

Marco de Trabajo para el Bocetado de Interacciones Enactivas

Andrés Rodríguez^{*§}, Pascual González^{**}, Gustavo Rossi^{*}

Fecha de Recibido: 22/12/2014 Fecha de Aprobación: 03/03/2015

Resumen

En este trabajo se presenta un marco de trabajo para caracterizar el bocetado de interacciones enactivas. Se pasa revista a los conceptos básicos de interfaces enactivas y al rol del bocetado para el diseño de interacciones. Luego se propone un marco de trabajo que organiza el bocetado en un mapa en dos dimensiones. En una se expresa la interactividad que corporizan las diferentes representaciones utilizadas por los diseñadores (bocetos 2D, maquetas y bocetos en hardware). La otra, organiza el rango de expresividad que esas representaciones alcanzan en términos de la experiencia de usuario. Las diferentes categorías de bocetos se vinculan en el marco propuesto mediante los atributos de la interactividad que busca el diseñador. Se presentan dos casos de estudio exploratorios sobre el uso de bocetos para la generación de ideas de interacciones enactivas. Finalmente, se esbozan los requerimientos que surgen para el desarrollo de herramientas que soporten el bocetado de interacciones enactivas.

Palabras clave: *Bocetado, Interfaces enactivas, Diseño.*

Abstract

In this paper a conceptual framework for addressing the sketching of enactive interactions is presented. The concepts of enactive interfaces and the role of sketching for designing interactions are reviewed. A conceptual framework for sketching organized as a two-dimensional map is described. One of those dimensions expresses the interactivity that embodied by the different representations used by designers (2D sketches usually made freehand on paper, models or mockups and sketches in hardware -(electronically enhanced mockups adding interactive capabilities). The other one organizes the user experience expressiveness achieved by the different sketches. The sketches categories are linked through the attributes of interactivity sought by the designer. Two case studies show some exploration in the use of sketching during

^{*}LIFIA, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata, {arodrig, gustavo}@lifia.info.unlp.edu.ar

^{**}LoUISE, Instituto de Investigación en Informática de Albacete, Universidad de Castilla-La Mancha pascual.gonzalez@uclm.es

[‡] Se concede autorización para copiar gratuitamente parte o toda el material publicado en la *Revista Colombiana de Computación* siempre y cuando las copias no sean usadas para fines comerciales, y que se especifique que la copia se realiza con el consentimiento de la *Revista Colombiana de Computación*.

the idea generation for enactive interfaces. Finally, the paper outlines some requirements for tools that support the sketching of enactive interaction.

Keywords: *Sketching, Enactive interfaces, Design.*

1. Introducción

El bocetado es una de las prácticas privilegiadas por los diseñadores a la hora de generar y representar las ideas y los productos intermedios de su actividad, especialmente en los primeros pasos del proceso. Consiste en la producción de representaciones gráficas, generalmente a mano alzada, realizadas con rapidez y mínimos detalles y que produce unos gráficos que los propios diseñadores suelen llamar “dibujos para pensar” [8]. Sus productos son tan idiosincráticos y ambiguos que a menudo solo son comprensibles por su autor. Esta práctica es habitual en las etapas iniciales de todas las disciplinas de diseño [12, 19].

El continuo desarrollo de tecnologías interactivas ha empujado al diseño de interacciones (y al campo HCI en general) a la necesidad de resolver la relación del usuario con una multitud de dispositivos que se extienden más allá de los escritorios y que disponen de capacidades tan variadas como detectar gestos y posiciones, interpretar expresiones faciales, comunicarse utilizando diferentes modalidades de manera simultánea, etc. Estos ámbitos de diseño abren nuevos desafíos a la hora de disponer de procesos, métodos y herramientas para alcanzar experiencias de uso adecuadas.

Aquí es presentado un marco de trabajo para el bocetado de interacciones enactivas (que aumentan, extienden o sustituyen formas de percepción sensorial [7]). En este marco se incluyen tanto las formas habituales de bocetado a mano alzada y de maquetado con materiales *ad-hoc* como los bocetos en hardware, vinculados entre sí por las características de la interactividad buscada.

El trabajo se organiza en cuatro secciones. La Sección 2 presenta algunos fundamentos conceptuales y trabajos relacionados con el uso del bocetado para el diseño de interacciones enactivas. En la 3, se describe un marco conceptual para caracterizar el bocetado de esas interacciones (organizado en un cruce de dos dimensiones: la interactividad corporizada por las representaciones y el análisis de la experiencia de usuario buscada) y un par de casos de estudio exploratorios que apoyan las ideas generales del marco de trabajo. La Sección 4 expone como resultados la discusión de los requerimientos para nuevas herramientas que soporten la actividad del bocetado de interacciones enactivas. El artículo cierra en la Sección 5 con las conclusiones y el planteamiento de algunas líneas de trabajo futuro.

2. Fundamentos Conceptuales y Trabajos Relacionados

2.1 Las Interacciones Enactivas

En los últimos tiempos ha adquirido fuerza la necesidad de incluir en la base del diseño de interacciones el conocimiento enactivo, que se obtiene y manifiesta a través de un fuerte acoplamiento entre la percepción y la acción. Se ha sostenido que el desarrollo del diseño de interacciones parece mostrar una evolución que recorre los tres tipos de conocimiento postulados por Bruner[4]: simbólico (representación del mundo mediante símbolos que son manipulados por la mente), icónico (basado en imágenes) y enactivo (obtenido y exhibido en las interacciones con el entorno físico). El modelo inicial del diálogo con la computadora requirió el uso de conocimiento simbólico, las metáforas posteriores basadas en escritorios y herramientas de oficina se fundaron en el conocimiento icónico. Hoy, el desarrollo de interacciones tangibles y gestuales requiere el conocimiento enactivo [31].

Por otro lado, las teorías sobre la corporización de la cognición (la forma en que la experiencia corporal sensorio-motriz contribuye en los procesos cognitivos superiores con los que damos sentido al mundo que nos rodea) y la enacción (la interdependencia entre el conocedor y lo conocido, la mente y el mundo) ofrecen otras formas de pensar la relación entre cuerpo, mente y tecnología y generan una base diferente para el diseño de interacciones[14].

Hasta no hace mucho tiempo el diseño de interacciones se había sustentado en el modelo del procesamiento de información “en la mente”, lo que en la literatura se ha llamado “abordaje cognitivista”[7]. Este enfoque implica interponer entre la percepción y la acción un proceso separado de actividad lógica del lado del usuario, como muestra la Fig. 1. El usuario es forzado a cambiar el foco de su atención de la salida abstracta del dispositivo y debe razonar sobre lo que ese *output* significa para el curso de acción, antes que seguir implicado en una interacción “transparente” con el entorno.

El abordaje enactivo considera que la percepción sensorial (*input*) y la actuación motora (*output*) son dos caras de un mismo proceso de construcción del sentido. Una interfaz enactiva puede definirse “como una interfaz tecnológica diseñada con el propósito de aumentar la construcción de sentido”[7]. La búsqueda o creación de sentido es la idea que nos permite describir por qué las cosas nos importan y no nos resultan indiferentes. Según este enfoque, la

construcción de sentido comienza por un entendimiento inmediato de la situación (sin mediación del lenguaje) y alcanza en otro momento una interpretación mediada por el lenguaje y la reflexión. Aumentar la construcción de sentido significa expandir el rango de interacciones posibles con el mundo mediante la tecnología, es dar a la persona oportunidades para crear nuevos modos o modalidades de interacción perceptual.

En consecuencia, un sistema enactivo es corporizado de una manera no trivial, ya que no implica simplemente la construcción física de una interfaz o el uso de elementos tangibles. Involucra una aproximación a la corporización de la cognición, que se caracteriza por estar situada (es decir que tiene lugar en el contexto de *inputs* y *outputs* que son relevantes para la tarea), condicionada por el tiempo, que utiliza el entorno, que tiene la acción como objetivo y que emplea el cuerpo incluso aunque se produzca “offline”[32].

Si partimos del modelo “cognitivist” de interacción, como el que muestra la Fig. 1 donde el usuario responde a los estímulos del dispositivo produciendo unas entradas que mantienen el loop de interacción, podemos extenderlo para presentar un modelo que tenga en cuenta las características de la enacción mencionadas. La actividad corporizada que caracteriza a las interacciones enactivas se puede definir como un estado que consiste en mezclar la acción y la consciencia (*awareness*) y de este modo conseguir la completa integración del agente con el contexto en el que se produce la interacción, alcanzando una interacción transparente. Hay una continuidad entre el percibir y el actuar, que se experimenta como flujo. En la Fig. 2 los bordes entre la percepción, el razonamiento y la acción colapsan y la continuidad entre percibir y actuar es indicada por la etiqueta “acción guiada por la percepción”. Corresponde con la noción de instrumento “*ready-to-hand*” propuesta por Heidegger[10], la cual indica una relación esencial entre el usuario y la herramienta a través de su uso, por ejemplo, solo podemos saber cómo utilizar un martillo para martillar una vez que lo tomamos en las manos y lo usamos, podemos decir que el uso del martillo se hace transparente cuando lo usamos. De este modo, la mezcla de acción y consciencia interrumpe la desconexión entre la persona y el entorno como factor de la experiencia. En este modelo de interacción no existe un foco explícito en los mecanismos conscientes, el aspecto que distingue al modo “*ready-to-hand*” es que es un modo de comportamiento inconsciente e irreflexivo. Como hemos dicho, la interfaz es una herramienta transparente que media la actividad dirigida por metas y la interacción senso-motriz del usuario.

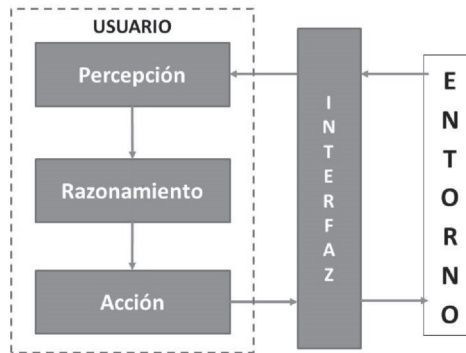


Fig. 1. Modelo de interacción cognitivista.

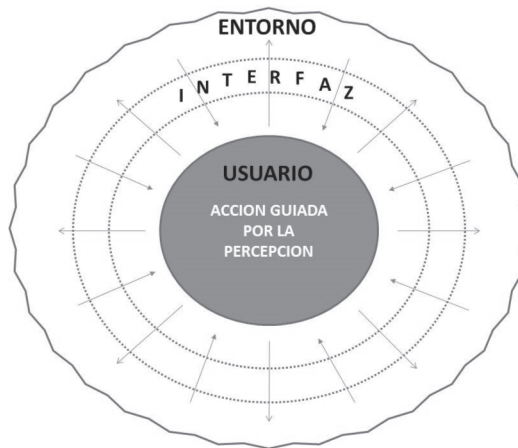


Fig. 2. Modelo de interacción enactivo, adaptado de Froese [7].

Por tanto, la propuesta enactiva aporta un nuevo modo de experimentar e interactuar con el mundo donde la tecnología en sí misma o la herramienta utilizada, no es el foco principal de esa experiencia, facilitando que la interfaz se haga transparente[7].

2.2 El Diseño de Interacciones y los Bocetos

El diseño de interacciones comprende el proceso que se organiza (dentro de las restricciones de recursos disponibles) para crear, dar forma y decidir todas las calidades de un artefacto digital orientadas al uso (estructurales, funcionales, éticas y estéticas)[24].

A menudo, los diseñadores se ayudan para realizar ese proceso con diferentes representaciones que les permitan externalizar su pensamiento. Esto incluye tanto los garabatos hechos a mano alzada sobre cualquier superficie disponible como los prototipos o maquetas detallados para analizar aspectos específicos de una propuesta. En este trabajo nos centramos en los primeros: los bocetos o dibujos realizados libremente, en particular en las primeras etapas del proceso creativo. La importancia de estos bocetos ha sido caracterizada en numerosas publicaciones. Por ejemplo, Purcell y Gero [29] han identificado los siguientes roles para el boceto durante el diseño:

- Los bocetos son muy importantes para reinterpretar y favorecer la emergencia y la naturaleza oportunista del diseño, particularmente por su carácter ambiguo y falta de estructura.
- La reinterpretación de un boceto incorpora nuevo conocimiento al proceso de diseño, ya sea conceptual o perceptual. Esa reinterpretación y el análisis del nuevo conocimiento incorporado por esta, genera más reinterpretaciones y acceso a nuevo conocimiento, estableciendo un proceso cíclico. Esta dialéctica contribuye a disminuir progresivamente la “mala definición” del problema de diseño y permite converger el proceso hacia una solución bien especificada. En esa tarea, el pensamiento del diseñador puede modelarse como una serie de “movimientos” y “argumentaciones”: un movimiento es una proposición de diseño, una argumentación es un razonamiento sobre un movimiento [19]. El bocetado juega un rol importante en ambos pasos (ver, por ejemplo, el trabajo de Goldschmidt[8] y Tversky [30]). En efecto, cuando el diseñador argumenta prestando atención a las propiedades figurativas del boceto, lo lee, luego usa el boceto para crear propiedades no figurativas o visuales en el diseño (probablemente incorporando conocimientos previos). Es decir que el boceto no es solo una externalización de ideas o imágenes contenidas en la mente del diseñador, también es un vehículo para alcanzar nuevas ideas.
- La experiencia juega un rol en el bocetado. Los expertos acceden a mayor y mejor conocimiento a través del boceto.

En la literatura del diseño de interacciones, los bocetos suelen ser presentados como una subcategoría de prototipos, generalmente como “prototipos de baja fidelidad” ([12, 23]). Sin embargo, Buxton [5] ha mostrado que las diferencias entre lo que puede considerarse una actividad de bocetado o una de prototipado tienen que ver con el propósito o intención del diseñador, más que con los atributos de la representación realizada o la manera de producirla. Un aspecto fundamental de los bocetos es que se hacen para aprender, para

comprender una situación, los límites de un espacio de diseño, las posibilidades de escenarios de uso. Ello demanda que los bocetos sean rápidos y fáciles de hacer, formen parte de series y resulten fáciles de anotar, revisar, volver a anotar, descartar, etc.

En el trabajo citado, Buxton plantea una anatomía de los bocetos centrada en tales características de los productos obtenidos (rapidez, bajo costo, ambigüedad, etc.). Lim et al. [23] extienden esa caracterización como una actividad realizada con el propósito de crear una manifestación que, en su forma más simple, filtra las cualidades en las que está interesado el diseñador sin distorsionar el entendimiento del conjunto.

Los diseñadores de productos tridimensionales no solo bocetan con lápiz y papel. Utilizan todo tipo de materiales para presentar rápidamente alguna idea, evaluarla y refinarla o descartarla (a menudo los diseñadores industriales hablan de “maquetas de estudio” para referirse a esta actividad) [5]. En consecuencia, para el diseño de interacciones “post WIMP”¹ la actividad equivalente al bocetado tradicional incluye una combinación de una manera especial de prototipado de baja fidelidad, maquetado y el bocetado en hardware [13]. Este bocetado en hardware puede resumirse como la construcción de una maqueta física y aumentarla con comportamiento interactivo, implica actividades y actitud de explorar el espacio de diseño con componentes tecnológicos en una forma abierta, casi como una especie de “bricolaje”. La clave, una vez más, es la condición de efímero o circunstancial, ya que el objetivo del trabajo no es obtener un modelo perfecto, sino facilitar el proceso de descubrimiento y aprendizaje que lleve a un proyecto que deberá evolucionar.

Al igual que los dibujos que facilitan el diálogo del diseñador con la situación de diseño, los “prototipos improvisados” (cualquier objeto a mano, empleado de manera oportunista y espontánea para ayudar a explicar o testear una idea) son “conductos para una conversación de diseño, no accesorios” [12]. Suelen tener vida corta y su propósito es facilitar la creación y análisis de ideas. Los prototipos corporizados, en cambio, ya tienen algo de la estructura final del producto y en alguna medida, resuelven la ambigüedad original.

Otro aspecto importante del modelado físico es que ayuda a activar el conocimiento espacial y kinestésico y se transforman en representaciones enactivas. Estos objetos ayudan en los procesos de diseño participativo y facilitan la comunicación con el usuario.

Sin embargo, los modelos físicos restringen el espacio de acciones de una manera más estricta que lo hace el bocetado en papel. Plantean

¹WIMP: interfaces de usuario con ventanas, íconos, menús y punteros (Window, Icon, Menu, Pointer),

restricciones específicas debido a las *affordances* físicas y también por las *affordances* percibidas. Por ejemplo, un bloque puede ser colocado solo en una conexión disponible y es necesario decidir en cuál y cómo (no se puede “sugerir” una relación como se puede hacer en el boceto en papel). Al no permitir la ambigüedad posicional, el boceto en hardware hace difícil representar diferentes alternativas en paralelo y no permite mantener en el modelo elementos “desactualizados” (un boceto puede sobrescribirse varias veces y todas esas reinterpretaciones se acumulan como capas arqueológicas del proceso de gestación). Es necesario encontrar alguna forma de transferir las propiedades de interacción indicadas en cada tipo de externalización hacia otros.

Kirsh ha mostrado la importancia de mantener el flujo de pensamiento sobre la precisión en la representación y externalización de las ideas. Aún los gestos aéreos, tan expresivos como efímeros resultan productivos a la hora de evaluar una alternativa de diseño, especialmente de manera epistémica[14].

2.3 Trabajos Relacionados

Diferentes herramientas se han desarrollado para soportar el bocetado durante el diseño de interacciones. Desde las versiones electrónicas de bocetos 2D (como Balsamiq²) a herramientas orientadas al proceso de diseño, como SILK o, más reciente, Sketchify [18, 28]. También frameworks y plataformas se han presentado para integrar el bocetado en hardware en el proceso de diseño (solo por mencionar algunos ver[9, 11, 16, 17]).

Más cercano al diseño de la forma de la interacción, se han publicado frameworks conceptuales o taxonomías que proveen algún tipo de mapa o guía de ruta para el proceso de generación de ideas en el diseño de interacciones [25]. En esta categoría puede incluirse la Anatomía de los Prototipos de Lim[23]. Esta anatomía se organiza según las dos dimensiones que caracterizan a un boceto: su aspecto de manifestación de una idea y las cualidades que intenta filtrar. Entre las dimensiones de filtrado vale mencionar la que será el centro de nuestro trabajo: la interactividad (descrita como el comportamiento entre entradas y salidas). Otras dimensiones de filtrado son la apariencia, los datos, la estructura espacial. Sobre la base de esta anatomía, Lim y sus colegas construyeron una herramienta para asistir a diseñadores que hace foco en la forma de las cualidades de la interacción, sin acoplarlas a un producto concreto: *The interactivity sketcher*[33].

Nuestro producto es más cercano a este abordaje que al mencionado en el párrafo anterior. Sin embargo, nosotros intentamos proveer herramientas para bocetar la interacción como parte del diseño de ideas

²<http://balsamiq.com>

de producto, no solo como modo de explorar la interactividad de manera aislada.

3. Metodología

En esta sección se presenta el marco de trabajo propuesto para caracterizar y organizar el bocetado de interacciones enactivas. Se incluyen un par de casos de estudio exploratorios sobre la generación de interfaces basadas en los principios de la enacción. Además es presentada una herramienta para dar soporte al bocetado de estas interacciones.

3.1 Un Marco para el Bocetado de Interacciones Enactivas

Hemos visto que la literatura cita diversas formas de representación utilizadas en el proceso creativo de interacciones y que pueden ser asociadas al concepto de bocetado. Obviamente, los dibujos y bosquejos, pero también otras formas corporizadas como las maquetas funcionales y los prototipos *ad-hoc* [12], los bocetos en hardware [26] o la simulación de la experiencia de usuario [5]. Durante el proceso de creación se produce un flujo entre esas diferentes formas de representación. Sin seguir un orden predeterminado, se grafica una idea en papel, quizá se anotan ideas sobre la interacción buscada o se extiende el boceto al formato *storyboard*, se prueban algunas maquetas “sobre la marcha” con objetos a mano o se programa rápidamente una simulación de la interacción buscada o una parte de ella, se revisa el resultado en cada una de ellas y se corrige [5].

Como en las interacciones enactivas la corporización es central, el diseñador está obligado a combinar la simulación en su mente con simulaciones en el mundo para comprender acabadamente la interacción en juego (ver el trabajo de Kirsh [14]). Esto le permite pasar del dominio de origen al de destino (en términos de [1]). Las simulaciones “en su mente” son las que se producen con ayuda de externalizaciones tradicionales como los bocetos, *storyboards*, etc., en cambio las manipulaciones de objetos 3D y aún de su propio cuerpo, le permiten descubrir y comprender aspectos de la situación que de otra manera permanecerían ocultos. Para contemplar estas necesidades el modelo debe incluir diversas representaciones y las actividades que conducen a su obtención como vistas de una idea de interacción que el diseñador pone a consideración en el proceso creativo.

El hilo conductor que permite establecer conexión entre los diferentes niveles o vistas de una misma idea es la expresión de la interactividad

que se busca conseguir (que es uno de los atributos a considerar en la dimensión de filtrado de la anatomía de prototipos[23]).

Entonces, las representaciones pueden organizarse atendiendo a dos dimensiones. La primera, se define como un continuo creciente de información respecto de la interactividad buscada, desde los bocetos en papel o cualquier otra superficie 2D hasta objetos con capacidades que corporizan la interactividad buscada. Podemos disponer tres niveles de producción de bocetos:

- Los bocetos 2D a mano alzada. Es el boceto por antonomasia, que reúne todas las características que se esperan de este tipo de productos: rapidez, economía de recursos, múltiples interpretaciones, ambigüedad.
- Las maquetas de estudio. Incorpora el conocimiento y configurabilidad del espacio, a expensas de la ambigüedad y capacidad de reinterpretación.
- El bocetado en hardware. Agrega a la maqueta de estudio o el prototipo 3D *ad-hoc* los componentes de censado y actuación que le dan capacidad de interacción con el usuario y aumentan la expresión y corporización de la interactividad que se analiza.

Cada una de estas actividades puede considerarse a su vez como una capa o nivel que agrega información al proceso de bocetado, refinando y encarna de manera creciente la interactividad buscada. Sin embargo, aunque las capas inferiores brindan mayor nivel de abstracción y ambigüedad, el diseñador puede elegir comenzar realizando una maqueta o un boceto en hardware, para luego explorar sus ideas en el papel y retornar más tarde a los bocetos tridimensionales. Es necesario por lo tanto permitirle comenzar en cualquiera de las capas y proveer mecanismos de traza que permitan relacionar la información entre los distintos niveles cuando se trate de diferentes vistas de una misma idea.

Además de esta dimensión de información, existe otra que podemos llamar de la experiencia de usuario. En este caso, si pretendemos buscar una solución “transparente” nuestro objetivo debe ser promover una UX³ en línea con esa transparencia. En algún momento la exploración de esa experiencia requerirá estudiar solo una de sus partes y en otros, el conjunto con un nivel mayor de abstracción.

De tal manera que aparece un cuarto tipo de bocetado, el bocetado de experiencias de usuario, como un elemento transversal que cruza las producciones y actividades de las otras tres actividades, tal como se muestra en la Fig. 3. Un boceto de la experiencia de usuario es cualquier clase de representación, en cualquier medio que es diseñada para entender,

³ UX: User eXperience. Acrónimo en inglés para indicar la Experiencia de Usuario que provee un producto o sistema.

explorar o comunicar cómo podría ser la utilización del producto que está en diseño de manera que pueda utilizar cualquiera de las otras representaciones con el agregado del contexto relevante para la situación de uso. La representación de cada nivel de bocetado en el gráfico, intenta mostrar las posibilidades de ubicarlo dentro del rango de la posibilidad de expresar la experiencia de usuario.

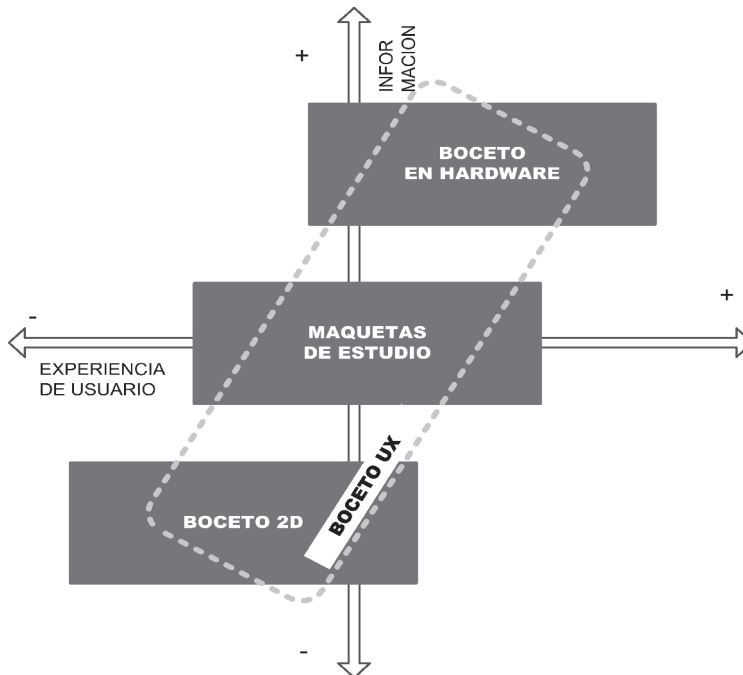


Fig. 3. Modelo para soportar bocetado de interacciones enactivas.

La interactividad buscada no puede expresarse de la misma manera en cada nivel. A medida que se asciende en la dimensión de información, la interactividad buscada adquiere cada vez mayor concreción y corporización. Así, en el bocetado 2D, puede expresarse simplemente con palabras o con una representación de secuencias temporales del tipo *storyboard*. Sin embargo, en un boceto en hardware habrá que decidir si la experiencia buscada se consigue con una respuesta que se produce de manera inmediata tras la acción del usuario o se difiere en el tiempo, si se produce de manera continua o periódica, etc.

Sin embargo, si queremos que la interactividad vincule de alguna manera esos niveles es necesario asegurar mecanismos que permitan la trazabilidad de las ideas en las diferentes representaciones propuestas. Aquí entra en juego la interactividad descrita en término de sus atributos. Lim et al.[22] definen un lenguaje que permite caracterizar la

interactividad en sí misma sin pensar en el artefacto que vamos a utilizar para llevarla a cabo. Este lenguaje está compuesto por siete elementos (conurrencia, continuidad, lo esperable, rango de movimiento, velocidad de movimiento, proximidad, velocidad de respuesta) a partir de los cuales poder describir lo que ellos llaman la “forma de la interactividad”. Esto da soporte al diseñador para que piense en la naturaleza de la interacción a la vez que explora diferentes formas de llevarla a cabo. Diefenbach et al. [6] proponen un lenguaje ampliado a partir de Lim. Contiene once atributos, definidos como rangos entre valores extremos: Lento-Rápido; Discreto-Continuo; Instantáneo-Diferido; Uniforme-Divergente; Constante-Inconstante; Mediado-Directo; Separación espacial-Proximidad espacial; Aproximado-Preciso; Suave- Intenso; Casual-Dirigido; Evidente-Oculto.

Nuestro framework propone que las herramientas destinadas a dar soporte al diseño de interacciones enactivas deberán combinar las diferentes formas de representación 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 información. Si el diseñador realiza un boceto en el que busca generar una experiencia de uso que pueda caracterizarse como agradable y natural, es necesario que pueda ir refinando esas ideas con los atributos que una interacción de esas características, en representaciones que por su naturaleza son menos ambiguas o desestructuradas. Para ello, el uso de lenguajes o vocabularios de interactividad puede ofrecer la ayuda necesaria.

3.2 Una Primera Herramienta para Bocetar Interacciones Enactivas

Como primer paso en la implementación del marco de trabajo presentado hemos comenzado el desarrollo de herramientas de soporte. Presentamos aquí la primera versión de una pequeña aplicación que permite construir y configurar rápidamente bocetos en hardware empleando gestos aéreos como *input* y con *feedback* háptico o visual como *output*.

Como se ha mencionado antes, diferentes tipos de herramientas se han desarrollado para soportar las actividades de bocetado en el diseño de interacciones. Nuestra intención es explorar las posibilidades de integrar una herramienta de bocetado con los vocabularios de interacción haciendo foco directamente en el producto que se diseña, no solamente la expresión de su interactividad.

Nuestra herramienta Pluma permite describir la interactividad de un boceto en hardware con la identificación de: componentes de entrada, componentes de salida, la relación entre ambos y los atributos de

interactividad. El objetivo de la herramienta es reducir el umbral necesario para poder especificar, implementar y probar bocetos de la interactividad esperada.

En Pluma, los gestos son especificados y reconocidos utilizando el dispositivo LeapMotion [20], mientras que una placa Arduino UNO actúa como controlador de actuadores para ejecutar el *output* o *input* especificado por el diseñador. Corre en una PC a la que se conectan el LeapMotion y Arduino por USB. Pluma es una aplicación web programada en JavaScript que incluye tres bibliotecas de componentes utilizables por el diseñador (ver esquema de arquitectura en Fig. 4):

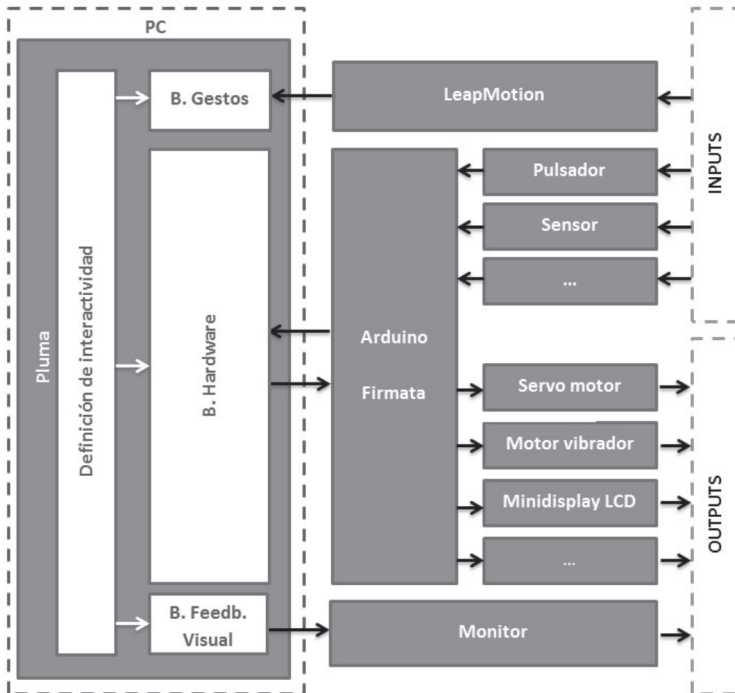


Fig. 4. Esquema general de Pluma.

- **Una biblioteca de componentes de hardware**, con los drivers para manejar cada componente vía Arduino y los parámetros de actuación o sensado que se pueden asignar durante el diseño. En principio hemos incluido la posibilidad de vincular a Arduino con motores vibradores, servomotores, pulsadores y un minidisplay LCD. La aplicación utiliza el framework Johnny-Five [27] para administrar la comunicación con Arduino mediante el protocolo

genérico Firmata. En el nivel del ejercicio, esta comunicación resulta suficiente para enviar y recibir los datos necesarios y evita la modificación del firmware a correr en Arduino, con la consiguiente necesidad de subir una nueva versión cada vez que se produzca algún cambio y mantiene bajo el umbral de acceso.

- **Una biblioteca de definiciones de gestos aéreos** para emplear como *inputs*. Utiliza el dispositivo LeapMotion para el reconocimiento de gestos manuales. La plataforma puede ser entrenada fácilmente para el reconocimiento de nuevos gestos manuales utilizando la API JavaScript de LeapMotion y LeapTrainer.js[21].
- **Una biblioteca de componentes de *feedback* visual** a proveer mediante el monitor de la PC y que el diseñador puede extender. Por defecto hemos incorporado algunos componentes como la simulación de un carrusel de *slides*, el cambio de pantalla, apagado, encendido.
- La **definición de la interactividad** buscada con el boceto de hardware es el corazón del uso de Pluma. Para plantearla, el diseñador vincula los diferentes elementos de *input* definidos con uno o más *outputs*. Esta definición se da en dos pasos: primero, se indica qué *inputs* y *outputs* se desea vincular, luego se especifica qué valores tendrán los atributos de interactividad disponibles para esa relación. Como ya comentamos, en esta primera versión de Pluma hemos incorporado parte del vocabulario de interacción propuesto por Diefenbach [6]. De los once rangos de atributos, hemos incluido en las primeras exploraciones: instantáneo-diferido, suave-intenso, discreto-continuo.
- Finalmente, el diseñador puede analizar el comportamiento interactivo de su boceto con un *sandbox* de prueba. Cuando el diseñador prueba el boceto que ha creado, se procesan los *inputs* y *outputs* de acuerdo con las características definidas para cada uno y las propiedades de interactividad que les asoció. En poco tiempo el diseñador puede interactuar con sus bocetos y evaluar el tipo de experiencia que proveen.

3.3. Casos de Estudio

Para explorar el bocetado de interacciones enactivas y poner a prueba el marco de trabajo propuesto se desarrollaron dos casos de estudio con diseñadores de interacción. En el primero, los diseñadores desarrollaron sus tareas de manera libre, sin indicarles qué tipo de prototipado debían generar. En el segundo, pusimos a prueba nuestra herramienta Pluma.

3.3.1. Caso de Estudio 1

La sustitución o aumento sensorial es una estrategia por la cual un dispositivo ofrece al usuario la información por la vía de un sentido diferente del que es habitualmente recibida, por ejemplo convierte información visual en una respuesta háptica. Este mecanismo es una de las formas de abordaje

enactivo para el diseño de interacciones, con varios reportes en la literatura a partir de los trabajos pioneros de Bach-y-Rita [2, 7].

Planteamos a un grupo de diseñadores que desarrollaran ideas basadas en la sustitución sensorial para proveer un dispositivo con *feedback* háptico para situaciones en las que la visión no pudiera ser una vía adecuada de ingreso de información. Sea porque el usuario posee alguna disminución en sus capacidades o porque las condiciones del contexto lo requieren. Como ejemplo motivador les presentamos el caso de la Linterna enactiva, desarrollada por Froese [7] (que traduce la distancia medida entre el dispositivo y un obstáculo en *feedback* háptico). No se indicó ninguna forma específica de representación tanto durante la generación de ideas como para presentar las propuestas finales.

El ejercicio fue conducido durante un curso de Programación de Entornos Interactivos en el contexto de una Maestría en Tecnologías de Artes Electrónicas. Un total de 9 estudiantes con diferentes formaciones previas y nacionalidades participaron del caso: 3 artistas, 1 diseñador industrial, 2 profesores de artes plásticas y 3 programadores provenientes de Argentina (4), Colombia (2), México (2) e Italia (1). El grupo estaba integrado por 5 varones y 4 mujeres, con una edad promedio de 28 años. Todos cuentan con experiencia previa en sus respectivos campos de trabajo.

Durante las clases previas se impartieron conocimientos avanzados de programación con *Processing*⁴ y *Arduino*⁵. Además se hizo la lectura y análisis de trabajos publicados sobre sustitución sensorial y enacción⁴.

Durante tres clases de 4 horas, desarrollaron en tres grupos ideas de dispositivos con la consigna indicada. Un grupo desarrolló una versión de la linterna enactiva adaptada en un formato de títere. Otro, trabajó con una versión de un “atrapa sueños”⁷ y el tercer grupo desarrolló un *mouse* háptico basado en *Brayda* [3]. Todo el proceso fue registrado en audio y video para poder realizar un análisis posterior. Finalizado el ejercicio, se llevaron a cabo entrevistas no estructuradas con los diseñadores.

El títere, que llamaron “Abuelino” (ver Fig. 5) es una adaptación lúdica de la Linterna Enactiva de Froese. La idea fue generar un títere que sirviera de guía

⁴ <http://processing.org>

⁵ <http://arduino.cc>

⁶ Ver <http://sites.google.com/site/maeentornosinteractivos2/> para mayor información

⁷ Un atrapa sueños es un adminículo hecho a mano, cuya base es un aro con una red floja en su interior y decorado con diversos objetos (comúnmente plumas). Según la creencia popular, su función consiste en filtrar los sueños de las personas, dejando pasar sólo los sueños y visiones positivas; los sueños que no recuerdas son los que bajan lentamente por las plumas. Las pesadillas se quedan atrapadas en la cuenta (piedra) y a la mañana siguiente se queman con la luz del día para que no se cumplan (de Wikipedia)

para el desplazamiento de niños con dificultades visuales. Utiliza sensores de ultrasonido en lugar de infrarrojos para detectar la distancia entre el dispositivo y un obstáculo. Un pequeño motor vibrador entrega un *feedback* háptico sobre la muñeca del usuario, con una intensidad inversamente proporcional a la distancia medida. Sus diseñadores trabajaron directamente con la realización de modelos físicos, avanzando en forma paralela en el desarrollo del títere y de la electrónica asociada. La primera decisión fue utilizar sensores de ultrasonido y su aspecto visual generó la idea que fueran los ojos del títere. Entonces construyeron rápidamente diferentes modelos cosiendo retazos de telas y probándolos entre ellos. En forma paralela, trabajaron sobre la electrónica. Primero realizaron unos modelos simples sobre tarjetas de prototipado (“*proto-board*”) y programaron sobre Arduino con un proceso iterativo de prueba y error. Cuando estuvieron conformes con las respuestas brindadas por el motor a los datos entregados por el sensor de ultrasonido, pasaron a una etapa de refinamiento del boceto para combinarlo con el vestido del títere. El ajuste de la interactividad (que básicamente consiste en la curva de respuesta del motor a la distancia medida) fue realizado directamente sobre el programa de Arduino con sucesivos cambios de código, compilación y descarga a la tarjeta. Sin embargo, cuando comenzaron a combinar la electrónica con el vestido del títere, concluyeron que necesitaban probar la interactividad en términos de *feedback* háptico con modelos que combinaran todas las partes del modelo. Para poder validar los atributos de las curvas de respuesta que habían analizado “en abstracto” solo con la electrónica, necesitaban incluir el motor para experimentar las diferencias de colocarlo en una muñequera, sobre la palma o el dorso de la mano, etc. Este grupo casi no utilizó bocetos en papel, todos sus modelos intermedios fueron directamente 3D y soportados.



Fig. 5. Algunos pasos en el bocetado de Abuelino: boceto del títere, simulación de funcionamiento, pruebas de interactividad con usuarios y boceto final.

Los integrantes del segundo grupo trabajaron sobre la idea de un “atrapa sueños” (lo llamaron “Atrapa pesadillas”). Su idea fue disponer de un dispositivo que detecte la presencia de algo acercándose por la espalda y brinde un *feedback* visual y háptico en el colgante frontal (ver Fig. 6). Este grupo comenzó con unos bocetos en papel donde representaron en estilo *storyboard* el tipo de experiencia de usuario que buscaban con anotaciones textuales. Rápidamente pasaron a la construcción de modelos físicos con el agregado de interactividad mediante el uso de *leds*, un motor vibrador y un sensor infrarrojo pasivo (PIR). Para el control del sensor y la respuesta lumínica y háptica utilizaron la versión Lilypad de Arduino⁸, que se adapta mejor al diseño general del atrapa sueños. Todas las pruebas y modificaciones de la interactividad que buscaban las realizaron directamente con bocetos interactivos que disponían sobre algún miembro del grupo como usuario. También utilizaron el ciclo iterativo de prueba y error para modificar la interactividad entregada por la relación entre *inputs* y *outputs*. Se quejaron de que esto los obligaba a abandonar el flujo de pensamiento y focalizarse en los programas de Arduino.



Fig. 6. Atrapa pesadillas. Maqueta inicial, bocetos en papel, pruebas funcionales, boceto final.

Finalmente, el tercer grupo planteó un *mouse* háptico sobre la base de las ideas presentadas por Brayda [3]. La idea es que el *mouse* permita a un usuario con dificultades visuales reconocer la “textura” de una imagen mostrada en pantalla mediante su recorrida con el cursor. El *mouse* ofrece diferente *feedback* háptico y auditivo cuando el cursor atraviesa diferentes zonas de textura. Su idea inicial fue permitir a un usuario sin

⁸ <http://arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/ArduinoBoardLilyPad>

posibilidades de visión recorrer con el *mouse* una imagen pictórica. Tomaron como base un *mouse* tradicional y a modo de bricolaje bocetaron sobre él las modificaciones que necesitaban. De forma paralela trabajaron sobre unos programas con Processing para mostrar en pantalla las imágenes a recorrer y simular el comportamiento del *mouse* modificado. Realizaron algunas pruebas colocando la placa Arduino adosada al *mouse*, pero la experiencia obtenida distaba demasiado del uso habitual del dispositivo. Por ello optaron por generar un complemento de conexión intermedia entre el *mouse* y la computadora, donde colocaron la placa controladora y el resto del hardware necesario (ver Fig. 7). La etapa más extensa de este grupo consistió en el ajuste de la experiencia buscada mediante reiteradas pruebas con usuarios (utilizaron a los miembros de los otros grupos) con cada uno de los bocetos intermedios que generaron. Al igual que los otros dos grupos, casi no trabajaron con bocetos en papel. Con una aproximación de tipo bricolaje, fueron construyendo su idea como una corporización de la interactividad que estaban buscando.

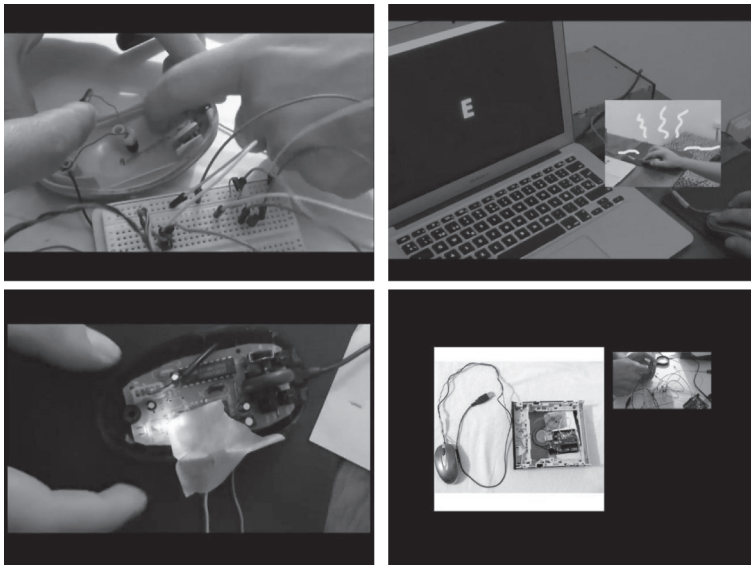


Fig. 7. *Mouse* táctil: primeros bocetos interactivos, pruebas funcionales con usuario y boceto final.

3.3.1.1 Lecciones Aprendidas

Las dos principales lecciones que se desprendieron de este caso fueron que, sin solicitarlo explícitamente, todos los grupos trabajaron directamente la interactividad (por sobre las otras dimensiones de filtrado señaladas por la anatomía de los bocetos: apariencia, datos, funcionalidad o estructura espacial) y que prefirieron generar sus ideas

sobre la construcción iterativa de bocetos físicos interactivos, más que un proceso creciente de información desde el papel al modelo 3D.

Colocar el foco en la propia interacción implica una postura de exploración y descubrimiento y creación mediante la interacción, porque es la propia interacción la que genera el significado y ayuda a consolidar la idea del dispositivo. De alguna forma el producto surge como una encarnación o corporización de la interactividad que se busca. Los diseñadores se abocaron a crear y evolucionar sus ideas con bocetos interactivos construidos rápidamente (unas pocas horas como máximo). Estos bocetos les permitieron testear sus ideas sobre la experiencia de usuario buscada con un adecuado balance entre velocidad en la prueba y calidad del resultado. En todos los casos realizaron una primera exploración tridimensional del escenario posible.

La aproximación empleada fue del estilo “bricolaje” o “*tinkering*”. Sólo utilizaron bocetos en papel para representar los componentes a emplear en el boceto interactivo.

La posibilidad de cambiar rápidamente los programas que controlaban la captura de información mediante sensores y la respuesta de los actuadores facilitó que la interactividad estuviera en el centro del proceso de diseño. Sin embargo, tanto la carencia de alguna herramienta específicamente dirigida a soportar este ciclo como la falta de alguna forma compartida de definir la interactividad que se buscaba obligaron a numerosos ciclos de ajuste de esos programas. 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 foco sobre las ideas de la interacción buscada.

3.3.2. Caso de Estudio 2

El segundo caso de exploración consistió en un proceso de diseño para TV interactiva, con la búsqueda de ideas para un control remoto que incluya comunicación gestual y *feedback* háptico de parte del dispositivo durante la exploración de la guía de programas.

La actividad se llevó a cabo en el marco de las tareas de un grupo de trabajo que desarrolla ideas de software para el sistema argentino de TV Digital terrestre bajo la norma ISDBTb.

Se organizó un taller de un día en el que se pidió a 5 diseñadores (4 varones y 1 mujer, edad promedio 29 años, 2 diseñadores gráficos, un ingeniero electrónico, un diseñador multimedial y un diseñador industrial) que generaran en forma individual ideas para un control remoto que facilitara una UX en la que el usuario final toma el control remoto para recorrer la grilla de canales y se desplaza por ella con las

teclas de flecha izquierda-derecha o simplemente haciendo gestos de movimiento del control hacia derecha o izquierda. En la medida que el sistema sintoniza el siguiente canal, el control produce una vibración para indicar al usuario que ha cambiado de canal. Al llegar a los extremos de la grilla, la vibración se acentúa para generar en el usuario la sensación de que está alcanzando un tope.

Al igual que el caso anterior, la recolección de datos para su análisis posterior se hizo mediante audio y video desde un punto fijo, además de todo el material producido (gráficos, maquetas, software, etc.).

Para explorar sus ideas, los diseñadores realizaron rápidos bocetos en papel e incluyeron anotaciones textuales e iconográficas para expresar las respuestas por parte del mando que contribuyeran a generar la experiencia de uso buscada. Otro paso en el proceso de diseño consistió en la rápida generación de maquetas con objetos *ad-hoc* (simples cajas de cartón de proporciones adecuadas, con algunas anotaciones e ilustraciones realizadas a mano sobre su superficie). Tras algunas modificaciones en los bocetos, los diseñadores conectaron un par de botones pulsadores y de motores vibradores con una placa Arduino y los adherieron a una de las maquetas (ver Fig. 8)

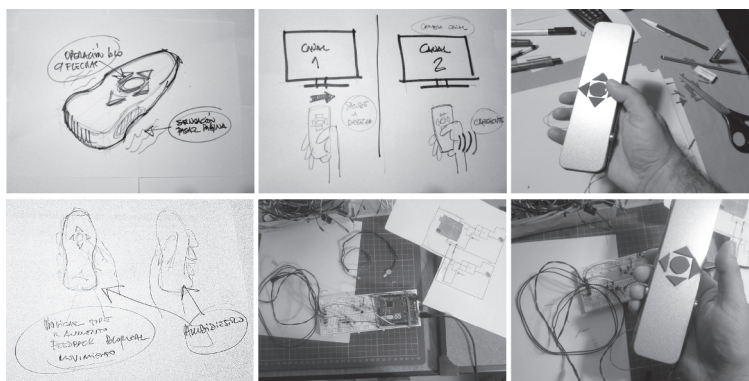


Fig. 8. Ejemplos de las anotaciones realizadas en bocetos en papel y maqueta de estudio aumentada con bocetado en hardware.

Luego utilizaron un carrusel de imágenes como *feedback* visual para simular el cambio de canal. Utilizando la herramienta Pluma conectaron todo para explorar la experiencia de interacción. Mediante la ejemplificación crearon dos gestos aéreos a identificar: mover a derecha y mover a izquierda. Los motores conectados a Arduino fueron identificados como actuadores para generar el *output* del sistema y los pulsadores como *input*. Finalmente se establecieron las relaciones de pares: un pulsador- una acción de la aplicación de pantalla, un gesto-una acción de la aplicación, una acción de aplicación - un actuador (ver Fig.

9). Para cada relación se establecieron los parámetros de la interactividad deseada (en la versión actual: discreto-continuo, suave-intenso e instantáneo-diferido).

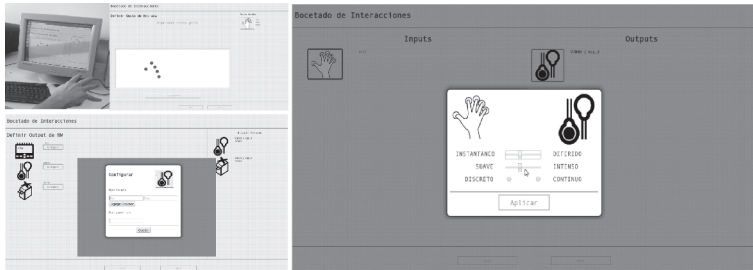


Fig. 9. Definición de interactividad con Pluma. Definición de gestos como *input* (a la izquierda ejecución del gesto sobre Leap Motion, derecha reconocimiento y definición por Pluma). Agregado y configuración de un motor vibrador como *output*. Relación entre *input* y *output* y asignación de parámetros de interactividad.

3.3.2.1 Lecciones aprendidas

De manera similar al primer caso de estudio, todos los diseñadores se enfocaron directamente en la interactividad que buscaban. Para comprender plenamente la UX que se podía obtener combinaron las simulaciones mentales apoyadas en bocetos 2D y *storyboards* con numerosas gesticulaciones utilizando tanto las maquetas de cartón como el bocetado en hardware elaborado con Pluma.

En unas horas, incluyendo el tiempo de exploración y búsquedas por internet para hallar circuitos apropiados cuando fue necesario, pudieron explorar y construir varios bocetos con hardware para explorar las interacciones imaginadas.

En entrevistas posteriores al caso, los diseñadores se manifestaron satisfechos sobre el uso de Pluma, tanto respecto del umbral de acceso que la plataforma les impone para bocetar como de las posibilidades de definición de elementos de la interacción y solicitaron ampliar el vocabulario de interactividad disponible.

4. Resultados

El análisis de los datos y las evaluaciones posteriores realizadas con los diseñadores en las entrevistas nos han permitido encontrar algunos resultados relevantes, tales como el uso de bocetos como representaciones “actuadas”, la interactividad como dimensión privilegiada del filtrado en cada una de los bocetos (tanto 2D como físicos e interactivos), la toma oportunista de decisiones, el abordaje del

estilo “bricolaje” y la necesidad de mantener el proceso de creación de los bocetos alineado con el flujo cognitivo de los diseñadores. A continuación presentamos un listado de los resultados relevantes:

- El uso de bocetos como representaciones enactivas. Todos los grupos mostraron que para los diseñadores el desafío de la concepción y creación de nuevas interfaces físicas y tangibles, con las que se pueda interactuar mediante gestos, movimientos corporales, manipulaciones, etc., demanda la generación de una gran cantidad de externalizaciones y representaciones que requieren complementar la imaginación o generación de ideas que puede ser soportada por el papel con la acción sobre el mundo real, usando el cuerpo y modelos físicos tridimensionales (“diseñar haciendo”[15]). El diseño de interacciones que busquen la sustitución o aumento sensorial adquiere una complejidad que no es posible imaginar solo con el apoyo de representaciones visuales estáticas del tipo bocetos a mano alzada. 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).
- La interactividad como la dimensión preferida del filtrado de los bocetos. Todos los diseñadores trabajaron directamente sobre la forma de la interacción (la interactividad buscada). Dejaron para las etapas finales las pruebas sobre otras dimensiones de filtrado, como la apariencia, la funcionalidad o la estructura espacial. 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.
- La expresión de los atributos de interacción en cada tipo de boceto. Los diseñadores registraron los atributos deseados de interacción en cada modelo que construyeron. Sobre los bocetos 2D o los *storyboards* lo hicieron con anotaciones textuales o un lenguaje de símbolos sólo comprendido por sus autores. 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 de software).
- La toma oportuna de decisiones. Es frecuente la toma de decisiones de diseño basadas en descubrimientos inesperados o aspectos emergentes de un boceto. Por ejemplo, el grupo que realizó “Abuelino” comenzó trabajando con sensores infrarrojos de distancia, pero prefirió utilizar los de ultrasonido cuando descubrieron que podían convertirse en los ojos del títere por su aspecto visual.

- Abordaje con un estilo “hágalo usted mismo”. Todos los grupos emplearon un estilo de bricolaje o hágalo usted mismo 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.
- La necesidad de acelerar la construcción de bocetos interactivos. El ajuste de los atributos de interactividad buscada en el caso 1 fue realizado con un proceso iterativo de re codificación, compilado y suba del programa a Arduino, lo que claramente interrumpía el flujo cognitivo del diseñador. Con el uso de Pluma ese aspecto del proceso fue mucho más simple, dando una primera validación a la inclusión de este lenguaje como base de la herramienta.

5. Conclusiones y Trabajo Futuro

En este trabajo hemos presentado un marco de trabajo para integrar diferentes formas de bocetado en el diseño de interacciones enactivas. La idea central de este marco de trabajo es la inclusión de diferentes niveles de bocetado vinculados mediante los atributos de la interactividad que se busca obtener en el diseño final. Hemos visto que los desafíos de las nuevas interacciones corporizadas y embebidas en todo tipo de dispositivos generan la necesidad de herramientas que excedan al bocetado en 2D, generalmente realizado en papel, que es habitual en la práctica del diseño de interacciones. Presentamos dos casos de estudio exploratorios y una pequeña herramienta para explorar la necesidad y conveniencia de incluir los bocetos en hardware con otras representaciones del proceso de generación de ideas. En la sección anterior hemos visto algunos de los resultados más relevantes que muestran el uso de bocetado en los tres niveles del marco, especialmente la adopción de un bocetado enactivo en sí mismo, la focalización en la interactividad como dimensión privilegiada y la necesidad de herramientas de soporte que favorezcan este proceso.

A partir de los resultados encontrados, creemos que se desprenden algunos requerimientos para las herramientas que den soporte al diseño de interacciones con enfoque enactivo:

- Soportar de manera flexible el bocetado de la interacción, en el sentido de no imponer al diseñador un proceso predeterminado de generación del boceto.
- Facilitar la producción de bocetos en los tres niveles. Bocetos 2D como analogía de los gráficos realizados en papel por diseñadores de interacción (trazo libre, falta de estructura y ambigüedad), pero también permitir la realización de bocetos-maqueta y bocetos en hardware.

- Las tres formas del boceto deben ser fácilmente integrables y vinculables por parte del diseñador. De alguna manera podrían ser consideradas diferentes “vistas” de una idea en concepción de modo que una anotación en alguna de ellas debería reflejarse en las otras.
- Administrar el diseño de la interactividad mediante el uso de algún vocabulario de la interacción y su aplicación en el proceso de diseño.
- Mantener el umbral de acceso a la tecnología usada en la producción de bocetos, lo más bajo posible y orientado a diseñadores de interacción y no solo a ingenieros o programadores.

Como trabajo futuro serán necesarias al menos tres acciones. En primer lugar, refinar la caracterización del bocetado interactivo para un enfoque enactivo y ajustar el marco de trabajo en consecuencia. Luego, extender la implementación de Pluma para completar el conjunto de herramientas que incluya todos los niveles de bocetado con la expresión de la interactividad buscada. Finalmente, ampliar el alcance de las herramientas a otros aspectos del ciclo de generación inicial de ideas con la posibilidad de soportar la anotación que los diseñadores utilizan para capturar los cambios que se proponen y poder repasar el racional por el cual se arribó a una solución dada.

Agradecimientos

Este trabajo está parcialmente soportado por el proyecto InsPIre (TIN2012-34003) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno Español y los fondos FEDER y por el proyecto PICT-PAE 2187 financiado por la Agencia de Promoción Científica y Tecnológica del Gobierno Argentino. Agradecemos a los estudiantes del curso Programación de Entornos Interactivos de la Maestría en Artes Electrónicas de Universidad Tres de Febrero por su participación en el Caso de Estudio 1.

Referencias

- [1] Arvola, M. and Artman, H. 2007. Enactments in Interaction Design: How Designers Make Sketches Behave. *Artifact*. 1, 2 (2007), 106–119.
- [2] Bach-y-Rita, P. and Kercel, S.W. 2003. Sensory substitution and the human-machine interface. *Trends in Cognitive Sciences*. 7, 12 (2003).
- [3] Brayda, L. et al. 2013. What you touch is what you get: Self-assessing a minimalist tactile sensory substitution device. *IEEE World Haptics Conference 2013*. (Apr. 2013), 491–496.

- [4] Bruner, J.S. 1969. *Hacia una teoría de la instrucción*. UTEHA.
- [5] Buxton, B. 2007. *Sketching user experiences: getting the design right and the right design*. Morgan Kaufmann.
- [6] Diefenbach, S. et al. 2013. *An Interaction Vocabulary . Describing The How Of Interaction*. CHI 2013 (Paris, Apr. 2013), 607.
- [7] Froese, T. et al. 2012. *The Enactive Torch: A New Tool for the Science of Perception*. IEEE Transactions on Haptics. 5, 4(2012), 365–375.
- [8] Goldschmidt, G. 1991. *The dialectics of sketching*. Creativity Research Journal. 4, 2 (1991), 123–143.
- [9] Hartmann, B. et al. 2006. *Reflective physical prototyping through integrated design, test, and analysis*. Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology (New York, NY, USA, 2006), 299–308.
- [10] Heidegger, M. 2008. *Being and time*. Harper Perennial Modern Classics.
- [11] Holman, D. et al. 2014. *Sensing Touch Using Resistive Graphs*. DIS 2014 (New York, NY, USA, NY, USA, 2014), 195–198.
- [12] Hornecker, E. 2007. *Sketches, Drawings, Diagrams, Physical Models, Prototypes, and Gesture as Representational Forms*. Physicality 2007 (2007).
- [13] Hummels, C. et al. 2006. *Move to get moved: a search for methods, tools and knowledge to design for expressive and rich movement-based interaction*. Personal and Ubiquitous Computing. 11, 8 (Nov. 2006), 677–690.
- [14] Kirsh, D. 2013. *Embodied cognition and the magical future of interaction design*. ACM TOCHI. 20, 1 (2013), 3:1–3:30.
- [15] Klemmer, S.R. et al. 2006. *How bodies matter*. Proceedings of the 6th ACM conference on Designing Interactive systems DIS 06 (2006), 140.
- [16] Klemmer, S.R. et al. 2008. *Integrating Physical and Digital Interactions on Walls for Fluid Design Collaboration*. Human-Computer Interaction. 23, 2 (Apr. 2008), 138–213.

- [17] Kwon, D.Y. 2008. A Design Framework for 3D Spatial Gesture Interfaces. ETH Zurich.
- [18] Landay, J.A. 1996. SILK: sketching interfaces like crazy. Conference Companion on Human Factors in Computing Systems (New York, NY, USA, 1996), 398–399.
- [19] Lawson, B. 2006. How designers think: the design process demystified. Elsevier.
- [20] Leap Motion: <http://www.leapmotion.com>.
- [21] LeapTrainer.js: <http://github.com/roboleary/LeapTrainer.js>.
- [22] Lim, Y. et al. 2009. Interactivity attributes. CHI 2009 (New York, New York, USA, Apr. 2009), 105.
- [23] Lim, Y.-K. et al. 2008. The anatomy of prototypes: prototypes as filters, prototypes as manifestations of design ideas. ACM TOCHI. 15, 2 (Jul. 2008), 1–27.
- [24] Löwgren, J. and Stolterman, E. 2004. Thoughtful Interaction Design: A Design Perspective on Information Technology. MIT Press.
- [25] Mazalek, A. et al. 2009. Framing tangible interaction frameworks. Artif. Intell. Eng. Des. Anal. Manuf. 23, 3 (Jun. 2009), 225–235.
- [26] Moussette, C. and Dore, F. 2010. Sketching in Hardware and Building Interaction Design : tools , toolkits and an attitude for Interaction Designers. Proceedings of Design Research Society (Montreal, Canada, 2010).
- [27] Node-isassemble Johnny-Five: <https://github.com/rwaldron/johnny-five>.
- [28] Obrenovic, Ž. and Martens, J.-B. 2011. Sketching interactive systems with sketchify. ACM TOCHI. 18, 1 (Apr. 2011), 1–38.
- [29] Purcell, A.T. and Gero, J.S. 1998. Drawings and the design process. Design Studies. 19, 4 (1998), 389–430.
- [30] Tversky, B. and Suwa, M. 2009. Thinking with Sketches. Tools for innovation. O. Markman, ed. Oxford University Press.

- [31] Verplank, B. 2013. Closing Keynote: Tangible Interaction Metaphors, Haptics and Celebration. TEI 2013 (Barcelona, 2013), 94305.
- [32] Wilson, M. 2002. Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*. 9, 4 (2002), 625–636.
- [33] Woo, J. et al. 2011. Interactivity sketcher. CHI 2011 (New York, New York, USA, May 2011), 1429.