

Bocetado de Interacciones Enactivas

Resumen de Tesis presentada para obtener el Doctorado en Ciencias Informáticas
en la Facultad de Informática de UNLP

Andrés Rodríguez

arodrig@lifa.info.unlp.edu.ar

Centro de Investigación LIFIA Facultad de Informática UNLP

Director Dr. Gustavo Rossi

Centro de Investigación LIFIA Facultad de Informática UNLP

Codirector Dr. Pascual González López

LoUISE Esc. Sup. de Ingeniería Informática Universidad Castilla La Mancha

22 de Noviembre de 2019

Resumen

Esta tesis se constituye en el cruce de tres temas: el diseño de sistemas interactivos que combinan un pie en lo digital y uno en lo físico, las teorías de la cognición corporizada y enactiva y las prácticas creativas soportadas por el bocetado. Este trabajo incluye contribuciones de diferente carácter. Se realiza un estudio profundo de las teorías sobre cognición corporizada y enactiva, del diseño de interacción con dispositivos digitales y del bocetado como herramienta básica del diseño creativo. Sobre la base de este análisis de la bibliografía existente y con una caracterización de la práctica de bocetado de interacciones enactivas basada en estudios etnometodológicos se plantea un framework para organizar conceptualmente esa práctica y una herramienta de soporte a esa actividad concebida como una composición creativa. Se discuten las contribuciones y se plantean posibles líneas de trabajo futuro.

Palabras clave: HCI, diseño de interacciones, bocetado, cognición

1. Introducción

El desarrollo de nuevas tecnologías interactivas y una mejor comprensión de cómo participa cuerpo en los procesos cognitivos empuja al campo de Interacciones entre Personas y Computadoras (HCI) a la necesidad de resolver la relación del usuario con múltiples dispositivos que se extienden mucho más allá de los escritorios[1].

La tendencia creciente a integrar la forma física y el proceso digital afecta a todas las disciplinas involucradas en el diseño de esos sistemas. Desde la perspectiva de la informática significa crear interfaces *corporizadas*, que utilizan diversos objetos físicos para controlar la información digital e interfaces *contextuales* que dependen de las señales disponibles en el entorno y la situación.

El diseño se ha considerado central para HCI, comenzando con un enfoque en el diseño de software, de la interfaz y finalmente el proceso completo como diseño centrado en el usuario. Muchos trabajos han mostrado la complejidad de esta práctica de diseño que no puede reducirse a unas recetas de pasos a seguir. Los estudios en el marco de la *Tecnología como Experiencia* (cómo aplicar la fenomenología de la experiencia a la práctica del diseño) y los aspectos lúdicos que promueven la curiosidad, la exploración y el disfrute estético entre las personas cuando se encuentran con nuevas tecnologías agregan un factor más de complejidad al paisaje.

Las teorías de la Cognición Corporizada (CC) que entienden la cognición como un fenómeno *corporizado, situado y enactivo* (e.g. [2], [3], [4]) se expandieron notablemente en las últimas décadas y abrieron nuevos programas de investigación en HCI. A partir del éxito del libro de Paul Dourish *Where the action is*[1] se produjo un viraje hacia la corporización con la intención de comprender la

interacción en términos prácticos con el entorno social y físico. La CC concibe la cognición como un proceso dinámico donde el significado surge dentro de la acción en curso, en lugar de suponerlo como fijo o pre-configurado. La acción y la percepción están inherentemente acopladas[7]. Los nuevos enfoques de CC enactiva obligan a nuevos estudios acerca de su vinculación con la práctica del diseño de sistemas interactivos.

En este contexto, el foco de esta tesis se constituye en el cruce de tres temas de interés actual para la Interacción entre Personas y Computadoras (HCI):

- *la actividad del diseño de sistemas interactivos*, con énfasis en la creación de los mecanismos de interacción que combinan un pie en lo digital y uno en lo físico. ¿Qué ocurre con el desafío de integrar la forma física con el software digital?
- *las teorías de la cognición corporizada y enactiva*. ¿Cómo aproximar el diseño de sistemas interactivos tomando en cuenta de manera explícita que la cognición que los usuarios tienen de ellos es *corporizada y enactiva*?
- *las prácticas creativas soportadas por el bocetado*, herramienta por antonomasia del diseño de interacciones, en particular los procesos de generación, evaluación y comunicación de propuestas de diseño. ¿Cuáles son las similitudes y diferencias entre el bocetado a mano alzada y los bocetos de interacciones enactivas? ¿Cómo deberían ser las herramientas para soportarlos?

A continuación se resumen los puntos más relevantes del trabajo realizado.

2. Background y trabajos relacionados

2.1. La cognición corporizada para el diseño de sistemas interactivos

La CC provee una base teórica relevante para el diseño de la nueva clase de formas artificiales que integran software e interacción tangible[8, 1]. La idea de CC surge como reacción al paradigma conocido como *Cognitivismo* que dominó el período inicial de investigaciones en HCI a partir de los trabajos de Newell, Card, Simon y Moran[9, 10]. En esa visión el conocimiento consiste esencialmente en *representaciones* almacenadas en el cerebro y todas las representaciones juntas forman un *modelo mental* del mundo exterior. El cerebro realiza *computaciones* sobre estas representaciones que permiten seleccionar una acción apropiada, dado el adecuado input perceptual. La CC rechaza esta división cartesiana entre la representación interna y el mundo externo y considera que el cerebro, el cuerpo y el entorno (y las relaciones entre ellos) forman parte del sistema cognitivo. La cognición tiene lugar **en la acción** como un aspecto del comportamiento real en situaciones concretas y que no se puede entender como un razonamiento abstracto separado de circunstancias concretas[2].

Se pueden identificar tres formas de abordar la idea de la CC: como un fenómeno distribuido de representación y computación, como una práctica socialmente situada o como un acoplamiento sensorio-motor (enacción). La primera, más cercana al cognitivismo, ha aportado conceptos como memoria externa, distinciones entre acciones epistémicas y pragmáticas y andamiaje cognitivo que dieron lugar a programas como las Interfaces de Usuario Tangibles de Ishii. La idea de cognición como práctica situada en contextos sociales donde los planes son adaptados continuamente, alimentó muchos casos de dispositivos interactivos para hacer música. Finalmente, la idea más radical de enacción con su enfoque de acoplamiento estructural entre la percepción y la acción, mediante conceptos como las affordances ha empezado a explicar, dar soporte y facilitar diseño de interacciones para generar nuevos sentidos y experiencias, interacciones transparentes o sin pantallas y enfoques sistémicos de la actividad.

2.2. Diseño de interacciones digitales y bocetado

El diseño es esencialmente una actividad intencional y compleja, que involucra incertidumbre y riesgo y que merece entidad propia en el proceso de creación de sistemas interactivos. Su complejidad reside, entre otras cosas, en las numerosas fuentes de información, restricciones y deseos, muchas veces

contradictorios, que es necesario compatibilizar hasta definir el problema a resolver. Sin embargo, la actividad de diseño no es un arte mágico e inescrutable sino que tiene su propia disciplina y rigor en la indagación, que involucra ciclos iterativos de enmarcado y re-definición de problemas, desarrollo de hipótesis, experimentación y actuación para cambiar progresivamente una situación incierta en una con mayor certidumbre. En esa práctica, el bocetado es esencial. Todas las externalizaciones, gráficas, tridimensionales o actuadas, que ayudan a pensar la situación, conversar sobre ella con otros o guardar ideas para más adelante, son centrales en el proceso de proponer una solución (hipótesis, *ver-como*) y analizar si se adapta al problema o lo redefine y abre un nuevo camino a explorar (testear, *ver-eso*).

En el caso de las relaciones entre personas y dispositivos digitales, donde lo temporal es relevante, el bocetado incorpora además la necesidad de experimentar la interactividad, la interacción-en-acción. Diseñar esa interacción es la actividad que intenta determinar los espacios de acciones (todo lo que la persona puede hacer) y operaciones (lo que el sistema es capaz de reconocer) en los que se vean involucrados el sistema o artefacto y sus usuarios.

2.3. Relevamiento de herramientas de soporte

Se realizó una revisión sistemática de la literatura sobre las herramientas propuestas para soportar la práctica del diseño de interacciones corporizadas. Tras un proceso de selección de dos ruedas, se recuperaron un total de 78 artículos que reportan *frameworks*, guías, toolkits y aplicaciones que se ofrecen para (a) abstraer y conceptualizar la actividad, (b) generar ideas de diseño y (c) construir modelos para evaluar la interacción. Estos trabajos se han centrado en las dimensiones de una idea de interacción, la corporización o *fisicalidad* en sí misma, la interactividad (*interacción-en-acción*) y las cualidades hedónicas de la experiencia de uso. Se reportan diversas herramientas para facilitar la creación, almacenamiento e intercambio de representaciones análogas a los bocetos en papel o las maquetas 3D enriquecidas con capacidades interactivas, aunque son pocos los trabajos que se apoyan sobre las observaciones de la práctica real de los diseñadores de interacciones corporizadas.

En el caso de las herramientas para generar, bocetar y evaluar ideas el principal foco ha sido puesto sólo en la disminución del umbral de acceso a la elaboración de modelos (básicamente mediante la facilitación de conexiones y circuitos mediante componentes pre-ensamblados). Esta revisión sistemática muestra que existe espacio para ampliar el soporte al proceso de la generación de ideas, no sólo bajando el piso, sino expandiendo el techo y las paredes del espacio de diseño, que es el enfoque que intentamos abordar en esta tesis.

3. Preguntas y método de investigación

El objetivo central de esta investigación es operacionalizar la Cognición Corporizada Enactiva para el bocetado y la generación de ideas en el diseño de interacciones y caracterizar y soportar esta práctica con herramientas computacionales. Para ello, se plantean dos preguntas que la tesis intenta responder:

1. **¿Cuáles son las características de los sistemas interactivos que se apoyan en la Cognición Corporizada y Enactiva?** Aquí buscamos comprender ¿de qué manera la CC provee información al diseño sobre la forma en que los sistemas interactivos se conectan con las prácticas corporizadas de la gente y situadas en el mundo real? ¿cuáles son las características de los sistemas interactivos digitales que facilitan una interacción Corporizada y Enactiva entre las personas y esos sistemas?
2. **¿Cómo podemos diseñar sistemas interactivos que se apoyen en la Cognición Corporizada y Enactiva?** En particular ¿qué características de la CC son relevantes para el proceso de diseño de los sistemas interactivos? ¿Qué características debe poseer el bocetado para dar soporte a la generación y evaluación de ideas para interacciones enactivas?

Para buscar respuestas a estas preguntas, esta tesis utiliza como método de investigación la aproximación triangular entre perspectivas múltiples que Mackay y Fayard [11] proponen para los problemas en HCI: a) una perspectiva teórica, en la cual las teorías, modelos y marcos de trabajo son estudiados y utilizados para entender un dominio del problema, b) una perspectiva de observación en la cual se observa cómo los usuarios interactúan con el mundo y c) una perspectiva de diseño en la cual el análisis de los datos de las observaciones y las teorías son trasladados en artefactos de diseño, los que a su vez pueden ser fuente de estudios de observación o teorización. Para nuestro trabajo, la triangulación se constituyó en:

- **Línea teórica: Entender la Cognición Corporizada y Enactiva.** Además de una revisión profunda del estado del arte en este tema, lo triangulamos para agregar en sus resultados en los protocolos de análisis de observaciones y en los requerimientos de desarrollo de las toolkits.
- **Línea de diseño: diseñar herramientas para diseñar sistemas interactivos** El marco general dentro del cual se puede ubicar la aproximación en la línea central es el llamado Investigación a través del Diseño (RtD por su sigla en inglés)[12].
- **Línea de observación: Entender la práctica del bocetado** La observación en los talleres y las entrevistas situadas que se resumen más adelante integran en la investigación el uso de técnicas de etnometodología para el estudio del diseño de interacciones.

Durante la investigación, las diferentes actividades se realizaron de manera que se alternaran a lo largo del tiempo, informándose mutuamente. La investigación general que se lleva a cabo se construye de manera iterativa en el sentido que sugieren estos ciclos de estudio, análisis, diseño y evaluación. Dentro de cada actividad de diseñar o estudiar seres humanos en acción, también hay reflexiones que pueden aportar una visión parcial: los resultados de los talleres se interpretan a la luz de la teoría, y también lo son los problemas de diseño particulares y la forma en que los abordamos. En conjunto, esto dio lugar a una comprensión cada vez más enfocada de las relaciones entre la cognición corporizada y enactiva, el diseño de sistemas interactivos y el contexto particular de la práctica del bocetado.

4. Una caracterización del bocetado de interacciones enactivas

Para caracterizar la práctica del diseño de interacciones corporizadas y enactivas se realizaron estudios empíricos con técnicas de etnometodología. Se llevaron adelante cuatro instancias de talleres de 16 horas cada uno en las que participaron en total 69 profesionales de diferentes nacionalidades y disciplinas, todos con práctica activa en el diseño de sistemas interactivos. Organizados en grupos de 3 o 4 integrantes generaron 15 propuestas. En cada taller, el autor desempeñó el rol de observador participante alternando entre los diferentes grupos. Con las consignas *Ver con los oídos*, *Ver con la piel* y *Sentir en el cuerpo el entorno físico/digital* se pidió a los diseñadores que generaran ideas de interfaces enactivas basadas en la sustitución sensorial, estrategia de diseño que requiere un abordaje de cognición corporizada[13]. Todo el proceso fue registrado en audio y video y analizado con un protocolo basado en el modelo *Personas-Actividades-Tiempo-Espacio*[14].

El análisis arrojó luz sobre las concepciones de la cognición corporizada que emplean los diseñadores y sobre los procesos y herramientas que utilizan para bocetar, en particular:

Desde la computación distribuida hacia la enacción, ida y vuelta En los diferentes grupos hubo una recorrida permanente de un camino que va desde la posición representacional (casi cognitivista) al enfoque más radical del acoplamiento sensorio motor. Los datos obtenidos indican que cualquier caracterización del proceso de ideación de interacciones enactivas debería considerar esta traza como un camino normal y proveerle andamios para recorrer la vía hacia el acoplamiento sensorio motor sin forzar ni obligar un proceso que saque al diseñador de su propia racionalidad.



Figura 1: Un grupo realizando pruebas de experiencia con sus bocetos interactivos

Uso de huellas creativas Tomando prestados conceptos de estigmergia (el mecanismo de coordinación entre agentes a través del medio ambiente y las huellas dejadas en él), podemos decir que los artefactos persistentes producidos durante la ideación (bocetos, audios, maquetas, anotaciones, etc) pueden considerarse como *huellas* que ayudan a construir el camino hacia la producción de una idea. Podemos enfocarnos en el aspecto sensorio-motor de esos artefactos en lugar de su función representativa (externalizar una idea) o social (pensar con otros). Sin embargo, en línea con lo propuesto por van Dijk[15], en el caso de la ideación de interacciones se trata, además, de *huellas creativas*, ya que son expresiones *intencionadas*, actos que involucran objetos a través de los cuales una persona se expresa a sí misma en un mundo social.

Durante la ideación los diseñadores gradualmente comienzan a construir un espacio compartido de huellas que perduran en los bocetos, las anotaciones en papel o pizarra, las configuraciones del espacio de trabajo, etc, con el objetivo de construir la idea de interacción que se expresa en la configuración final de los artefactos y los compromisos de cada participante. Ese camino de migas de pan no es lineal, como en cualquier exploración tiene curvas y contracurvas, pero puede ser recorrido en el sentido opuesto para abrir nuevas bifurcaciones. Todos los grupos hicieron este ida y vuelta en el camino de ideación. Avanzaron con una propuesta, la bocetaron y probaron. Sólo al repasar el *rationale* que los había llevado a esa idea (para lo cual fueron imprescindibles todas las huellas dejadas, tales como bocetos, anotaciones, videos, etc, que les permitieran **re-visitar** y **re-vivir** el momento previo de creación) se sintieron en la seguridad que la nueva idea que proponían realmente les abría un nuevo sendero de exploración.

Uso de interactividad como la dimensión del filtrado de los bocetos Todos los diseñadores trabajaron directamente sobre la *interacción-en-acción* o interactividad y dejaron para las etapas finales las pruebas sobre otras dimensiones de filtrado, como la apariencia, la funcionalidad o estructura espacial[16]. Mantener el foco sobre la interacción en sí misma involucra una postura de exploración y descubrimiento que favorece la emergencia de la forma del producto como una corporización de la interactividad buscada, tal como postula el abordaje enactivo. Esta emergencia impulsa además la toma oportunista de decisiones. De alguna forma el producto surge como una encarnación o corporización de la interactividad que se busca, en un ida y vuelta constante de definiciones sobre la extensión de campos de acción y operación[17].

Expresión de los atributos de interacción en cada tipo de boceto Los diseñadores registraron los atributos deseados de interacción en cada modelo que construyeron con recursos diferentes en cada caso: sobre los bocetos 2D o los storyboards lo hicieron con anotaciones textuales o un lenguaje de símbolos, pero también en las maquetas o bocetos en hardware trataron de registrar

cómo lograr la interactividad que imaginaron (post-Its en maquetas, comentarios en el código del software). En el contexto de acción del aquí y el ahora, los diseñadores hablaban, hacían gestos y modificaban representaciones gráficas o 3D. Los modelos crean un contexto objetivo en el que los diseñadores pueden realizar sus movidas. Lo observado en estos talleres respalda el trabajo de Robertson[18] que describe cómo los diseñadores utilizan las enacciones para crear y participar en una representación del proceso o actividad basada en el tiempo en la que otros pueden participar. Los bocetos de diferentes naturaleza (papel, hardware, experiencia) se pueden considerar como estados en un particular diagrama de estado; lo que falta en el diagrama son las transiciones. Para representar las transiciones entre estados, los diseñadores hacen uso de gestos y enacciones. Los diseñadores de interacción corporizada deben aprender a reconocer e incluso articular estas enacciones como formas importantes de expresarse a medida que desarrollan diseños.

Uso de bocetos como ideas de interacción enactuadas La concepción y creación de nuevas interfaces enactivas demanda la generación de una gran cantidad de externalizaciones y representaciones para complementar la generación de ideas que puede ser soportada por el papel con la acción sobre el mundo real, usando el cuerpo (propio o actuando en grupo) y modelos físicos tridimensionales. Es evidente que los diseñadores necesitan valerse de herramientas que les permitan explorar y confrontar la interacción que buscan, casi como una puesta en escena que implica herramientas de diseño de gestos, performances casi coreográficas y bocetado interactivo (con o sin hardware electrónico). Los diseñadores necesitan expresar la dinámica de la interacción. Jugar el rol de un usuario y explorar la tecnología potencial con la intención de usarla, ayuda a los diseñadores a explorar el diseño y sus ideas de diseño, y también a generar nuevas ideas. El uso de recorridos de interacción conducidos por gestos y enacciones también facilita ver que hay consecuencias en las otras dimensiones del boceto, fuera de la interactividad.

Uso de tinkering Todos los grupos emplearon un estilo de *tinkering* (una especie de “hágalo usted mismo” basado en la exploración de material existente) para construir modelos físicos e interactivos, con cualquier elemento a la mano o con sencillos circuitos sobre placas de prototipado, antes de intentar un modelo más refinado o con mayor fidelidad. El ajuste de los atributos de interactividad fue realizado con procesos iterativos de re-codificación, compilado y subida del programa a Arduino, lo que claramente interrumpía el flujo cognitivo de los diseñadores. Este aspecto fue el más destacado por los diseñadores: la necesidad de disponer de herramientas que agilizaran esta dinámica de cambio y les facilitaran mantener el flujo de pensamiento sobre las ideas de la interacción buscada. De acuerdo con las estrategias de *tinkering*, refuncionalización de partes desguazadas, elaboración de circuitos ad hoc, etc. observadas en los talleres es factible sugerir que los diseñadores se benefician con la disminución del umbral para la construcción con componentes electrónicos (por ejemplo, soporte para construir circuitos de manera correcta, herramientas de diagnóstico de error y correcciones apropiadas).

5. Herramientas para el bocetado de interacciones enactivas

Los toolkits se consideran en la investigación de HCI como contribuciones de tipo *artefactual* donde “el nuevo conocimiento está embebido en y manifestado por los artefactos y el material de soporte que los describen”[19]. Por lo tanto, a partir de los análisis de la Cognición corporizada y el diseño de interacciones y la caracterización de esta práctica en talleres, se abordó un proceso de diseño para embeber ese análisis un conjunto de herramientas de soporte.

Pluma 1.0 La primera contribución es Pluma, una pequeña aplicación para generar bocetos con el concepto de composición creativa basada. Pluma versión 1.0 permite componer y configurar rápidamente bocetos interactivos empleando gestos manuales como input y actuación háptica e imágenes visuales como output. Tiene dos módulos principales: uno para seleccionar los elementos de

sensado y actuación y otro para determinar la interactabilidad del artefacto en boceto. La aplicación permite la "ejecución" del boceto y su modificación tantas veces como sea necesario sin requerir programación por parte del diseñador. Está implementada como una pequeña arquitectura web basada en Node.js¹ que se comunica mediante el framework Johnny-Five² con módulos de Arduino con Firmata³ y el sensor LeapMotion para detectar gestos⁴.

Para la evaluación de Pluma 1.0 se realizó un estudio de caso informal (en el sentido propuesto por Lazar[20]) con un grupo de 5 profesionales que participaban de un desarrollo para la Televisión Digital Interactiva (4 diseñadores y un ingeniero electrónico). La consigna fue generar ideas de control remoto de TV con interacción gestual y feedback háptico. El taller se extendió por 4 horas, se registró en audio y video y luego se utilizó un protocolo de análisis con codificación abierta.

Los diseñadores se enfocaron directamente en encontrar una buena interactividad y para eso filtraron todos sus bocetos con la interactabilidad que buscaban para el control. Sólo aparecieron algunos esbozos en papel sobre formas y geometrías, fundamentalmente analizando tipos de prensión y resolución de interactabilidad para ambidextros. Fue interesante comprobar que los 4 participantes con formación y experiencia de diseño utilizaron bocetos 2D, storyboards y maquetas de cartón con numerosas gesticulaciones además del bocetado en hardware elaborado con Pluma, pero sólo el ingeniero actuó sobre los circuitos de actuadores y sensores: la *cajanegrización* del código de software por sí sola no alcanza para bajar el umbral de acceso, es necesario incorporar en ese mecanismo de alguna forma también los circuitos y conexiones de componentes. La forma de trabajo en términos de composición creativa no pareció imponer restricciones fuera de la lógica propia de los diseñadores.

Un marco para el bocetado de interacciones enactivas Los estudios de CC y Diseño más la evaluación de Pluma 1.0, dieron pie a un framework conceptual para organizar y relacionar los diferentes elementos y variables que entran en juego en el proceso del bocetado para la ideación de interacciones enactivas, utilizando un esquema de dos dimensiones más una tercera que corresponde al desarrollo temporal del camino creativo:

- **La corporización de interactabilidad** Los diseñadores generan representaciones externas utilizando dos, tres o cuatro dimensiones (bocetos, maquetas de estudio con o sin interactividad, etc.).
- **La extensión y profundidad de la interactabilidad** con representaciones que van desde una expresión estrecha y profunda de la interactabilidad (un aspecto particular con todas sus variaciones) hasta una amplia y superficial (un poco de toda la interactabilidad que se busca).
- **La ubicación temporal del boceto** aunque es obvio que las representaciones se crean en distintos tiempos es necesario incluir esta temporalidad en la organización porque la secuencia que se produce de distintas externalizaciones es parte significativa del proceso de indagación del diseñador y, por otra parte, porque se podrán identificar trazas que vinculen una representación en un momento con otra de un momento posterior.

Tanto en el eje de la corporización como en el de la extensión-profundidad no es posible conocer de antemano el orden y formato de representación y modelado a utilizar por los diseñadores. Cada proceso, cada diseñador, cada problema es un universo en sí mismo en este aspecto, como bien pudimos observar en la práctica. Es necesario por lo tanto aceptar que el diseñador puede comenzar en cualquiera de los niveles y proveer mecanismos de traza que permitan relacionar la información entre aquellos cuando se trate de diferentes vistas de una misma idea. El hilo conductor que permite establecer esa conexión es la expresión de la *interacción-en-acción* que se busca conseguir (que es uno de los atributos a considerar en la dimensión de filtrado de la anatomía de prototipos[16]).

Esta forma de pensar la organización de la producción de externalizaciones puede servir como base para la definición de requerimientos de las herramientas que den soporte a la actividad. Para ello,

¹<http://nodejs.org>

²<http://johnny-five.io>

³<http://github.com/firmata/arduino>

⁴<http://www.ultraleap.com>

las herramientas deberán combinar la posibilidad de integrar diferentes formas de externalización y además ser capaces de asegurar la trazabilidad de las características implícitas o emergentes en cada una de ellas hacia otras de distinto nivel de corporización y extensión-profundidad, ofreciendo por ejemplo el uso de lenguajes o vocabularios de interactividad.

Pluma 2.0 Finalmente, se propone una versión de Pluma completamente reformulada que implementa varias de las ideas y requerimientos explorados en secciones precedentes. Pluma 2.0 facilita el bocetado de interacciones enactivas conectando diferentes niveles de manifestaciones y baja el umbral para el bocetado interactivo con hardware.

Esta segunda versión de Pluma está diseñada como un Cuaderno de bocetos enactivos, donde el diseñador pueda desarrollar, incorporar, integrar y evaluar las diferentes manifestaciones del bocetado como quedaron planteadas en el framework de la sección anterior y la estrategia de composición creativa para la ideación. Presenta una biblioteca de componentes de sensado y actuación y otra de vocabularios de interactabilidad, que permiten componer bocetos en un Cuaderno que pueden ser enactuados en todo momento.

Para la evaluación de Pluma 2.0 se utiliza una demostración del espacio de diseño alcanzable, que sigue siendo el método de evaluación más utilizado en la investigación en HCI (como se muestra en un estudio reciente sobre más de 60 toolkits significativas en la historia de HCI[21]). Los espacios de diseño a menudo consisten en dimensiones con propiedades a las que se pueden alinear los ejemplos. Una exploración del espacio de diseño es, por lo tanto, una forma sistemática de tratar de trazar posibles límites de diseño. En el caso de Pluma, realizamos la exploración con una colección de tres ejemplos que replican casos presentados en la literatura: un reproductor de audio controlado con movimientos, un sistema de mensajería con feedback háptico y un browser controlado por gestos.



Figura 2: Demostración del caso Reproductor de Audio: construcción y prueba de boceto con hardware (con Arduino, sensor LDR y acelerómetro) y modelo de bloques en Cuaderno de Pluma

En particular, Pluma soporta la exploración de ideas y propuestas por parte del diseñador, permitiéndole trabajar con diferentes versiones de una misma idea, replicar su funcionamiento y re-visitarse el camino de indagación que llevó a ellas tantas veces como el diseñador considere necesario.

Pluma baja el umbral al facilitar la modelización con unos pocos clics y *drag and drop* de proxies visuales que le permiten al diseñador disponer también de una guía sobre cómo construir su modelo en hardware. La adopción del sistema Grove⁵ con conexiones y componentes estandarizados *cajanegriza* la

⁵http://wiki.seeedstudio.com/Grove_System/

elaboración de circuitos y permite que el diseñador pueda concentrarse en la idea de interactabilidad.

Hemos detectado a su vez un espacio para mejoras necesarias. Por una parte, el avance de ideas en paralelo con bocetos de hardware requiere tantas versiones de la composición como variantes se quiera desarrollar. Será necesario mayor trabajo para facilitar la conexión simultánea de al menos dos o tres variantes en hardware de una idea. Además, hemos intentado mantener el espacio de diseño con paredes amplias y techos altos y facilitar además la extensión mediante sub-clasificación de elementos. Sin embargo, esta sub-clasificación requiere en este momento de la intervención en el código de Pluma.

6. Conclusiones y trabajos futuros

Esta tesis involucra tres campos disciplinares (diseño de sistemas interactivos, cognición corporizada y enactiva, bocetado) cada uno con tradiciones, métodos y principios diferentes por lo que se ha utilizado una aproximación triangular de perspectivas múltiples[11]: a) una teórica, en la cual se estudiaron las teorías y modelos para comprender la Cognición Corporizada y Enactiva y dar forma su relación con el diseño de sistemas interactivos, b) una empírica, con la que se observa y analiza la práctica real de los diseñadores cuando idean dispositivos y sistemas para interactuar en y con el mundo y c) una de diseño, que permite trasladar el análisis de las observaciones y teorías a la construcción de herramientas para soportar el bocetado de interacciones enactivas, lo que a su vez retroalimentó nuevos estudios de observación y análisis teórico.

Se han presentado en detalle los conceptos de la Cognición Corporizada y Enactiva y las consecuencias particulares de cada una de sus vertientes (computación distribuida, práctica social situada y acoplamiento sensorio motor) para el diseño de sistemas interactivos.

Se ha revisado el conocimiento actual sobre la ideación en diseño de interacciones, los roles que el bocetado cumple en ese proceso y se ha efectuado una revisión sistemática de las herramientas propuestas para soportarlo.

Ese background permitió alimentar triangularmente la generación de tres tipos de contribuciones (según la clasificación de Wobborck[19]):

- **Una contribución empírica:** mediante observaciones etnometodológicas se ha obtenido un caracterización del bocetado de interacciones enactivas. Se ha mostrado tanto la forma en que los diseñadores utilizan las ideas de cognición corporizada y enactiva para fundamentar sus procesos de diseño, como los requerimientos a satisfacer por las herramientas de soporte a esos procesos.
- **Una contribución teórica:** un framework que se propone para dar estructura y organización conceptual al bocetado de interacciones enactivas. Clarifica las tres funciones del bocetado en este proceso de ideación y organiza la producción de externalizaciones..
- **Una contribución artefactual:** Pluma, una herramienta para el bocetado con un abordaje de composición creativa que facilita la producción de bocetos en diferentes niveles de corporización, permite una integración entre diversas formas del boceto que sea manejable por el diseñador, facilita la definición y el diseño de la interactividad mediante el uso de vocabulario de la interacción, mantiene el umbral de acceso a la tecnología lo más bajo posible y permite el amojonamiento del proceso con huellas expresivas que sean re-visitables. La validación inicial de estas herramientas se ha presentado por estudios informales de casos y demostración del espacio de diseño alcanzable.

Para dar continuidad y profundidad a este trabajo será importante extender la serie de observaciones de la práctica del bocetado, incorporando la utilización de herramientas específicas como Pluma y otros abordajes de diseño por fuera de la sustitución sensorial. Tanto estudios de observaciones etnometodológica como el presentado en esta tesis como estudios de casos controlados podrán aportar mayor información sobre la práctica y contribuir a extender y profundizar el framework presentado.

Por otra parte, respecto de Pluma será necesario actualizar su arquitectura tecnológica, aumentar y complejizar formatos de creación y re-visitado de huellas expresivas y realizar experimentos controlados de validación.

Referencias

1. Paul Dourish. *Where the action is. The foundations of embodied interaction*. MIT Press, 2004.
2. Lucy Suchman. *Human-machine reconfigurations. Plans and situated Actions, 2nd edition*. Cambridge University Press, 2007.
3. F J Varela, E Thompson, and E Rosch. *The embodied mind*, volume 6. MIT Press, 1991.
4. Edwin Hutchins. *Cognition in the Wild*, volume 19. MIT Press, 1995.
5. Donald A. Schon. Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. *Knowledge-Based Syst.*, 5(1):3–14, mar 1992.
6. Jonas Löwgren and Erik Stolterman. *Thoughtful Interaction Design: A Design Perspective on Information Technology*. MIT Press, 2004.
7. James Jerome Gibson. *The Ecological Approach to Visual Perception*. 1986.
8. Eva Hornecker and Jacob Buur. Getting a grip on tangible interaction: a framework on physical space and social interaction. In *Proc. SIGCHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst.*, volume 1 of CHI '06, pages 437–446, New York, NY, USA, 2006. ACM.
9. Alan Newell and Herbert Simon. *Human problem solving*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1972.
10. Stuart K. Card, Allen. Newell, Thomas P. Moran, and Allen. Newell. *The psychology of human-computer interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, USA, 1983.
11. W Mackay and A Fayard. HCI, Natural Science and Design: A Framework for Triangulation Across Disciplines. *DIS' 97 Amsterdam*, pages 223–233, 1997.
12. Ilpo Koskinen, John Zimmerman, Thomas Binder, Johan Redström, and Stephan Wensveen. *Constructive Design Research*. 2012.
13. Tom Froese and Shaun Gallagher. Getting interaction theory (IT) together: Integrating developmental, phenomenological, enactive, and dynamical approaches to social interaction. *Interact. Stud.*, 13(3):436–468, 2012.
14. Rosana Guber. *La etnografía. Método, campo y reflexividad*. Siglo XXI Editores, Buenos Aires, 2011.
15. Jelle van Dijk. *Creating Traces, Sharing Insight: Explorations in Embodied Cognition Design*. PhD thesis, 2013.
16. Youn-Kyung Lim, Erik Stolterman, and Josh Tenenber. The anatomy of prototypes. *ACM TOCHI*, 15(2):1–27, jul 2008.
17. Lars-Erik Janlert and Erik Stolterman. The Meaning of Interactivity—Some Proposals for Definitions and Measures. *Human-Computer Interact.*, 0024(September), 2016.
18. Toni Robertson. Cooperative Work and Lived Cognition: A Taxonomy of Embodied Actions. In *Proc. Fifth Conf. Eur. Conf. Comput. Coop. Work, ECSCW'97*, pages 205–220, Norwell, MA, USA, 1997. Kluwer Academic Publishers.
19. Jacob O Wobbrock and Julie A Kientz. Research Contributions in Human-computer Interaction. *interactions*, 23(3):38–44, 2016.
20. Jonathan Lazar, Jinjuan Heidi Feng, and Harry Hochheiser. *Research methods in Human-Computer Interaction*. Morgan Kaufmann Publishers, Cambridge, MA, USA, second edition, 2017.
21. David Ledo, Steven Houben, Jo Vermeulen, Nicolai Marquardt, Lora Oehlberg, and Saul Greenberg. Evaluation Strategies for HCI Toolkit Research. *Proc. 2018 CHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - CHI '18*, pages 1–17, 2018.