- Debe resaltar lo que el diseño puede hacer del calado, tanto como lo que el calado aporta a un diseño.
- No debe automatizar, ni debe ser percibido como automatización, ninguno de los procesos involucrados: ni el diseño, ni el calado.
- La representación computacional que se haga de las puntadas debe ser cuidadosa para facilitar el diseño de calados novedosos sin facilitar la automatización del calado.
- Debe valorar el esfuerzo por parte de las bordadoras-caladoras para interpretar (y traducir) los diseños que se realizan a través de la interfaz.

4. Operacionales

- En su estado ideal debe ser auto-sostenible.
- Debe ser versátil, permitiendo la experimentación alrededor del calado.

5. Mantenimiento

- Debe posibilitar su reparación de forma local.

6. Políticos

- Aunque inspirada y dedicada a la labor de calado que se realiza en Cartago, no necesariamente se debe limitar a su utilización allí.
- Debe sesgar los modelos de telas a las telas disponibles en el mercado de Cartago.

7. Culturales

- Debe posibilitar la recuperación y valoración del oficio tradicional de calar.
- Debe posibilitar procesos creativos en diseñadoras y caladoras.

5.2. Modelo con el lenguaje propuesto

En las figuras 5.12 y 5.13, al final del capítulo, se presenta el modelo de la interfaz. Este modelo sólo contempla el bloque de diseño de patrones.

5.3. Solución tecnológica

5.3.1. Representación computacional de patrones de calado

El proceso de calado se entiende en cuatro etapas: definición de la región cerrada sobre la que se elaborará el calado, bordado del contorno, deshilado y bordado de las puntadas sobre el deshilado. Para representar un patrón de calado es necesario representar la tela, la región cerrada, el deshilado y las puntadas sobre el deshilado. El diseño en el que se usan estas representaciones se realiza sobre una tableta o *smartphone* Android, haciendo uso de herramientas físicas llamadas *tangibles*. Para poder guardar y recuperar patrones de calado, se creó una estructura sobre XML que se va completando a medida que se diseña el patrón:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Tela hTrama="" hUrdimbre="" ancho="" largo="">
  <Region hT="" tT="" hU="" tU="" img="" iniX="" iniY="" ancho="" alto="">
    <Puntada nombre=""/>
      <Punto x="" y="" />
      <Punto x="" y="" />
      <Punto x="" y="" />
      <Punto x="" y="" />
    </Puntada>
    <Puntada nombre=""/>
      <Punto x="" y="" />
    </Puntada>
  </Region>
  <Region hT="" tT="" hU="" tU="" img="" iniX="" iniY="" ancho="" alto="">
    <Puntada nombre=""/>
      <Punto x="" y="" />
      <Punto x="" y="" />
    </Puntada>
  </Region>
</Tela>
```

Donde los descriptores de la tela son hTrama: cantidad de hilos por pulgada en la trama de la tela, hUrdimbre: cantidad de hilos por pulgada en urdimbre, ancho: longitud del trozo representado en pulgadas, alto: longitud del trozo representado en urdimbre. Una tela está compuesta por varias regiones, donde cada región tiene como descriptores hT:cantidad de hilos que se extraen en trama, tT: cantidad de hilos que se mantienen en trama, hU:cantidad de hilos que se extraen en urdimbre, tU: cantidad de hilos que se mantienen en urdimbre, img: ruta a una imagen que se usa de máscara para definir el contorno de la región, iniX,iniY: punto donde inicia la región, ancho de la región y alto de la región. Cada región puede tener varias puntadas, identificadas según el nombre. Finalmente, cada puntada puede estar varias veces en una misma región, donde cada vez que aparece se crea un Punto, definiendo su posición x,y en el deshilado, desde el punto iniX, iniY de la región. En las secciones siguientes se detallan los descriptores.

Representación de la tela

La tela se representa digitalmente como un conjunto de líneas verticales y horizontales, cuyo grosor y espaciamiento depende del tipo de tela que se esté representando. Específicamente se realiza en términos del número de hilos por unidad de longitud, que puede ser diferente en trama y en urdimbre³. Actualmente este valor es paramétrico en Cala-ITU, pero la interfaz para modificar el parámetro está en proceso de definición. En la figura 5.3 se presenta un paralelo entre una tela usada para calar (5.3A) y su representación en pantalla (5.3B).

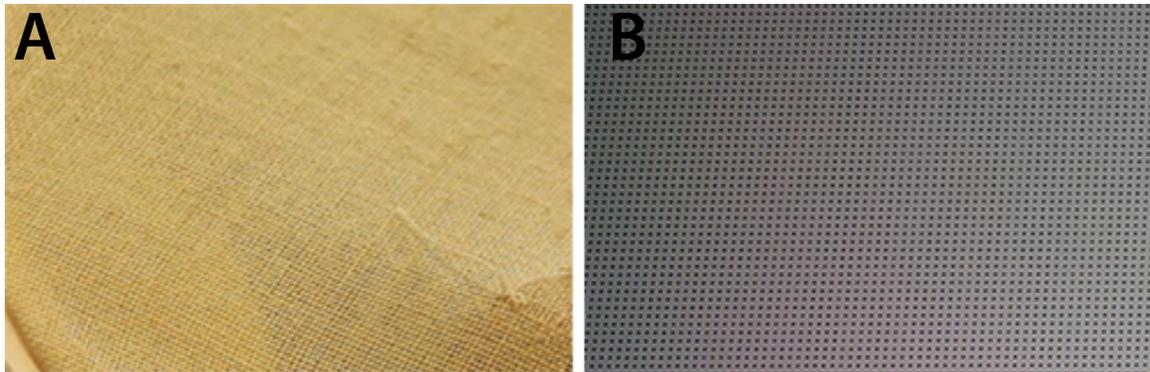


Figura 5.3: **A.** Trozo de tela usada para calar. **B.** Captura de la representación computacional de la tela, hecha con líneas verticales y horizontales

Representación computacional de regiones cerradas

Las regiones se dibujan al seleccionar la herramienta lápiz sobre la interfaz gráfica de la aplicación, haciendo uso de un dedo o de un *stylus* para dejar el trazo. En la versión actual, el dibujo de las regiones se realiza sobre una nueva capa, dejando un trazo que contraste con el color de la tela. A futuro es importante que este contorno pueda representarse con puntadas usadas en el calado de patrones como el filete o la cadeneta (fig. 5.4).

Representación computacional del deshilado

El deshilado se realiza sobre las regiones cerradas que se delimitan en el paso anterior. Consiste en remover cierta cantidad de hilos en trama y cierta cantidad en urdimbre, y dejar otros. Se describe en términos de 3x4, por ejemplo, indicando la cantidad de hilos que se quitan (3), y los que se dejan seguidos a estos (4). El ejemplo significa que por cada 7 hilos, 3 se remueven y 4 se mantienen. El valor de hilos que se remueven y los que se mantienen en trama y en urdimbre, conforman un conjunto de cuatro parámetros en la aplicación. Está en proceso de definición la interfaz que usará quien diseñe para modificar el valor de estos parámetros. El algoritmo utilizado en la aplicación para representar el deshilado consiste en determinar cuál es el área que encierra el contorno dibujado y aplicar una máscara para que sólo aparezca deshilada la región cerrada.

A continuación se presenta el algoritmo usado para rellenar la región cerrada en pseudo-código; éste parte de un punto semilla, en el que se toca la pantalla, y se expande en 4-vecinos hasta encontrar la frontera de la región,

³Las telas generalmente se «miden» en términos de la cantidad de hilos por pulgada, por ejemplo, los juegos de cama suelen usar telas de «130 hilos».

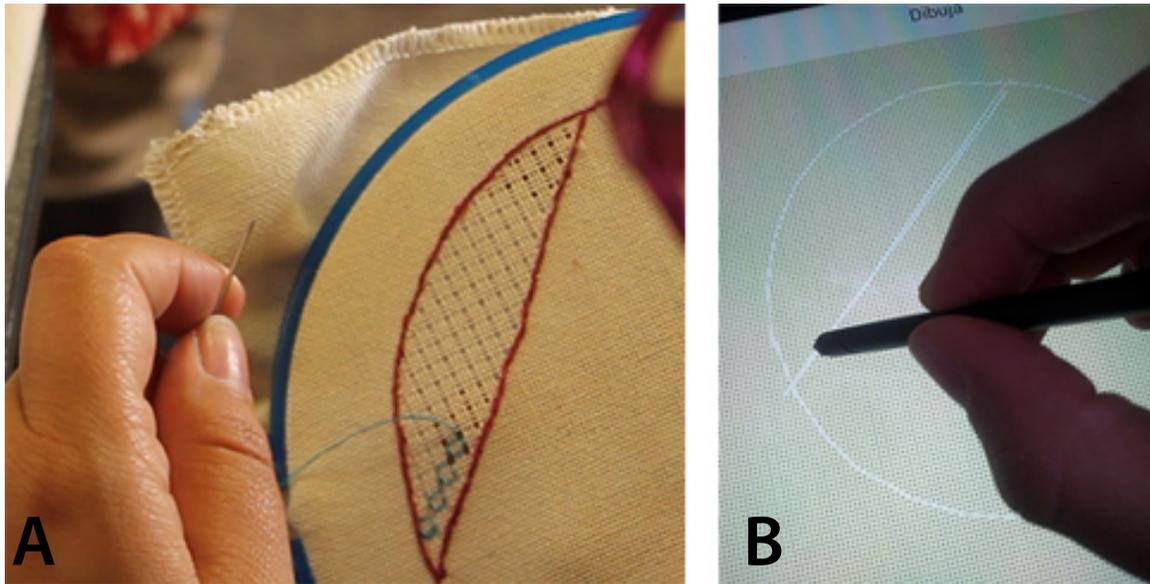


Figura 5.4: Representación de regiones cerradas. **A.** Región cerrada cuyo contorno ha sido bordado. **B.** Fotografía de una región equivalente hecha con Cala-ITU y el *stylus* con el que se dibuja.

rellenando cada pixel a medida que se hace el recorrido. La figura 5.5 presenta el relleno de la región y la aplicación de la máscara de deshilado, haciendo un paralelo con una región deshilada sobre una tela física.

```

Definir un color de relleno (fillColor)
Asignar a color semilla, seedColor, el color del pixel sobre el que se toca la pantalla
Inicializar una cola con la posición del pixel semilla (fillQueue)
mientras (fillQueue no esté vacía)
    //peek es el primer elemento de la cola
    if(Color(peek)==seedColor && Color(peek)!=fillColor)
        //Se utilizaron 4 vecinos
        para (cada vecino del pixel peek)
            fillQueue.queue(pixelVecino)
        Color(peek)=fillColor
fin_mientras

```

Representación computacional de puntadas

Cada puntada se representa mediante una cadena y un punto. La cadena corresponde a un conjunto de coordenadas entre las cuales se trazan líneas que representan el hilo. El punto especifica la referencia a partir de la cual se toman las coordenadas. La cadena depende de cuatro parámetros: hT , que corresponde a la cantidad de hilos extraídos en trama en el proceso de deshilado, hU , que corresponde a la cantidad de hilos extraídos en urdimbre al deshilado, tT que se refiere a los hilos que se mantienen en trama y tU que hace referencia a los hilos que se mantienen en urdimbre. Si bien la aplicación permite mezclar estos parámetros para trazar puntadas sobre deshilados que no siguen los mismos valores, facilitando la exploración en torno al calado, todas las puntadas en la elaboración manual de esta

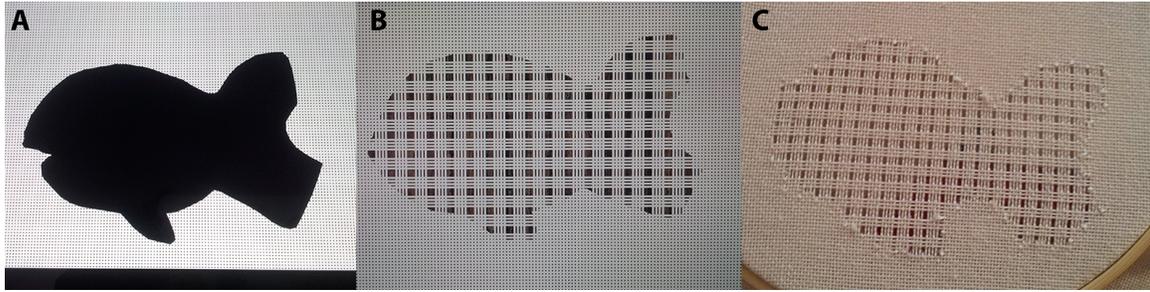


Figura 5.5: Representación del deshilado de regiones cerradas. **A.** Relleno de la región cerrada aplicando el algoritmo anterior. **B.** Aplicación de la máscara para que sólo represente el deshilado en la zona de relleno. **C.** Fotografía de una región equivalente deshilada sobre la tela.

artesanía están estrechamente ligadas al deshilado sobre el que se realizan, razón por la cual la cadena depende de estos parámetros.

Para codificar computacionalmente la puntada es necesario armar la cadena punto a punto, lo que requiere de la utilización de tambor, tela, aguja, hilo y deshilador para continuamente hacer y deshacer la puntada manualmente; en adición, fue necesario ver videos de las caladoras expertas haciendo la puntada para poder replicar la labor. La codificación, sin embargo, representa cómo se ve el calado finalmente, y no cómo se elabora; la razón ética es que se quiere preservar la elaboración manual del calado, la razón técnica es que el proceso de elaboración es complejo, generalmente construido por capas y en diagonal. En cambio, la visualización trata cada puntada como atómica y cuando se requiere rellenar una región, dibuja varias puntadas separadas una de otra de acuerdo con un parámetro que define cada cuánto se unen. Elaborar el calado manual siguiendo el mismo esquema que su representación digital sería imposible porque implicaría hacer cada puntada, «rematar», cortar el hilo y empezar de nuevo para cada una, aún si se rellena una región muy grande con la misma puntada.

Cadena de puntada

La construcción de la cadena considera que: *i)* la aguja tiene dos movimientos en el eje z posibles, de abajo hacia arriba -o del revés hacia el derecho- y de arriba hacia abajo -del derecho hacia el revés-, *ii)* siempre se intercalan los movimientos, es decir, si la aguja se movió hacia arriba en un punto de la tela, luego necesariamente se debe mover hacia abajo en otro punto, *iii)* entre un movimiento hacia arriba y un movimiento hacia abajo, el hilo deja un trazo recto (una línea) sobre la tela y *iv)* aunque el trazo en el bordado manual modifica la estructura de la tela (mueve los hilos propios de ella), en la representación digital esta modificación no se considera.

Con las anteriores consideraciones, la cadena se construye a partir de puntos (x, y) , teniendo en cuenta que la tela es una superficie bi-dimensional: $(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, \dots, x_n, y_n)$. Estos puntos corresponden a distancias desde el punto de referencia (x_0, y_0) . Se organizan de manera que siempre el primer punto representa un movimiento de abajo hacia arriba (\cdot), el siguiente de arriba hacia abajo (\times), y se van intercalando: $(\cdot, \times, \cdot, \dots, \cdot, \times)$. De esta forma, una puntada se dibuja en dos capas, en medio de las cuales se dibuja la representación de la tela:

- Primera capa: revés. Líneas rectas que se trazan entre un punto par y uno impar.
- Segunda capa: derecho. Líneas rectas que se trazan entre un punto impar y un punto par.

Para ejemplificar lo anterior se utiliza la puntada «Nido de Abejas»⁴. En la figura 5.6 se muestra la representación digital de la puntada. La cadena de esta puntada es:

$$((hU + 2)/2, -tT, hU + tU, (hT - 1)/2, -tU, (hT - 1)/2, (hU - 1)/2, -tT, (hU - 1)/2, tT + hT, -tU, (hT + 2)/2, tU + hU, (hT + 2)/2, (hU + 2)/2, tT + hT)$$

Que para el caso particular de este deshilado, que es 2x4 tanto en trama como en urdimbre, se traduce en:

$$(2, -4, 6, 0, -4, 0, 0, -4, 0, 6, -4, 2, 6, 2, 2, 6)$$

Finalmente, el patrón de distanciamiento entre una puntada y otra para esta puntada horizontalmente es de: $2(hT+tT)$, para completar el patrón verticalmente, se inicia en la siguiente fila en la posición $(tT+hT), (tU+hU)$ y se sigue el espaciado $2(tT+hT)$, como se muestra en la figura 5.7. La utilización de esta puntada en un patrón y el paralelo con el patrón elaborado (calado) se presentan en la figura 5.8. Hasta el momento se han codificado nueve puntadas: punto de cruz, punto de cruz doble, nido de abejas, red, malla o siciliano, flor zurcida o de filigrana, plumi-lla, manzanillón y punto espíritu. Aunque esta codificación se encuentra organizada en una taxonomía de puntadas, no se anexa a este documento por protección de la propiedad intelectual de las caladoras.

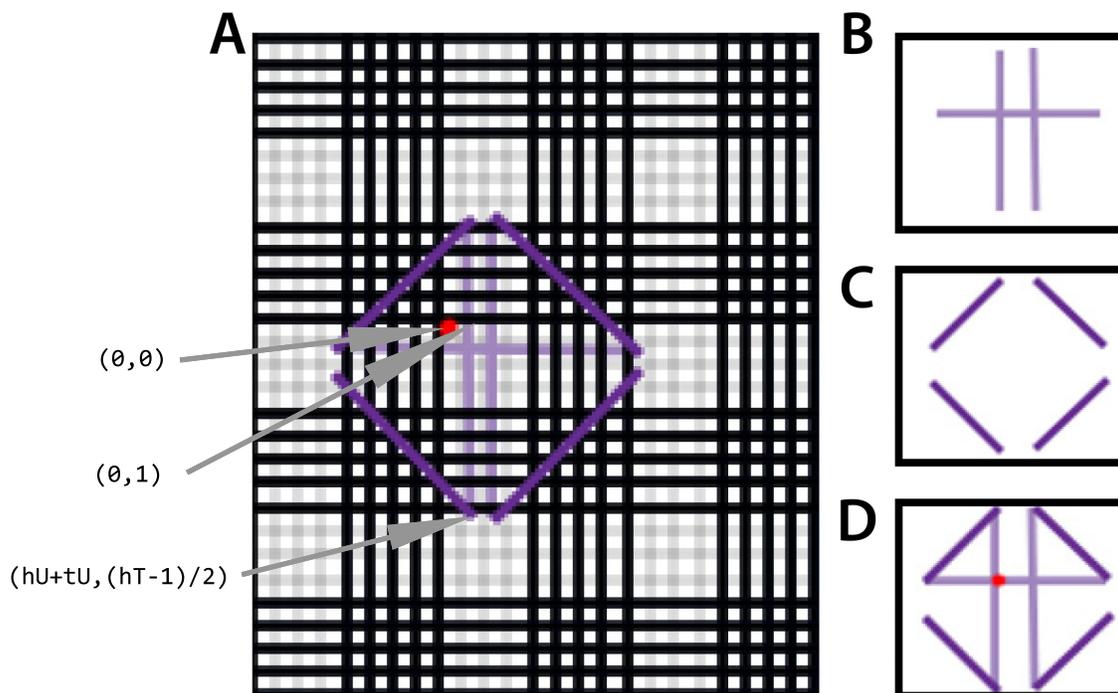


Figura 5.6: Representación computacional de la puntada «Nido de abejas»

⁴En Cartago los nombres de una misma puntada cambian de una caladora a otra; por ejemplo, una de las caladoras más expertas de la región le llama a esta misma puntada «puntada Arias». El nombre se debe a que una familia caladora de apellido Arias, usaba únicamente esta puntada en sus calados.

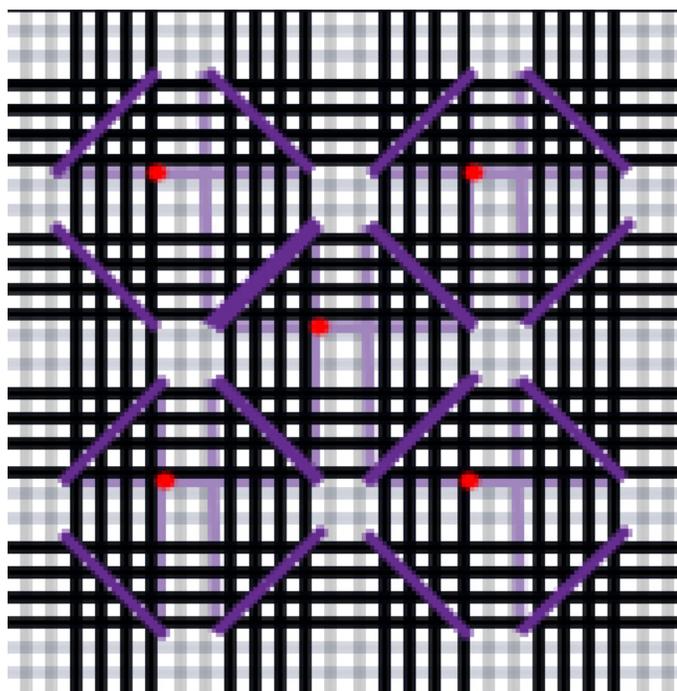


Figura 5.7: Representación computacional de la puntada «Nido de abejas» como patrón.

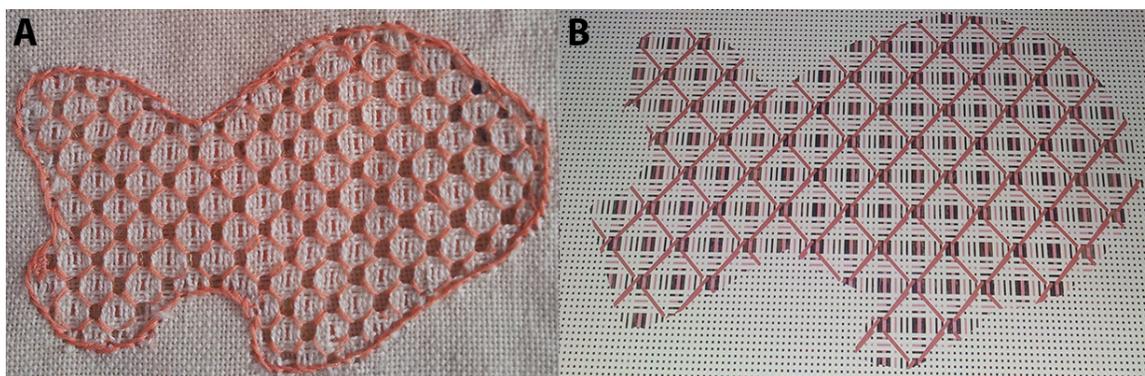


Figura 5.8: Representación de un patrón calado. **A.** Patrón bordado. **B.** Representación computacional del patrón.

5.3.2. Tecnología bordada: tangibles para estampar puntadas

Para la solución tecnológica a nivel de hardware se diseñaron tangibles detectables de forma diferenciada sobre pantallas táctiles. A nivel de software, se seleccionó el sistema operativo Android por tener mayores posibilidades de acceso y permitir mayor versatilidad en la aplicación. A continuación se presenta el detalle de diseño a nivel de hardware.

Los tangibles están basados en etiquetas pasivas que pueden ser identificadas y posicionadas sobre superficies táctiles capacitivas. Esta solución tecnológica surgió de la experimentación en los talleres *hands-on* con las caladoras, en combinación con algunas experiencias previas, que nos llevaron a un diseño en el que las etiquetas se bordan con hilo conductor. De acuerdo con el patrón que se borda, son identificadas de forma diferencial y posicionadas al ser puestas sobre la pantalla, siempre y cuando el usuario esté tocando el hilo en algún punto. Aunque esta idea surgió

en la práctica, se realizó *a-posteriori* una revisión del estado del arte en el tema de detección de tangibles sobre pantallas capacitivas [3,9,39,80,85,86], en el que se encontraron aplicaciones similares pero ninguna que hiciera uso de bordado. Esta revisión, junto con experimentación sobre tres dispositivos Android diferentes, llevó a las siguientes conclusiones de gran importancia en el diseño de los tangibles:

- Las pantallas de tacto capacitivas sensan la presencia de un conductor eléctrico a tierra, típicamente el dedo humano. La detección se realiza a través de electrodos transparentes localizados sobre la pantalla, en el momento en el que hay contacto.
- Para que una pantalla de tacto que utilice tecnología de capacitancia mutua (las que se encuentran en el mercado actual), detecte un evento de toque, se deben cumplir dos condiciones:
 - La capacitancia en el par de electrodos Tx - Rx debe estar dentro de un umbral: en vez de entregar el dato de capacitancia «crudo» (*raw data*), el controlador está diseñado para detectar un umbral, y la información se limita a «hay contacto» o «no hay contacto». En algunos dispositivos es posible saber también el tamaño (área) del toque y la presión que se ejerce sobre la pantalla.
 - Dado que los controladores están diseñados para detectar el contacto de los dedos, buscan formas elípticas, al contacto con la pantalla, de tamaño similar al de la punta del dedo (**usualmente entre 5mm y 2cm**). Otras formas o tamaños de contacto pueden causar eventos de tacto ignorados o imprecisos.
- Las pantallas capacitivas comerciales usualmente está limitada en el número de toques simultáneos que pueden detectar. La mayoría soporta hasta **10 puntos**.
- La limitada resolución espacial de los sensores de tacto capacitivos requiere una distancia mínima entre los centros de los puntos de contacto; como consecuencia, los objetos deben ser muy grandes para tener suficientes puntos, o se debe limitar a la identificación de sólo pocos tangibles. La distancia mínima requerida entre el centro de dos puntos de contacto está típicamente **entre 6mm y 9mm**.

De acuerdo con las anteriores características, se definieron dos tipos de tangibles: sellos y rodillo. Los sellos se utilizan para estampar la representación de la puntada digital sobre la pantalla, de acuerdo con el deshilado y su posición. El rodillo se utiliza para rellenar regiones con una puntada que ha sido estampada con el sello. En ambos casos, como se muestra en la figura 5.9, se utilizó hilo conductor en el bordado de las etiquetas. Para los sellos se utilizan tres puntos, cuya distribución determina a qué puntada corresponde, y para el rodillo se usaron dos puntos.

La detección del rodillo se hace únicamente de acuerdo con la cantidad de puntos, es decir dos. Para los sellos es necesario hacer un proceso de clasificación, pues la puntada que representa depende del patrón que esté bordado en su superficie. Se utilizaron 3 puntos en cada uno, siguiendo las restricciones tecnológicas mencionadas sobre la distancia mínima entre puntos y la forma y tamaño de cada uno. En la versión actual, los patrones diseñados permiten diferenciar hasta 6 sellos diferentes. Los patrones que se bordan se encuentran en el esquema de la figura 5.10. Esta versión está en proceso de iteración y mejora a nivel de ergonomía y diseño industrial, y se está trabajando sobre el modelo de las etiquetas para aumentar la cantidad de sellos que pueden ser identificados. Adicionalmente, se están realizando talleres con las caladoras para que sean ellas quienes borden los patrones, y de esta manera se empoderen sobre ellos para repararlos en caso de daños.

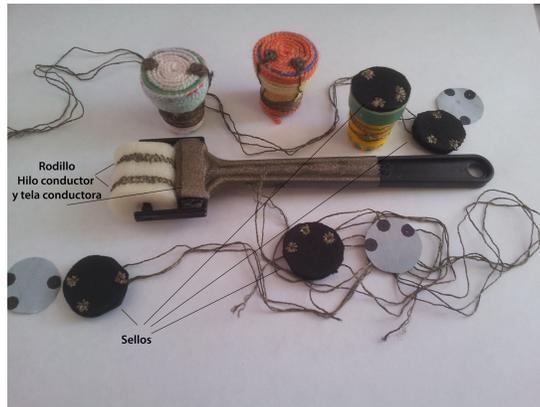


Figura 5.9: Sellos y rodillo tangibles, bordados con hilo conductor para ser reconocidos de forma diferencial por la aplicación

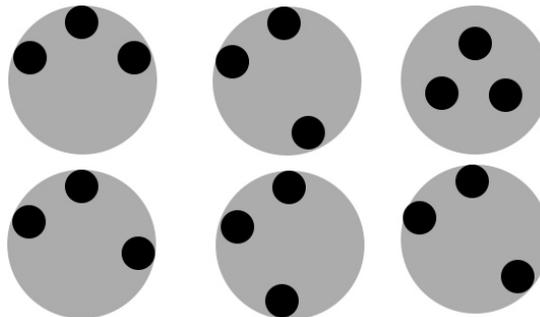


Figura 5.10: Etiquetas de los sellos

Al ubicar un sello sobre la pantalla es necesario identificar el centro del sello y su vector de características. El vector de características se realizó de acuerdo con la longitud, en orden, de las rectas que unen los puntos de las etiquetas. El orden se refiere a que los ángulos de los puntos sobre la circunferencia se organizan de menor a mayor y las rectas son del punto 1 al 2, del 2 al 3 y del 3 al 1. Para detectar estos valores, se realizó el algoritmo presentado a continuación, y ejemplificado en la figura 5.11. Partiendo de este pequeño vector de características se realizó un proceso de *clusterización* utilizando *k-means* y criterio de distancia euclidiana. Una vez determinados los centroides, cuando un sello se ubica sobre la pantalla, se detecta cuál es el centroide más cercano a su vector de características y con base en éste, es asignado a ese grupo para trazar la puntada correspondiente. A futuro se desarrollará un criterio de distancia Mahalanobis, que tome en cuenta la desviación estándar.

1. Trazar una recta entre cada par de puntos detectados.
2. Encontrar el punto medio de cada una de las rectas (1).
3. Trazar una recta perpendicular a cada una de las rectas (1), que pase por el punto anterior (2).
4. Centro->Punto de cruce entre las rectas trazadas en el paso anterior (3).
5. Determinar el ángulo (entre 0° y 360°) desde el centro (4) a cada uno de los puntos sobre la circunferencia.
6. Ordenar puntos de acuerdo con los ángulos (5)
7. Armar el vector de características como al longitud normalizada de las rectas entre los puntos, luego de organizados (6)

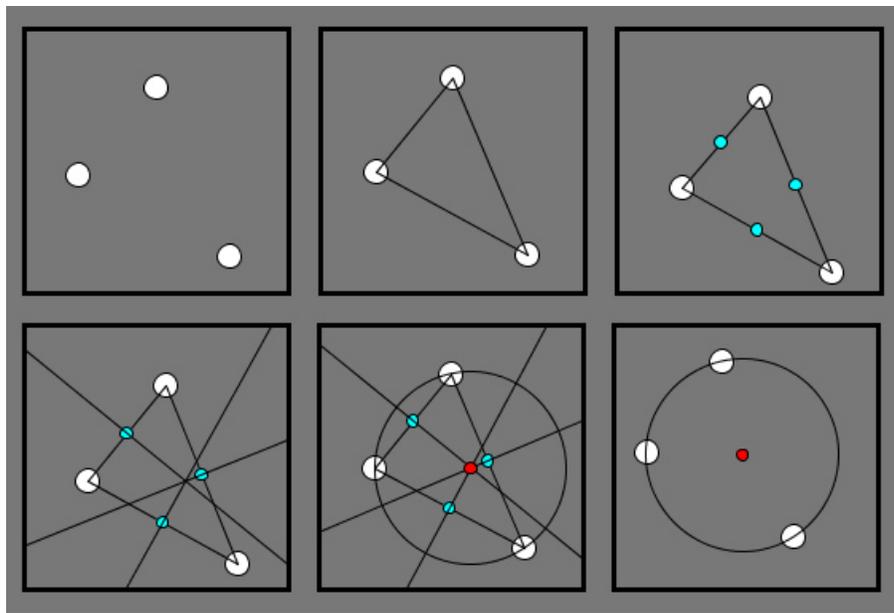


Figura 5.11: Procesamiento de los datos de las etiquetas

5.4. Experimentación, prueba de concepto y trabajo futuro sobre el prototipo

El proceso de diseño de Cala-ITU ha tenido un fuerte componente social que ha permitido llegar a ideas relevantes de forma participativa, con las científicas sociales y las caladoras. Sin embargo, este proceso ha requerido de gran inversión de tiempo, por lo que este ciclo de diseño no ha culminado. Al momento se ha dado cumplimiento a los requerimientos Req 1,3, 4, 5, y 2; y se ha avanzado en los requerimientos Req 7, 8, 9, 10, 12 y 13. Lo anterior se evidencia porque es posible representar puntadas de calado, y generar patrones que son reconocidos por las caladoras como *calables*, es decir, que generan un efecto de calado. Adicionalmente, es posible representar regiones cerradas y grillas deshiladas dentro de estas regiones, así como se permite la variación de los patrones de deshilado modificando las dimensiones de la grilla. La construcción del patrón de calado se realiza sobre un modelo de tela que simula telas reales, generando el efecto con el color de las líneas, su grosor y un espaciado que deja entrever en el fondo una textura.

A medida que se van generando soluciones tecnológicas en atención a los requerimientos, se va realizando una etapa de exploración y experimentación con las caladoras y las científicas sociales. Al momento se han realizado principalmente con las caladoras, y no con las diseñadoras de modas, por las posibilidades que ha permitido el proyecto. Esto nos ha llevado a concluir que la interfaz también debe permitir la experimentación del lado de quienes calan para exploren posibilidades diferentes del calado. Adicionalmente, se ha detectado que se de gran importancia mejorar la ergonomía y estética de los tangibles con los que se están diseñando los patrones, es por esto que se contará con la participación de una diseñadora industrial, quien estará participando en los ciclos de diseño siguientes. De igual manera, en el trabajo a continuar, se espera que sean las caladoras mismas quienes borden las etiquetas y con esto se faciliten procesos de apropiación.

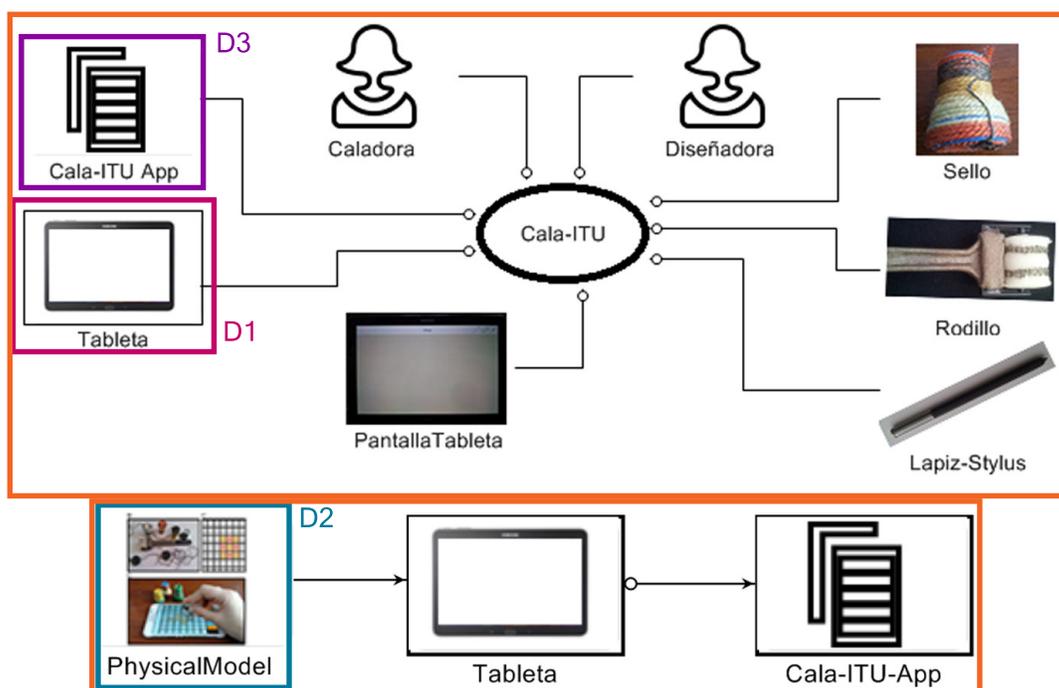


Figura 5.12: Modelo de Cala-ITU. Arriba, diagrama de arquitectura. Abajo, diagrama físico-lógico

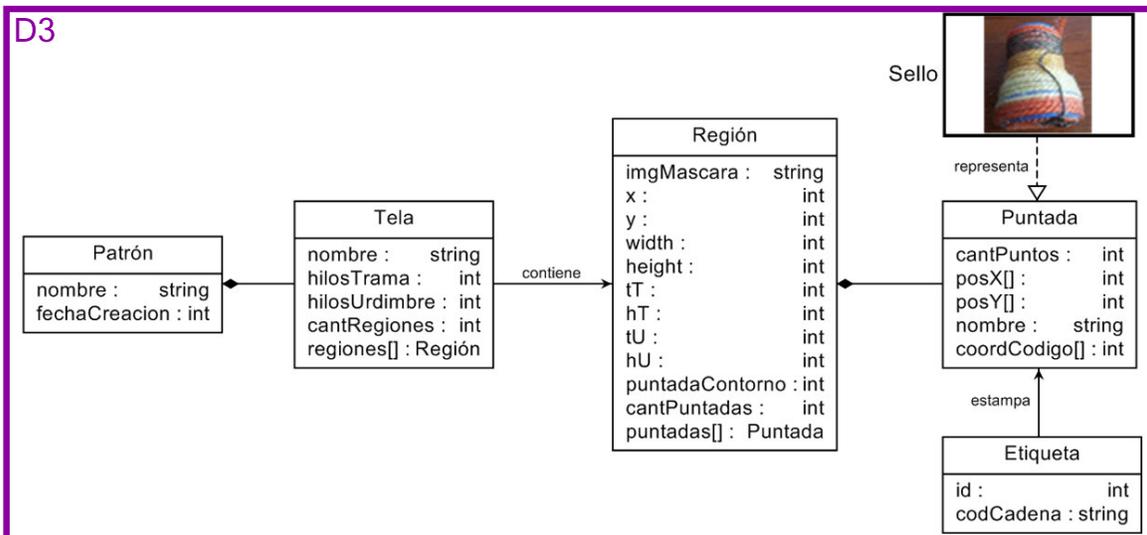
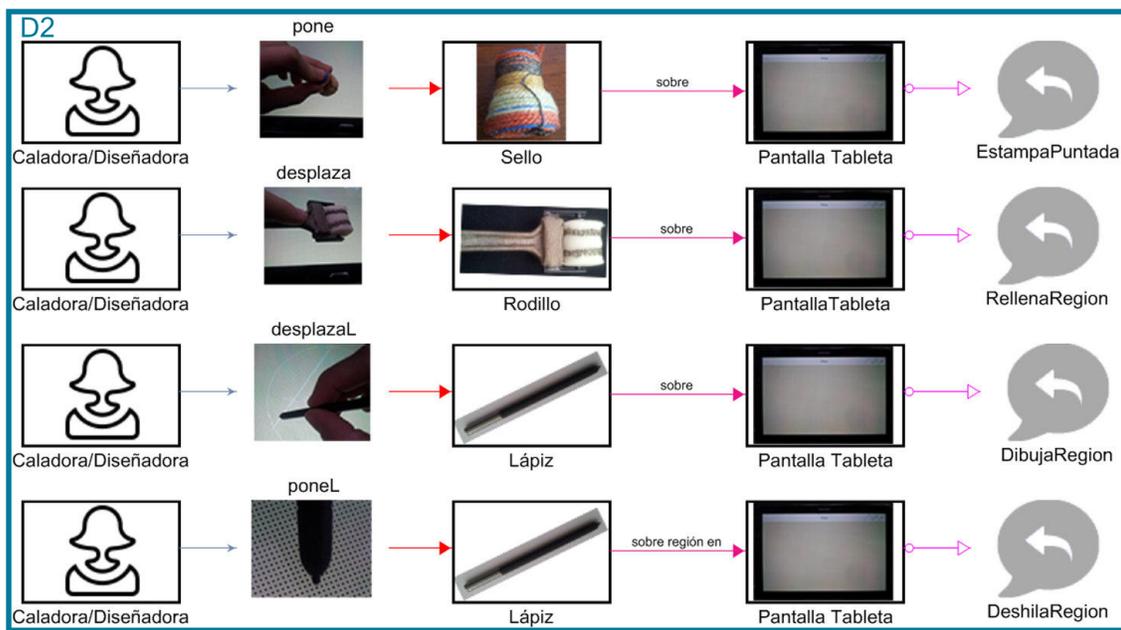
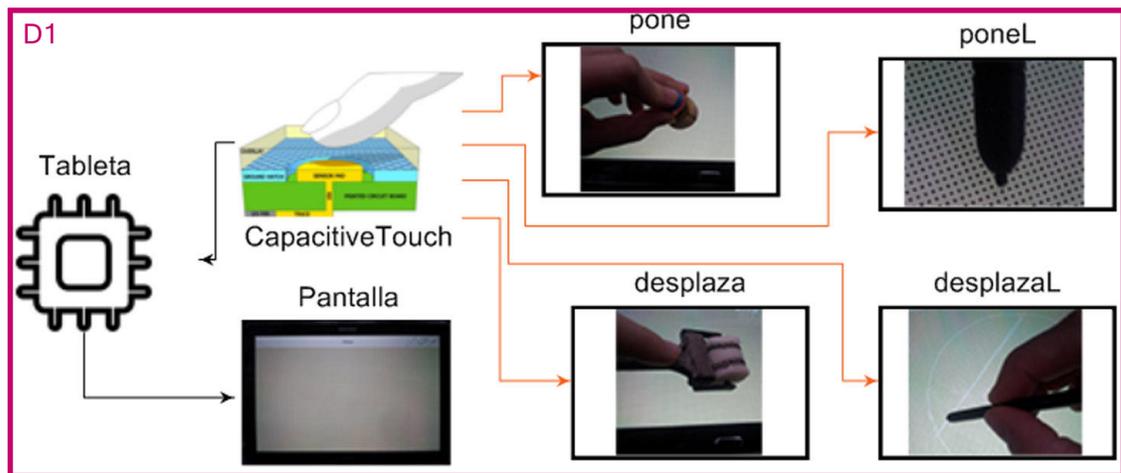


Figura 5.13: Modelo de Cala-ITU. D1: Diagrama de hardware, D2: Diagrama de acciones, D3: Diagrama de software

Capítulo 6

Validación del *Framework* propuesto

Evaluation time is too late for any minor adjustments to a system; only at design time are there an adequate number of degrees of freedom to make a difference.

Newell, A. & Card, S. The Prospects for Psychological Science in Human-Computer Interaction, 1985

En este capítulo se presenta la validación preliminar de ApTUI en términos del objetivo de la tesis: *proponer un framework que permita el **diseño participativo** de interacciones tangibles y un lenguaje de modelado para **representar** las interfaces derivadas de este proceso*. Específicamente, el *framework* estuvo orientado a prácticas corporales, entendidas ampliamente como aquellas en las que el hacer está estrechamente ligado con el cuerpo y su relación con otros sujetos y materialidades. Con la evaluación se buscaba estimar de forma preliminar la validez de las siguientes aseveraciones:

- ApTUI permite involucrarse con un contexto y proponer interfaces tangibles relevantes para ese contexto.
- ApTUI incluye una estrategia metodológica pertinente que permite traducir a la práctica procesos de diseño participativo para incluir al usuario como diseñador activo en la creación de interacciones tangibles.
- El lenguaje de modelado es fácil de entender y fácil de usar por personas diversas asociadas a las disciplinas de la computación.
- El lenguaje de modelado permite representar integralmente la interfaz para aproximarse a una solución tecnológica que la implemente adecuadamente.

Se realizaron tres métodos de evaluación. El primero como una validación progresiva que se ha realizado continuamente dentro del estudio de caso BCP. La segunda evaluación es sumativa, y se realizó con 18 estudiantes de Ingeniería de Sistemas de octavo semestre, del Politécnico Grancolombiano, quienes diseñaron interfaces tangibles como proyecto de investigación formativa, durante 4 meses de 2015, utilizando parcialmente ApTUI. Con ellos se realizó una evaluación sobre su percepción de utilidad del proceso llevado a cabo y de las herramientas propuestas para que completaran el diseño y construyeran un primer prototipo. Finalmente, la tercera evaluación estuvo orientada al lenguaje de modelado. Inició con una consulta a dos expertos, el primero en ingeniería de software y el segundo en ingeniería dirigida por modelos, con quienes se evidenció la necesidad de re-definir y fortalecer la notación del metamodelo -lenguaje- propuesto. Dado que aún era posible, dentro de los límites de tiempo de esta investigación, re-definir la

notación, pero no implementarla en los proyectos de los estudiantes, se evaluó en términos de una serie de principios para diseñar efectivamente notaciones visuales, propuestos por Daniel Moody en [49].

6.1. Validación progresiva: rigor y transparencia en la toma de decisiones

Como fue presentado en el capítulo de introducción (cap. 1), el caso BCP fue seleccionado como representativo dentro del dominio de situaciones al que está orientado ApTUI. El diseño de la interacción tangible Cala-ITU que tuvo lugar en el proyecto, se caracterizó por múltiples iteraciones de ir y venir en la toma de decisiones. Así, la cualidad iterativa del proceso se constituyó como un proceso de validación interna que dio continua confiabilidad a la investigación. Esta confiabilidad se demuestra con algunos de los resultados obtenidos: las caladoras reconocen encuentros entre tecnología y bordado que no son necesariamente automatización, han surgido ideas de desarrollo tecnológico desde ellas, el diseño tecnológico de Cala-ITU reconoce y valora el saber-hacer de las caladoras, las caladoras reconocen que las imágenes construidas con Cala-ITU representan patrones de calado y realizan la labor al observarlos, entre otros.

Adicionalmente, y gracias al soporte teórico que se ha documentado en la presente memoria, el *framework* presentado es potencialmente extensible a otros contextos. De acuerdo con Carroll, la presentación de casos concretos y realistas puede constituirse en una referencia importante para mostrar cómo un diseño puede operar dentro de la ecología humana [6]. Así, la formalización de una propuesta metodológica reflexiva, que narra de forma transparente a los lectores el proceso de diseño, se puede posicionar como una fuente de gran utilidad para replicar procesos similares en otros contextos [87]. Sin embargo, muchas veces la reflexión desde un sólo caso de estudio puede permanecer subjetiva [87], por lo que es importante adicionar una validación en otros contextos. Por la complejidad de las situaciones en las que se enmarca ApTUI, en las que hay presencia de múltiples formas y áreas de conocimiento en diálogo y participando activamente en el diseño tecnológico, y dadas las restricciones de tiempo del proyecto, no fue posible realizar esta validación en un contexto de envergadura equivalente a BCP. Como un acercamiento parcial a la validación del *framework* en otros espacios, se realizó una validación sumativa con estudiantes del Politécnico Grancolombiano, como se presenta en la siguiente sección.

6.2. Validación sumativa: proyectos de investigación formativa con estudiantes de Ingeniería de Sistemas del Politécnico Grancolombiano

Se realizó una validación a través de proyectos de investigación formativa con 18 estudiantes de octavo semestre en Ingeniería de Sistemas del Politécnico Grancolombiano, quienes desde febrero de 2015, durante 4 meses, estuvieron diseñando interfaces tangibles. Dados los restringidos recursos disponibles, la implementación del *framework* Ap-TUI en estos proyectos fue parcial y sólo alcanzamos a desarrollar un ciclo de diseño con el que se obtuvo para cada caso un prototipo de baja fidelidad. El proyecto consistió en diseñar participativamente¹ las interfaces tangibles de usuario, partiendo de un contexto, pero sin una idea específica. Los contextos señalados fueron: niños, café, música.

¹Por las limitaciones propias que tiene el desarrollo de un proyecto final de asignatura, en cuanto a tiempos y recursos, la participación incluyó como participantes principalmente a los estudiantes y a mí como docente. De esta manera, las prácticas presentes fueron en esencia la de diseño de software, de parte de los estudiantes, y la de diseño y construcción de hardware de mi parte. Adicionalmente, algunos grupos realizaron un pequeño trabajo en campo, lo que les permitió familiarizarse y tener un acercamiento corporal al contexto.

ca, adultos mayores, objetos olvidados y seguridad en las calles. A partir de estos contextos, y haciendo uso parcial de ApTUI como apoyo metodológico y filosófico, los estudiantes tuvieron como reto reconocer parcialmente el contexto, concentrarse en una situación particular y desde allí pensar en posibilidades de interfaces tangibles, concretar sus ideas, diseñarlas y realizar un primer prototipo de baja fidelidad; finalmente, reflexionar de forma escrita sobre el ciclo de diseño completado y cómo la experimentación al momento abre el paso a un nuevo ciclo. Tres de los proyectos de curso tuvieron una mayor aproximación al concepto de interfaz tangible: *Ritmo* (elaborado por 3 estudiantes), *MASDESTREZA* (elaborado por 2 estudiantes) y *TULI* (elaborado por 2 estudiantes). Los demás, aunque con componentes de hardware adicionales a los propios de los dispositivos de cómputo, no evidenciaron tan claramente la hibridación entre lo físico y lo digital.

Ritmo, de acuerdo con la descripción que realizaron los estudiantes, consiste en una plataforma para generar ritmos que tiene tres círculos concéntricos, donde cada uno corresponde a un tono diferente. Adicionalmente, los círculos tienen muescas sobre las que se pueden ubicar pequeñas canicas de colores, y según el color, corresponden a uno u otro instrumento. Los círculos giran a una velocidad que el usuario puede modificar y cuando las canicas van pasando por un punto X de la plataforma, se escucha el sonido correspondiente según el círculo en el que esté y el color de la canica. De otro lado, *TULI* es presentada por los estudiantes que la crearon como un dispositivo electrónico que opera como una interfaz tangible de usuario y que tiene como finalidad apoyar el aprendizaje de la operación aditiva en niños en edad preescolar. *TULI* está compuesta por fichas de distintos tamaños, que representan números del uno al diez, y por una superficie sobre la que se ubican las fichas. Existen dos modos de juego, uno corresponde a libre, en donde el niño ubica libremente fichas sobre la superficie y va observando en un *display* cuánto suman las fichas puestas, y otro llamado reto, en donde se presenta en el *display* un número aleatorio entre 1 y 100 y el niño debe ubicar las fichas necesarias para que sumen el valor presentado. Finalmente, *MASDESTREZA* se fue construyendo a partir de una serie de visitas que los estudiantes realizaron a un ancianato donde conversaron con los adultos mayores y tuvieron un acercamiento corporal al contexto. Una de las problemáticas que detectaron fue que la percepción de los abuelos respecto a la tecnología era lejana desde sus cuerpos. Es decir, el tamaño de las teclas del teclado y su distribución, la forma pequeña del *mouse*, la precisión que se requiere en los movimientos de la mano para hacer tareas sencillas, y el hecho de que muevan su mano sobre la mesa y vean la respuesta sobre una pantalla, genera dificultad en la utilización de los equipos tecnológicos. La propuesta de los estudiantes fue realizar un prototipo de interfaz tangible que ayudara terapéuticamente a los abuelos en el desarrollo de tareas que requieren destreza manual y que son típicamente requeridas mientras se utilizan los dispositivos de cómputo. En *MASDESTREZA* los adultos mayores deben conducir objetos entre caminos estrechos cuya forma define la complejidad del ejercicio. También pueden recorrer los caminos con sus dedos. Adicionalmente, pueden crear piezas musicales al tocar los objetos siguiendo cierta secuencia o al irlos moviendo sobre los caminos. Más allá de una evaluación de los prototipos, la experimentación con los estudiantes estuvo orientada a verificar de forma preliminar la utilidad percibida del *framework* para idear y diseñar interfaces tangibles en contextos particulares. La evaluación entonces se desarrolló de forma cualitativa a través de una encuesta que los estudiantes completaron al final del ejercicio. La encuesta fue respondida en una escala Likert de 5 niveles: muy de acuerdo (MA), de acuerdo (A), ni de acuerdo ni en desacuerdo (N), en desacuerdo (D) y muy en desacuerdo (MD). Se realizaron 3 preguntas por cada uno de los siguientes ejes temáticos: estrategia metodológica (EM), herramienta de modelado (HM), herramientas disponibles para el diseño (HD), y utilidad del *framework* (UF). En la tabla 6.1 se presentan las preguntas realizadas y la distribución de las respuestas teniendo en cuenta que se realizó con la población completa de los 18 estudiantes.

Se analizan los resultados en cada grupo mencionado. Sobre la estrategia metodológica, se concluye que fue percibida por los estudiantes como útil para crear interfaces relevantes. Sobre las herramientas de modelado, dado que al utilizar la escala Likert es difícil precisar las fronteras entre un nivel y otro, se percibe que no tuvieron el mismo impacto que la metodología; se observa que para los estudiantes no fueron tan fáciles de utilizar y no fue evidente la solución tecnológica que puede sugerir el modelo. Sobre las herramientas de diseño, fueron reconocidas como útiles, en particular la red de ejemplos y la discusión colectiva. Finalmente, el *framework* fue percibido como útil pero en una baja proporción. Sobre las herramientas de modelado y la utilidad del framework, que fueron los grupos de menor acogida, y haciendo un análisis desde mi observación reflexiva como acompañante del proceso, se tienen las siguientes hipótesis. El lenguaje de modelado utilizado por los estudiantes fue el del perfil UML que como se ha mencionado, presentó grandes dificultades notacionales; ésta pudo ser la razón para que los estudiantes no evidenciaran soluciones tecnológicas y no lo encontraran tan fácil de usar. En cuanto a la utilidad del framework, cabe señalar que un alto porcentaje de los estudiantes no encontró fácil partir de un contexto para llegar a una idea concreta de interfaz, esto en vez de debilitar la propuesta de ApTUI, la fortalece, pues se evidencia que esta situación ocurrió por el poco contacto que tuvo lugar entre los estudiantes y el contexto en particular. Por ejemplo, los estudiantes de grupo de Adultos Mayores, estuvieron «Muy de acuerdo» en estas preguntas, posiblemente porque su acercamiento al contexto fue más directo.

6.3. Evaluación del lenguaje de modelado: notación visual

Inicialmente el lenguaje se presentó a dos expertos. El primero en Ingeniería de Software, del Politécnico Gran-colombiano; el segundo, experto en ingeniería dirigida por modelos, de la Pontificia Universidad Javeriana. La presentación fue del perfil UML propuesto donde cada constructo es definido como un estereotipo de un constructo de UML. Aunque los mecanismos de extensión UML están pensados para modelos de dominio específico, su notación no es muy adecuada, pues gráficamente, por ejemplo, la diferenciación entre una clase y otra varía únicamente en el nombre. Uno de los expertos realizó la analogía con una navaja suiza: «sirve para todo, pero no es excelente en nada». Así, la sugerencia en ambos casos fue especificar la semántica del lenguaje en una notación de dominio específico que permitiera mayor flexibilidad para adaptar la representación gráfica de los constructos y sus relaciones a su significado. De allí partió la notación final propuesta, cuya validez no se pudo comprobar con usuarios. A continuación se presenta cómo fue la evaluación de la notación.

6.3.1. Notación Visual

Esta evaluación se realizó con base en una serie de principios de diseño de notación visual propuesta por Daniel Moody en [49]:

1. Claridad semiótica. Se refiere a la relación entre los constructos semánticos y los símbolos gráficos. De acuerdo con este principio, lo ideal es que haya una correspondencia 1:1 entre los constructos y los símbolos, para evitar la redundancia, la sobrecarga, el déficit de símbolos o el exceso. Siguiendo este principio, se utilizó una notación diferente para cada uno de los constructos e incluso de las relaciones, como se muestra en la tabla 4.1.
2. Discriminabilidad perceptual. Especifica que símbolos diferentes deben ser claramente distinguibles unos de otros. En el lenguaje propuesto se utilizó una iconografía enriquecida, de formas y colores variados. Adicio-

Pregunta		MA	A	N	D	MD
EM	Considero que iterar, experimentando y reflexionando sobre los resultados de la experimentación, contribuye con el diseño de interfaces más relevantes.	7	10	1	0	0
		38,9%	55,6%	5,6%	0,0%	0,0%
	Las etapas metodológicas seguidas en el desarrollo del proyecto fueron útiles.	7	7	3	1	0
		38,9%	38,9%	16,7%	5,6%	0,0%
	Considero de gran utilidad el diálogo de saberes (ingeniería de hardware-ingeniería de sistemas) que tuvo lugar en el diseño y desarrollo preliminar de la interfaz.	8	8	2	0	0
		44,4%	44,4%	11,1%	0,0%	0,0%
HM	La forma de modelar propuesta fue fácil de entender	4	10	3	1	0
		22,2%	55,6%	16,7%	5,6%	0,0%
	La forma de modelar propuesta fue fácil de usar	5	8	3	2	0
		27,8%	44,4%	16,7%	11,1%	0,0%
	El modelo construido me permitió encontrar posibles soluciones tecnológicas para la construcción de la interfaz	5	5	7	1	0
		27,8%	27,8%	38,9%	5,6%	0,0%
HD	La lista de deseos fue fácilmente traducible a una especificación de requerimientos funcionales y no funcionales	5	9	3	0	1
		27,8%	50,0%	16,7%	0,0%	5,6%
	La discusión colectiva a través de <i>RoundRobin</i> me ayudó a detectar falencias y elementos potenciales en mi idea	7	6	4	1	0
		38,9%	33,3%	22,2%	5,6%	0,0%
	La construcción de un red de ejemplos fue útil para dialogar con trabajos similares que están haciendo en otros lugares	8	7	1	2	0
		44,4%	38,9%	5,6%	11,1%	0,0%
UF	Experimentar físicamente con artefactos tecnológicos como tarjetas de desarrollo, sensores y actuadores me ayudó a fortalecer mi idea.	11	4	1	2	0
		61,1%	22,2%	5,6%	11,1%	0,0%
	La estrategia de diseño me ayudó a llegar una idea concreta de interfaz	5	12	1	0	0
		27,8%	66,7%	5,6%	0,0%	0,0%
	Sólo partiendo de un contexto (como el de "niños"), fue fácil para mí seguir la metodología y especificar mi idea de interfaz	7	6	5	0	0
		33,3%	33,3%	22,2%	0,0%	0,0%

EM Estrategia Metodológica

HM Herramientas de Modelado

HD Herramientas disponibles

UF Utilidad del *framework* para idear y diseñar interfaces tangibles

Tabla 6.1: Encuesta de percepción de utilidad del *framework* ApTUI

nalmente, el lenguaje permite definir íconos propios de una aplicación, e incluso fotografías de referencia que den cuenta del sistema real. Adicionalmente, algunos de los íconos son fortalecidos con texto, para aumentar el poder de representación de los modelos.

3. Transparencia semántica. Hace referencia a que la apariencia de los símbolos en la notación sugiera su significado. En este caso se escogieron íconos por defecto que se asociaran a su significado, como un ojo para los sensores o un engranaje para los actuadores.
4. Administración de la complejidad. Inclusión explícita de mecanismos para lidiar con la complejidad. En el modelo inicial, como perfil UML, todos los constructos y relaciones se presentaban en un mismo esquema. El modelo resultante era típicamente de gran complejidad visual incluyendo más de 10 elementos en cada esquema, aún para interfaces de baja complejidad. En la propuesta actual, el modelo incluye varios niveles de abstracción y cada nivel tiene menos componentes diagramados. Se incluyen 5 diagramas diferentes: de arquitectura, físico-lógico, de hardware, de software y de acciones.
5. Integración cognitiva. Propone incluir mecanismos explícitos para soportar la integración de información proveniente de diagramas diferentes. Como en el modelo propuesto hay 5 diagramas diferentes, se utilizó una

estrategia de referenciación que permite usar componentes de un diagrama como referencia en otro. La referencia funciona como un apuntador, de manera que es posible «viajar» de un diagrama a otro a través de un doble clic. Esto permite, adicionalmente, presentar conexiones entre la dimensión física y la digital del sistema continuamente.

6. Expresividad visual. Utilización del rango completo y capacidades de las variables visuales. De acuerdo con Moody, existen diversas variables que permiten la diferenciación entre símbolos como la forma, el color, el brillo, etc. En este caso se utilizaron diversidad de íconos con colores y formas variadas. Si bien esto incrementa el poder de representación del modelo, de alguna manera lo hace dependiente de la herramienta porque el nivel de recordación puede ser menor.
7. Codificación dual. Sugiere la utilización de textos para acompañar los gráficos. En algunas de las relaciones del metamodelo propuesto se incluyen los nombres para acompañar el símbolo. Adicionalmente, todos los constructos incluyen el nombre del elemento que representan, lo que es una característica propia de GME.
8. Economía gráfica. El número de elementos gráficos debe ser cognitivamente manejable. En la notación propuesta este elemento no está estipulado, pues entra en conflicto con elementos que se han señalado previamente y que fueron priorizados. La razón es que las interfaces tangibles son complejas y diversas, y por lo tanto es necesario poder representar su riqueza con una notación igualmente rica. Adicionalmente, el lenguaje permite que el modelador utilice su propia iconografía para los constructos, por lo que no hay forma de medir la economía gráfica.
9. Principio de ajuste cognitivo. Sugiere utilizar diferentes dialectos visuales para diferentes tareas y audiencias. Este es un ítem que hay que fortalecer en el lenguaje propuesto, pues aunque hay una aproximación a que distintos diagramas puedan ser utilizados por distintos públicos, esto no es explícito. Por ejemplo, se puede pensar que el diagrama de acciones puede ser construido con los usuarios y con diseñadores que no necesariamente pertenezcan al área de la tecnología, mientras que los diagramas de software y hardware permiten aproximarse a la solución tecnológica, por lo que pueden ser consultados y construidos por profesionales de ingenierías asociadas a la computación.

Capítulo 7

Conclusiones y trabajo futuro

Las interacciones tangibles se encuentran en una frontera borrosa entre lo digital y lo físico. Al estar en esta frontera son consideradas, por algunos autores, como formas más naturales de interacción entre el humano y el computador. Entrando en debate con esta postura, en esta tesis se presentan de manera que no es su naturalidad, sino su maleabilidad, la que las hace más fáciles de entretener en un contexto particular. En ese sentido, pensar en la dimensión tecnológica desde un punto de vista material permite que haya mayor conexión entre la información digital y una comunidad que interactúa con ella, en tanto se conectan a través de las prácticas y materialidades propias del contexto. Sin embargo, la creación de interacciones tangibles pertinentes y relevantes supone grandes retos metodológicos, conceptuales y técnicos. En esta investigación fue posible asumirlos directamente en la práctica a través del diseño de una interacción tangible de forma participativa con una comunidad de caladoras y como parte de un equipo multidisciplinar que incluyó científicas sociales, diseñadoras e ingenieros de diversas áreas.

Desde el proyecto BCP, y con fundamento teórico en la fenomenología, la Ingeniería Semiótica y la investigación basada en el diseño constructivo, se propuso un *framework*, ApTUI, cuyo propósito es apoyar el diseño participativo de interacciones tangibles. A continuación se presenta una reflexión de los resultados de la investigación en términos de contribuciones, limitaciones y trabajo futuro.

Contribuciones

Un conjunto de estrategias y herramientas articuladas que ayudan a llegar a una idea concreta de interfaz tangible, partiendo de un contexto difuso.

Las herramientas que existen en la actualidad para apoyar el diseño de interacciones tangibles están fundamentalmente orientadas al producto (la interfaz). Sin embargo, ApTUI considera tanto el producto, como el proceso de ideación y diseño de la interfaz, y de una forma extendida, de la interacción. Las estrategias se articulan en cinco «formas de»: *forma de pensar*, que propone el diseño participativo de interacciones tangibles a través de un acercamiento corporal a las prácticas de las comunidades participantes, *forma de trabajar y controlar*, que se proponen como una metodología iterativa, incremental y abierta con cuatro hitos: reconocimiento y reflexión, ideación, prototipado y experimentación, *forma de modelar*, definida como un lenguaje de modelado que permite la representación de las interfaces derivadas del proceso de diseño y *forma de soportar*, que provee una serie de herramientas para acompañar los procesos de diseño.

Un framework que propone una metodología para hacer prácticas premisas del diseño participativo en la creación de interacciones tangibles con los usuarios.

El diseño participativo considera al usuario como co-creador activo durante todo el proceso de diseño. Idealmente los usuarios deben participar en todas las decisiones de diseño activa y continuamente; sin embargo, las distancias geográficas, recursos limitados, diversidad de saberes, pluralidad metodológica, así como los conocimientos tácitos, muy usuales en las comunidades unidas por prácticas corporales, en encuentro con conocimientos explícitos, formales y estandarizados, típicos en la ingeniería y diseño tecnológico, hacen difícil tal forma de participación. En esta tesis se propone una metodología que articulada por tres ejes: diálogo, reconocimiento y representación, que permiten llevar a cabo el diseño participativo de interacciones tangibles lidiando con los desafíos mencionados. Estos ejes tienen su fundamento en el involucramiento directo con las prácticas de las comunidades participantes y con las prácticas propias, reconociendo que la experiencia e interacción son previas a la conceptualización del mundo. El involucrarse con las prácticas de otros ayuda a llegar a ideas relevantes conectando innovación y tradición, y también ayuda al diálogo indirecto entre los participantes a través del hacer y de las materialidades que lo construyen. Por ejemplo, en el proyecto BCP fue posible dialogar continuamente con las caladoras en el uso de los materiales como telas, hilos, tambores, deshiladores, así como a través de inscripciones gráficas de ellas realizando labores de calado.

Un lenguaje de modelado que permite especificar integralmente un amplio rango de interfaces tangibles y aproximarse a su solución tecnológica.

El lenguaje propuesto permite definir los componentes principales de las interfaces tangibles: objetos físicos, hardware y software, así como las acciones que puede llevar a cabo el usuario (o los usuarios) sobre el sistema a través de los objetos físicos y el sistema sobre los objetos físicos en respuesta a un evento. Adicionalmente, permite relacionar las dimensiones digital y física, pues en el modelado del software es posible relacionar qué objetos físicos representan o son representados por las clases digitales, y es posible definir con qué elementos físicos interactúa el usuario y de qué forma para generar ciertas respuestas del sistema. El lenguaje también permite modelar qué acciones o variables deben ser sensadas a través del hardware y qué específicamente se debe medir; así como permite modelar cuáles son las acciones que ejecuta el sistema, permitiendo una aproximación a la solución tecnológica. Dada la relevancia detectada para la notación visual, se propone un sistema de iconografía por defecto pero el lenguaje permite que quien modela pueda seleccionar sus propios íconos para incrementar el poder de representación de sus modelos.

Enriquecimiento de la experiencia de interacción con dispositivos móviles, a través de la utilización de elementos tangibles bordados.

Aunque no fue un objetivo de la tesis, en el diálogo con las caladora y en el involucramiento en las prácticas propias y de otros, se llegó a una forma de tangibles sobre los que es posible bordar, con hilo conductor, una etiqueta para que sean reconocidos y diferenciados al ser ubicados sobre pantallas táctiles. Potencialmente este tipo de interacciones con los dispositivos móviles puede diversificar la experiencia de usuario en diferentes contextos, como con personas en situación de discapacidad o con niños para contribuir al desarrollo de sus habilidades motoras.

Limitaciones

El framework propuesto está orientado a la experimentación más que a la solución de problemas, lo que dificulta la consecución de recursos y evaluación de resultados.

Como se mencionó en el capítulo 5, el prototipo de Cala-ITU estuvo orientado a experimentar en diálogo con las caladoras en torno a un diseño tecnológico inspirado en el bordado. Esto ejemplifica el que ApTUI está orientado a la experimentación más que a la solución de problemas, pues más que permitir el diseño de tecnologías asistencialistas, está orientado a permitir el diálogo entre saberes diversos y su materialización en artefactos tecnológicos, y puntualmente, de interfaces tangibles. Aunque esto no constituye una limitación en sí mismo, sí constituye una dificultad la consecución de recursos para este tipo de investigaciones abiertas, donde los resultados dependen del proceso mismo de investigar por lo que no se pueden anticipar con certeza. Esto se evidencia por una dificultad en establecer mecanismos de evaluación, pues al estar estrechamente ligado al proceso, cada interfaz es completamente única y difícilmente comparable con las demás. Asimismo, los objetivos de las investigaciones en las que puede ser utilizado ApTUI deben definir los objetivos más en términos del proceso que del artefacto que se espera obtener.

La propuesta metodológica y filosófica está estrechamente ligada a un alto grado de motivación en los participantes y requiere de alta dedicación de tiempo.

Como se ha hecho énfasis a lo largo de la tesis, el involucrarse en las prácticas de los otros directamente, con el cuerpo, es el fundamento base para conseguir un diseño participativo de interacciones tangibles relevantes. Lograr que los participantes se involucren en las prácticas de otros puede generar dificultades y tensiones, pues hay quienes consideran lejanas las otras prácticas y no "se sienten capaces de realizarlas". En BCP, por ejemplo, algunos participantes presentaron resistencia a bordar porque consideraban que las manualidades no eran parte de sus habilidades. De manera similar, en los proyectos desarrollados con los estudiantes del Politécnico Grancolombiano, algunos decidieron no soldar parte del hardware porque no se consideraban hábiles con el cautín. Lograr una motivación suficiente en los participantes para que se involucren en las prácticas de otros supone un gran reto, especialmente para los líderes de los proyectos. Adicionalmente, conseguir involucrarse o suficiente en las prácticas de otros para reconocer el contexto, es un proceso que toma bastante tiempo, lo que dificulta la construcción rápida de los artefactos.

La propuesta final del lenguaje de modelado y su notación visual, desde la perspectiva del usuario, no fue validada.

Con dos expertos, uno en ingeniería de software y el otro en ingeniería dirigida por modelos, se realizó una evaluación preliminar de la primera versión del lenguaje propuesta. Este versión fue como un perfil UML, y arrojó resultados coherentes con la evaluación que realizaron los estudiantes del Politécnico en relación con su percepción del lenguaje: la notación puede ser confusa, lo que dificulta su utilización. Con apoyo de uno de los expertos se replanteó la notación y evaluó sólo en términos de principios de diseño de notaciones visuales, pero no con usuarios. Esto representa un punto débil en la propuesta del lenguaje, en tanto se considera de vital importancia que los potenciales modeladores reconozcan el lenguaje como entendible y fácil de usar para que lo utilicen en sus diseños.

Trabajo futuro

Enriquecer el metamodelo para permitir la traducción de los modelos escritos en este lenguaje a código.

El modelado con el lenguaje propuesto permite aproximarse a la solución tecnológica porque hace posible reconocer cuáles son las acciones que el usuario puede ejecutar sobre el sistema y cuáles son las acciones que el sistema debe ejecutar en respuesta a eventos. Así, se puede especificar la arquitectura del sistema y definir cuáles son los componentes de hardware que permiten implementarlo: procesador, sensores, actuadores, etc. Asimismo, permite definir la estructura a nivel de software como un diagrama de clases que se enriquece con relaciones de representación que asocian una clase a un objeto físico que la representa o que ella representa. Como trabajo futuro se sugiere enriquecer el metamodelo para permitir que los modelos escritos en este lenguaje sean directamente traducibles a código. Adicionalmente, la mayoría de interfaces tangibles trabajan sobre sistemas embebidos, por lo que sería ideal que el código sea implementable sobre los que son de más extendida utilización, como Arduino.

Aplicar ApTUI en otros contextos y realimentarlo de acuerdo con los resultados que se obtengan.

En el proceso de validación con los estudiantes del Politécnico Gancolombiano se utilizó ApTUI, pero sólo de una forma parcial. Especialmente por el tiempo y recursos limitados, en estos proyectos no fue posible involucrarse lo suficiente en las prácticas de otros, y no se contó con la participación de comunidades unidas por prácticas corporales. Tampoco fue posible que todos los participantes realizaran trabajo de campo ni de laboratorio; por lo que se considera como un trabajo futuro relevante el implementar ApTUI en otro contexto que implique la participación de comunidades unidas por prácticas corporales y disciplinas diversas como en el caso de BCP.

Terminar de cumplir con los requerimientos de Cala-ITU especificados

Como se presentó en el capítulo 5, en el ciclo de diseño en el que se encuentra Cala-ITU no se han cumplido los requerimientos establecidos. Esto está estrechamente ligado a la limitación mencionada anteriormente, donde el inicio abierto y la exploración en la investigación, implican gran dedicación, por lo que llegar a resultados artefactuales es lento. En este caso, el proyecto BCP finaliza en Diciembre de 2015, momento para el cual estarán completos los requerimientos del prototipo.

Comentarios finales

En esta tesis propuse un *framework*, llamado ApTUI, para facilitar el diseño participativo de interacciones tangibles, que incluyó un lenguaje de modelado para representar las interfaces derivadas de ese proceso. A través de las evaluaciones preliminares realizadas, es válido señalar su potencial utilización en procesos de diseño de interacciones tangibles, que consideren dimensiones sociales y técnicas en el diseño. Es importante mencionar que son pocas las investigaciones realizadas en este tema en Colombia, por lo que el trabajo desarrollado puede constituirse como pionero en el desarrollo de estos temas en el país. Las exploraciones realizadas en BCP y el enriquecedor diálogo de saberes que tuvo lugar, permitieron reflexionar sobre la importancia de espacios de exploración en donde se construya tecnología inspirada en labores artesanales o corporales. Dado que Colombia es un país rico en lo artesanal, este tipo de espacios se pueden constituir como conexiones entre lo tradicional y lo tecnológico (desde un sentido digital), que diversifiquen la forma en que se percibe y se desarrolla tecnología en el país.

Bibliografía

- [1] ARTESANÍAS DE COLOMBIA, . Referencial Nacional de Bordado Calado - Capítulo Bordado de Cartago, n.f.
- [2] BANG, A. L., KROGH, P., LUDVIGSEN, M., AND MARKUSSEN, T. The Role of Hypothesis in Constructive Design Research. In *Proceedings of The Art of Research IV* (Helsinki, Finland, 2012).
- [3] BLAGOJEVIC, R., CHEN, X., TAN, R., SHEEHAN, R., AND PLIMMER, B. Using Tangible Drawing Tools on a Capacitive Multi-touch Display. In *Proceedings of the 26th Annual BCS Interaction Specialist Group Conference on People and Computers* (Swinton, UK, UK, 2012), BCS-HCI '12, British Computer Society, pp. 315–320.
- [4] BROWN, T. *Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation*. HarperBusiness, New York, Sept. 2009.
- [5] CALVILLO-GAMEZ, E. H., LELAND, N., SHAER, O., AND JACOB, R. J. K. The TAC Paradigm: Unified Conceptual Framework to Represent Tangible User. In *In Proceedings of LAHCI (2003)*, ACM Press, pp. 9–15.
- [6] CARROLL, J. M. *Making Use: Scenario-Based Design of Human-Computer Interactions*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 2000.
- [7] CARROLL, J. M. Human computer interaction - brief intro. In *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction, 2nd Ed.* Aarhus, Denmark: The Interaction Design Foundation, 2014.
- [8] CARROLL, J. M., AND ROSSON, M. B. Participatory design in community informatics. *Design Studies* 28, 3 (May 2007), 243–261.
- [9] CHAN, L., MULLER, S., ROUDAUT, A., AND BAUDISCH, P. CapStones and ZebraWidgets: Sensing Stacks of Building Blocks, Dials and Sliders on Capacitive Touch Screens. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (New York, NY, USA, 2012), CHI '12, ACM, pp. 2189–2192.
- [10] COLOMBIA. MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO. ARTESANÍAS DE COLOMBIA, S. D. D. Proyecto : Fortalecimiento del sector artesanal del valle del cauca diseño e innovación tecnológica aplicados en el proceso de desarrollo del sector artesanal colombiano : informe final, 2006.
- [11] CORTÉS-RICO, L., AND FLÓREZ-VALENCIA, L. Lenguaje de modelado para interfaces tangibles de usuario. In *Sometido a evaluación al 10CCC* (Bogotá, Colombia, 2015).
- [12] CORTÉS-RICO, L., MÁRQUEZ-GUTIÉRREZ, S., AND PÉREZ-BUSTOS, T. Materialidades que se bordan: el caso de una interfaz tangible de usuario inspirada en el bordado de Cartago, 2015.

- [13] CORTÉS-RICO, L., AND PIEDRAHITA-SOLÓRZANO, G. Participatory design in practice: the case of an embroidered technology. In *booktitle = Human-Computer Interaction INTERACT 2015* (Bamberg, Germany, Sept. 2015).
- [14] DE SOUZA, C. S. Semiotic engineering: bringing designers and users together at interaction time. *Interacting with Computers* 17, 3 (May 2005), 317–341.
- [15] DIJK, J. V., AND HACKER, K. The Digital Divide as a Complex and Dynamic Phenomenon. *The Information Society* 19, 4 (Sept. 2003), 315–326.
- [16] DINIZ, A. Moda praia paraibana contagia o mundo. *ABITTexbrasil* 02, 04 (Oct. 2010), 7–11.
- [17] DIX, A., FINLAY, J. E., ABOWD, G. D., AND BEALE, R. *Human-Computer Interaction (3rd Edition)*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 2003.
- [18] DJAJADININGRAT, T., WENSVEEN, S., FRENS, J., AND OVERBEEKE, K. Tangible Products: Redressing the Balance Between Appearance and Action. *Personal Ubiquitous Comput.* 8, 5 (Sept. 2004), 294–309.
- [19] DOURISH, P. *Where the Action is: The Foundations of Embodied Interaction*. MIT Press, 2004.
- [20] FERIEL DAUDI, S. N. A benchmarking framework for methods to design flexible business processes. *Software Process: Improvement and Practice* 12, 1 (2007), 51–63.
- [21] FISHKIN, K. P. A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal Ubiquitous Comput.* 8, 5 (Sept. 2004), 347–358.
- [22] FUCHSBERGER, V., MURER, M., AND TSCHELIGI, M. Materials, Materiality, and Media. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (New York, NY, USA, 2013), CHI '13, ACM, pp. 2853–2862.
- [23] GALLAGHER, S. Phenomenology. In *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction, 2nd Ed.*, soegaard, mads and dam, rikke friis ed. The Interaction Design Foundation, Aarhus, Denmark, 2014.
- [24] GARRIDO, J. Ingeniería semiótica: Recuperando la simpleza de la comunicación. *Diseño de Interacción FAZ* 6 (2014), 7–16.
- [25] GONZÁLEZ, A., AND RAMOS, P. Artes textiles canarias. https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/8056/44107_5.pdf?sequence=1, n.f.
- [26] GONZALEZ, R., AND DAHANAYAKE, A. Responsibility in User Participation in Information Systems Development. In *Proceedings of the 18th Annual IRMA International Conference* (Vancouver, Canada, 2007), 18th Annual IRMA International Conference.
- [27] GROSS, S. Material and Meaning in Tangible Interactions. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction* (New York, NY, USA, 2015), TEI '15, ACM, pp. 453–456.

- [28] GROSS, S., BARDZELL, J., AND BARDZELL, S. Structures, forms, and stuff: The materiality and medium of interaction. *Personal Ubiquitous Comput.* 18, 3 (Mar. 2014), 637–649.
- [29] HAGEN, P., AND ROBERTSON, T. Dissolving boundaries: Social technologies and participation in design. In *Proceedings of the 21st Annual Conference of the Australian Computer-Human Interaction Special Interest Group: Design: Open 24/7* (New York, NY, USA, 2009), OZCHI '09, ACM, pp. 129–136.
- [30] HALLNAS, L., AND REDSTROM, J. From Use to Presence: On the Expressions and Aesthetics of Everyday Computational Things. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 9, 2 (June 2002), 106–124.
- [31] HOLMQUIST, L. E., REDSTROM, J., AND LJUNGSTRAND, P. Token-Based Access to Digital Information. In *Proceedings of the 1st International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing* (London, UK, UK, 1999), HUC '99, Springer-Verlag, pp. 234–245.
- [32] INSTITUTE, L. *Innovating for People Handbook of Human-Centered Design Methods*, 1st edition ed. LUMA Institute, Pittsburgh, Pennsylvania, 2012.
- [33] ISHII, H. Tangible Bits: Beyond Pixels. In *Proceedings of the 2Nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction* (New York, NY, USA, 2008), TEI '08, ACM, pp. xv–xxv.
- [34] ISHII, H., AND ULLMER, B. Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (New York, NY, USA, 1997), CHI '97, ACM, pp. 234–241.
- [35] KELLER, S., AND CARROLL, J. The Social Role of Design Representation. In *Proceedings of the 20th Australasian Conference on Information Systems* (Melbourne, Australia, 2009), pp. 973–982.
- [36] KENSING, F., SIGURDARDOTTIR, H., AND STOOP, A. MUST a participatory method for designing sustainable health IT. *Studies in Health Technology and Informatics* 129, Pt 2 (2007), 1204–1208.
- [37] KLEMMER, S. R., HARTMANN, B., AND TAKAYAMA, L. How Bodies Matter: Five Themes for Interaction Design. In *Proceedings of the 6th Conference on Designing Interactive Systems* (New York, NY, USA, 2006), DIS '06, ACM, pp. 140–149.
- [38] KOSKINEN, I., ZIMMERMAN, J., BINDER, T., REDSTROM, J., AND WENSVEEN, S. *Design Research Through Practice: From the Lab, Field, and Showroom*, 1st ed. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2012.
- [39] KRATZ, S., WESTERMANN, T., ROHS, M., AND ESSL, G. CapWidgets: Tangible Widgets Versus Multi-touch Controls on Mobile Devices. In *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (New York, NY, USA, 2011), CHI EA '11, ACM, pp. 1351–1356.
- [40] KYNG, M. Designing for Cooperation: Cooperating in Design. *Commun. ACM* 34, 12 (1991), 65–73.
- [41] LATOUR, B. *La Esperanza de Pandora: Ensayos Sobre la Realidad de los Estudios de la Ciencia*. Gedisa, Barcelona, Aug. 2012.

- [42] LEE, B., ISENBERG, P., RICHE, N., AND CARPENDALE, S. Beyond Mouse and Keyboard: Expanding Design Considerations for Information Visualization Interactions. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 18, 12 (2012), 2689–2698.
- [43] LEITCH, S., AND WARREN, M. J. ETHICS: The Past, Present and Future of Socio-Technical Systems Design. In *History of Computing. Learning from the Past*, A. Tatnall, Ed., no. 325 in IFIP Advances in Information and Communication Technology. Springer Berlin Heidelberg, 2010, pp. 189–197.
- [44] LUCK, R. Dialogue in participatory design. *Design Studies* 24, 6 (Nov. 2003), 523–535.
- [45] MARIJN JANSSEN, AND ANTHONY M. CRESSWELL. An enterprise application integration methodology for e-government. *Journal of Enterprise Information Management* 18, 5 (Oct. 2005), 531–547.
- [46] MAZALEK, A., AND VAN DEN HOVEN, E. Framing Tangible Interaction Frameworks. *Artif. Intell. Eng. Des. Anal. Manuf.* 23, 3 (2009), 225–235.
- [47] MERRILL, D., SUN, E., AND KALANITHI, J. Sifteo cubes. In *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (New York, NY, USA, 2012), CHI EA '12, ACM, pp. 1015–1018.
- [48] MIDGLEY, G., MUNLO, I., AND BROWN, M. The Theory and Practice of Boundary Critique: Developing Housing Services for Older People. *The Journal of the Operational Research Society* 49, 5 (May 1998), 467–478.
- [49] MOODY, D. The Physics of Notations: Toward a Scientific Basis for Constructing Visual Notations in Software Engineering. *IEEE Transactions on Software Engineering* 35, 6 (Nov. 2009), 756–779.
- [50] NIELSEN, J. Iterative user-interface design. *Computer* 26, 11 (Nov. 1993), 32–41.
- [51] ORLIKOWSKI, W. J. Using Technology and Constituting Structures: A Practice Lens for Studying Technology in Organizations. *Organization Science* 11, 4 (July 2000), 404–428.
- [52] PENDER, H.-L., AND LAMAS, D. Exploring the Role of the Semiotic Engineering in Interaction Co-design. In *Proceedings of the 2013 Chilean Conference on Human - Computer Interaction* (New York, NY, USA, 2013), ChileCHI '13, ACM, pp. 18–23.
- [53] PÉREZ-BUSTOS, T., AND FRANCO-AVELLANEDA, M. Motivación para la creación, 2005.
- [54] PÉREZ-BUSTOS, T., AND MÁRQUEZ-GUTIÉRREZ, S. Destejiendo posturas feministas: reflexiones metodológicas desde la investigación social al diseño participativo de una tecnología, 2014.
- [55] PÉREZ-BUSTOS, T., AND MÁRQUEZ-GUTIÉRREZ, S. Sistematización 3: Historias asociadas al bordado y el calado como labores cuidadosas., Sept. 2014.
- [56] PÉREZ-BUSTOS, T., AND MÁRQUEZ-GUTIÉRREZ, S. Sistematización 4: Relaciones entre diseño y bordado/calado (1)., Mar. 2015.

- [57] PETRELLI, D., DULAKE, N., MARSHALL, M., WILLOX, M., CAPARRELLI, F., AND GOLDBERG, R. Prototyping Tangibles: Exploring Form and Interaction. In *Proceedings of the 8th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction* (New York, NY, USA, 2013), TEI '14, ACM, pp. 41–48.
- [58] RANDALL, D., AND ROUNCFIELD, M. Ethnography. In *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, soegaard, mads and dam. 2nd ed. ed. Rkke Friis, Aarhus, Denmark, 2014.
- [59] SABIESCU, A. G., AND MEMAROVIC, N. Participatory Design for Cultural Representation: A Cultural Transparency Perspective. In *Human-Computer Interaction INTERACT 2013*, P. Kotzé, G. Marsden, G. Lindgaard, J. Wesson, and M. Winckler, Eds., no. 8120 in Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 611–618.
- [60] SADDLER, H. J. Design: Understanding Design Representations. *interactions* 8, 4 (July 2001), 17–24.
- [61] SCHLEICHER, D., JONES, P., AND KACHUR, O. Bodystorming as embodied design. *Interactions XVII*, 6 (2010).
- [62] SELIGMANN, P., WIJERS, G., AND SOL, H. G. Analyzing the structure of i.s. methodologies: An alternative approach. In *Proceedings of the First Dutch Conference on Information Systems* (The Netherlands, 1989), pp. 1–28.
- [63] SHAER, O., AND HORNECKER, E. Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions. *Foundation Trends on Human Computer Interaction* 3, 12 (1997), 1–137.
- [64] SHAER, O., AND JACOB, R. J. A Specification Paradigm for the Design and Implementation of Tangible User Interfaces. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 16, 4 (Nov. 2009), 20:1–20:39.
- [65] SHAER, O., LELAND, N., CALVILLO-GAMEZ, E. H., AND JACOB, R. J. K. The TAC paradigm: specifying tangible user interfaces. *Personal Ubiquitous Comput.* 8 (2004), 359–369.
- [66] SHAER, O. Z. *A Visual Language for Specifying and Programming Tangible User Interfaces*. PhD thesis, Tufts University, Medford, MA, USA, 2008. AAI3320104.
- [67] SHARP, H., ROGERS, Y., AND PREECE, J. *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. Wiley, 2007.
- [68] SMITH, G. The Marble Answering Machine. *The hand that rock the cradle*, May/June (1995), 60–65.
- [69] SOL, H. G. Information System Development: A Problem Solving Approach. In *Proceedings of the International Symposium on System Development Technologies* (Atlanta, Georgia, 1988).
- [70] SOUZA, C. S. D. D. *The Semiotic Engineering of Human-Computer Interaction*. The MIT Press, Cambridge, Mass, Feb. 2005.
- [71] STOJANOVIC, Z., DAHANAYAKE, A., AND SOL, H. A Methodology Framework for Component-Based System Development Support -. *Journal of Database Management* 14, 1 (2003), 1–26.

- [72] SUCHMAN, L. A. *Plans and Situated Actions: The Problem of Human-machine Communication*. Cambridge University Press, New York, NY, USA, 1987.
- [73] TEWOLDEBERHAN, T. *Gaining insight into business networks. A simulation based support environment to improve process orchestration*. Tamrat Woldu Tewoldeberhan, Delft, The Netherlands, 2005.
- [74] TURNER, P. Affordance as context. *Interacting with Computers* 17, 6 (2005), 787–800.
- [75] ULLMER, B., AND ISHII, H. Emerging frameworks for tangible user interfaces. *IBM Syst. J.* 39, 3-4 (July 2001), 915–931.
- [76] ULLMER, B. A. *Tangible interfaces for manipulating aggregates of digital information*. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2002. Thesis (Ph. D.)Massachusetts Institute of Technology, School of Architecture and Planning, Program in Media Arts and Sciences, 2002.
- [77] ULRICH, W. Reflective practice in the civil society: the contribution of critically systemic thinking. *Reflective Practice* 1, 2 (2000).
- [78] VANDERBILT UNIVERSITY, . GME Overview. <http://www.isis.vanderbilt.edu/projects/GME/>, 2008.
- [79] VINES, J., CLARKE, R., WRIGHT, P., MCCARTHY, J., AND OLIVIER, P. Configuring Participation: On How We Involve People in Design. CHI '13, ACM, pp. 429–438.
- [80] VOELKER, S., NAKAJIMA, K., THORESEN, C., ITOH, Y., KJELL, I., AND BORCHERS, J. PUCs: Detecting Transparent, Passive Untouched Capacitive Widgets on Unmodified Multi-touch Displays. In *Proceedings of the Adjunct Publication of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (New York, NY, USA, 2013), UIST '13 Adjunct, ACM, pp. 1–2.
- [81] WALLACH, D., AND SCHOLZ, S. C. User-Centered Design: Why and How to Put Users First in Software Development. In *Software for People*, A. Maedche, A. Botzenhardt, and L. Neer, Eds., Management for Professionals. Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 11–38.
- [82] WATSON, M. C. Listening in the Pakal controversy: A matter of care in Ancient Maya studies. *Social Studies of Science* 44, 6 (Dec. 2014), 930–954.
- [83] WENGER, E. C. *Toward a Theory of Cultural Transparency: Elements of a Social Discourse of the Visible and the Invisible*. PhD thesis, University of California, Irvine, 1990. AAI9109659.
- [84] WINOGRAD, T., AND FLORES, F. *Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 1987.
- [85] WU, C.-H., CHANG, R., AND CHUNG, W.-H. Multi-touch points detection for capacitive touch panel. In *Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA), 2013 Asia-Pacific* (2013), pp. 1–4.

- [86] YU, N.-H., CHAN, L.-W., LAU, S. Y., TSAI, S.-S., HSIAO, I.-C., TSAI, D.-J., HSIAO, F.-I., CHENG, L.-P., CHEN, M., HUANG, P., AND HUNG, Y.-P. TUIC: Enabling Tangible Interaction on Capacitive Multi-touch Displays. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (New York, NY, USA, 2011), CHI '11, ACM, pp. 2995–3004.
- [87] ZAMAN, B., VANDEN ABEELE, V., MARKOPOULOS, P., AND MARSHALL, P. Editorial: The Evolving Field of Tangible Interaction for Children: The Challenge of Empirical Validation. *Personal Ubiquitous Comput.* 16, 4 (2012), 367–378.