

Análisis de experiencias con objetos activos en actividades educativas basadas en interacción tangible

Analyzing experiences with active objects in educational activities with tangible interaction

Mainor Cruz Alvarado

Universidad Nacional de La Plata
La Plata, Argentina
mainorcruz@gmail.com

Cecilia Sanz

Universidad Nacional de La Plata
La Plata, Argentina
csanz@lidi.info.unlp.edu.ar

Sandra Baldassarri

Universidad de Zaragoza
Zaragoza, España
sandra@unizar.es

Recibido: 07.10.2019 | Aceptado: 15.12.2019

Palabras Clave

Objetos activos
Interacción tangible
Interfaces de usuario tangible
Actividades educativas
Feedback

Resumen

Este artículo presenta un análisis de casos donde se utilizan objetos activos en actividades educativas. El objetivo principal de este trabajo se centra en identificar y analizar: a. las posibilidades de los objetos activos en las actividades educativas basada en interacción tangible y b. aspectos relacionados con el diseño de este tipo de actividades. Como parte del análisis se define una serie de criterios, entre los que destacan el tipo de *feedback*, la actividad educativa según sea expresiva o exploratoria, el tipo de enlace entre objetos físicos e información digital y las evaluaciones aplicadas. A partir del análisis se vislumbran resultados que permiten valorar la pertinencia del *feedback* orientado a la autorregulación en actividades del tipo expresivas, además, la vinculación entre el desarrollo de actividades expresivas y el uso de sistemas relacionales y/o constructivos. Se observa que el uso de objetos activos posibilita nuevas experiencias de aprendizaje, aprovechando el *feedback* visual, auditivo y háptico y anima a los estudiantes a participar de las actividades. Finalmente, se presenta una serie de directrices que se orientan a guiar el diseño de actividades educativas basadas en Interacción Tangible con objetos activos. Estas directrices surgen del estudio realizado y abren una puerta para quienes se interesen en el uso de este tipo de objetos.

Keywords

Active objects
Tangible interaction
Tangible User Interfaces
Educational activities
Feedback

Abstract

This paper presents an analysis of practical experiences that use active objects in educational tangible activities. The main objective of this work is to identify and analyze: a. the possibilities of active objects in educational activities based on tangible interaction and b. aspects related to the design of this type of activities. The analysis includes the definition of criteria like the type of feedback, if the educational activity is expressive or exploratory, the type of link between the physical objects and the digital information, and the kind of evaluation carried out. From the analysis, the results allow to assess the relevance of feedback oriented to self-regulation in expressive activities, and the relationship between the development of expressive activities and the use of relational and/or constructive systems. It is observed that the use of interactive objects enables new learning experiences, taking advantage of the visual, auditory and haptic feedback, and encourages students to participate in the activities. Finally, a set of guidelines for the design of educational activities based on tangible interaction with active objects are presented. These guidelines arise from the study carried out and open a door for those interested in the use of this kind of active objects.

1. Introducción

En los últimos años se ha observado un crecimiento en el desarrollo de aplicaciones con Interfaces de Usuario Tangible

(TUIs) con la finalidad de generar una interacción más natural con el entorno físico de los usuarios (Ishii & Ullmer, 2003). Las TUIs permiten acoplar información digital a los objetos físicos, cuya manipulación es una de las características en el diseño y

desarrollo de TUIs. Ullmer & Ishii (1997) identifican a los objetos tangibles como entidades físicas y reales que se pueden tocar y funcionan como puente de interacción con aplicaciones digitales. Los objetos tangibles se pueden clasificar en objetos pasivos y activos. Los objetos pasivos son aquellos objetos que actúan como dispositivos de entrada, pueden ser manipulados por los usuarios y detectados por un sistema, pero no son capaces de realizar ninguna acción por sí mismos (Frías, Marco, Serón, & Latorre, 2010). Por su parte, East *et al.* (2016) definen a los objetos activos como dispositivos físicos que proveen *feedback* que se pueden usar de manera independiente o en conjunto con otro hardware o software para aumentar de forma tangible la interacción, ya sea con pantallas integradas, sensores o capacidades de actuación. Usualmente, los objetos activos contienen actuadores y sistemas de control que puede conceder al objeto diferentes acciones, por ejemplo, un desplazamiento encima de una *tabletop* (superficie horizontal interactiva, aumentada computacionalmente) (Marshall, Carter, Alexander, & Subramanian, 2012).

En este trabajo se pone el foco en las potencialidades del uso de objetos activos en el marco de actividades educativas en sistemas con interfaces tangibles. Para ello, se revisan 10 casos en los que se utilizan objetos activos, que no sólo representan el control de las aplicaciones con TUIs, sino que también posibilitan el *feedback* en el marco de estas actividades.

El artículo se organiza de la siguiente manera. En la sección 2 se expone el estado del arte en este tema. La sección 3 presenta los criterios con los que se analizan los casos de actividades educativas basadas en interacción tangible con objetos activos. En la sección 4, se analizan una serie de casos seleccionados a partir de dichos criterios. En las secciones 5 y 6 se presentan los principales resultados alcanzados, mientras que en la sección 7, se describen las directrices de diseño relacionadas con los objetos activos, que se desprenden del análisis previo. Finalmente, en la sección 8 se presentan las conclusiones.

2. Estado del arte

La Interacción Tangible (IT) constituye un tema de investigación actual, que se orienta a ampliar las posibilidades de área de Interacción Persona-Ordenador (IPO) con el fin de lograr interacciones más naturales e intuitivas entre los sistemas informáticos y los humanos. Ishii (2008) sugiere que las TUIs son un nuevo camino en el marco de IPO, en donde se busca alcanzar que la computación sea realmente ubicua e invisible al integrar la tecnología digital en el entorno físico. En este sentido, los autores Vaz, Fernandes, & Rocha (2016) indican que existen 3 conceptos claves: (i) acoplamiento de bits y átomos en donde se asocian datos digitales a los objetos

tangibles, (ii) superficies interactivas (mesas, paredes, etc.) que son adaptadas para la sinergia entre ambos mundos y, (iii) el medio ambiente, que incluye los elementos que permiten influir en la percepción del ser humano, a través de cambios en la luz, sonido y el movimiento del aire. La idea principal se basa en la integración de objetos físicos con elementos computacionales como una forma de aumentar la capacidad de expresión de estos sistemas. Dentro de este contexto, los objetos físicos tangibles constituyen entidades físicas y reales que pueden ser manipuladas, forman parte de un proceso de interacción entre personas y ordenadores, y se las considera así un medio de representación y control de información digital.

A continuación, se hace un breve repaso de la implicación de objetos tangibles en actividades educativas. En primer lugar, se analizan algunos fundamentos de las actividades educativas con tangibles, y posteriormente se presenta el uso de objetos activos en el marco de dichas actividades.

Varios autores destacan el potencial de las interfaces tangibles en los procesos educativos, considerándola una herramienta para la enseñanza de conceptos abstractos (Valdes *et al.*, 2014; Zuckerman, Arida, & Resnick, 2005), estudiando sus posibilidades para el trabajo colaborativo (Hwang, Shadiey, Tseng, & Huang, 2015), la creatividad (Follmer & Ishii, 2012) o el desarrollo de habilidades sociales (Marco, Cerezo, & Baldassarri, 2012). El desarrollo de interfaces naturales como las tangibles, pretende ampliar las aplicaciones didácticas para mejorar los procesos de relación e interacción entre las personas y los ordenadores (Marco, Cerezo, & Baldassarri, 2010a). Así se encuentran en la literatura investigaciones en las que se presentan las posibilidades de actividades educativas basadas en IT, y a continuación se ejemplifican algunas.

FractionAR es un juego educativo tangible que permite ejercitar el concepto de fracciones a través de una dinámica competitiva (Sanz, Nordio, & Artola, 2018). El juego contiene objetos físicos (en este caso, juguetes) que representan porciones de pizza o chocolate para interactuar con la aplicación informática sobre una *tabletop*. La dinámica convoca a los participantes a relacionar diferentes formas de representar las fracciones (con porciones físicas y con notación matemática de fracciones). CRISPEE también es una aplicación educativa basada en IT, diseñada para involucrar a niños en conceptos de bioingeniería (Verish, Strawhacker, Bers, & Shaer, 2018). Cada participante asume el papel de un bioingeniero para crear un programa genético, donde se codifica luz bioluminiscente de una luciérnaga a través de representaciones tangibles de BiozBricks.

Por otra parte, los autores cuentan con antecedentes en este tipo de experiencias educativas en las que se integran aplicaciones basadas en IT. Entre estos antecedentes, se mencionan: *Space ship toys* (Marco, Cerezo, & Baldassarri, 2010b), *ACoTI* (Sanz et al., 2013), *ITCOL* (Artola, Sanz, Pesado, & Baldassarri, 2016) y *El Conquistador* (Sanz, Cruz, Nordio, Artola, & Baldassarri, 2019).

Estos ejemplos, constituyen algunas de las tantas experiencias que se están desarrollando, como consecuencia de la investigación actual en el uso de IT en Educación (Sanz et al., 2012). En este trabajo se pone el foco específicamente en el uso de objetos activos en el marco de experiencias educativas con IT. Los objetos activos tienen la capacidad de brindar *feedback* en tiempo real, haciendo referencia a la capacidad de influir en la interacción, cambiar las posiciones u orientación del objeto o brindar un *feedback* multimodal, a través de manifestaciones hápticas, auditivas o visuales (Riedenklaus, Hermann, & Ritter, 2010). Esta posibilidad puede ayudar en el desarrollo de actividades sociales, cooperativas o colaborativas e integrar diversas formas de interacción que las potencien (van Huysduynen, de Valk, & Bekker, 2016). Asimismo, ante las posibilidades que tienen los objetos activos para brindar *feedback*, es de interés considerar diferentes tipos que podrían orientarse a: a) mostrar el desempeño o avance del estudiante, b) ayudar a identificar errores y tomar conciencia de ello, c) proporcionar pistas y fortalecer la capacidad de los estudiantes para autorregular su propio desempeño (Nicol & MacFarlane-Dick, 2006; Van Seters, Ossevoort, Tramper, & Goedhart, 2012).

En la siguiente sección se proponen criterios para el posterior análisis de casos donde se integren objetos activos en actividades educativas, de manera tal de identificar sus posibilidades, y los tipos de diseño de actividades que se vienen realizando. Si bien se han encontrado trabajos como el de (Mehta et al., 2016), en el que se presentan un análisis de experiencias educativas con objetos activos, estos presentan solo algunos de los criterios aquí contemplados; y otros se enfocan en algunos tipos de aplicaciones específicas como el biodiseño (Grote, Segreto, Okerlund, Kincaid, & Shaer, 2015).

3. Definición de los criterios de análisis

En este trabajo se analizan antecedentes en relación con la utilización de objetos activos en actividades educativas basadas en IT y se establecen los criterios para enfocar dicho análisis. La selección de los criterios se basa en Mehta et al. (2016) y en el objetivo del estudio. Para ello, los criterios se agrupan en 4 categorías:

1. **Aspectos generales.** Los criterios de esta categoría están vinculados a contextualizar las experiencias. A

partir de estos indicadores se puede, por ejemplo, considerar de qué países provienen y a qué nivel educativo se orientan.

2. **Aspectos vinculados a la interacción tangible.** Los criterios de esta categoría permiten analizar la forma en que se lleva a cabo el proceso de interacción entre las personas y las computadoras. Se busca dar a conocer el tipo de objeto que se utiliza, así como las estrategias y técnicas con las que se plantea desarrollar la IT.
3. **Aspectos vinculados a las interfaces de usuarios tangibles.** Los criterios presentes en esta categoría permiten conocer las diferentes formas en que los objetos físicos y digitales pueden ser acoplados computacionalmente.
4. **Aspectos vinculados a lo metodológico y educativo.** Esta categoría incluye los criterios que analizan la actividad educativa y las estrategias metodológicas puestas en juego. Al tratarse de experiencias orientadas a algún proceso de enseñanza y/o aprendizaje, se busca conocer el tipo de actividades educativas realizadas.

La Tabla 1 muestra la clasificación de los criterios en cada una de las categorías de clasificación descritas.

Tabla 1: Categorías y criterios de evaluación.

Categorías	Criterios
Generales	-País donde se desarrolla -Nivel educativo
Interacción tangible	-Tipos de objetos -Modalidad de interacción -Tipos de <i>feedback</i>
Interfaces de usuario tangible	- <i>Framework Model-Control-Representation</i> -Framework basado en el grado de coherencia
Metodológico educativo	-Tipos de actividad -Evaluación

A continuación, se describen los criterios de análisis propuestos para la revisión y estudio de las experiencias.

A. Descripciones generales.

País. Este criterio refiere al país donde se desarrolla la investigación.

Nivel educativo. Este criterio identifica el nivel educativo de las experiencias seleccionadas. Los posibles valores del criterio son: i. educación especial, ii. inicial, iii. primario, iv. secundario y v. superior/universitario (grado y postgrado).

B. Interacción tangible

Tipo de actividad. De acuerdo con Marshall, Price, & Rogers (2003) se consideran 2 tipos de actividades de IT: i. Actividad exploratoria (identifica las actividades donde el estudiante explora una representación existente), y ii. Actividad expresiva (refiere a actividades donde los estudiantes generan representaciones a partir de sus propias ideas).

Modalidad de interacción. Este criterio permite identificar el espacio y forma de la interacción. Los valores posibles son: i. superficie interactiva (tipo de superficie utilizada, en caso de haberla, como una *tabletop*), ii. *Touch/Multi-Touch* (refiere a si se puede interactuar a partir de tocar con las manos las superficies interactivas), iii. Objetos tangibles (interacciones que se llevan a cabo por medio de la manipulación de un objeto físico), iv. Sin contacto (interacciones que se realizan a través de la detección de movimientos).

Tipos de feedback. El *feedback* consiste en cualquier tipo de mensaje que se genere en respuesta a una acción brindada. Se propone analizar a través de este criterio los tipos de *feedback* presentes según la clasificación de Van Seters, Ossevoort, Tramper, & Goedhart (2012): i. Sobre la tarea (este *feedback* indica si las respuestas proporcionadas son correctas o incorrectas), ii. Procesamiento de la tarea (especifica los pasos necesarios para resolver tareas, tanto procedimentales como metodológicos), iii. Autorregulación (es el *feedback* que incita a buscar información extra, a gestionar el tiempo y a reflexionar sobre la efectividad de las estrategias), y iv. Afectivo (expresa evaluaciones positivas, por ejemplo: "Bien hecho", o que motiven a pesar de los errores).

C. Interfaces de usuarios tangibles

Framework Model-Control-Representation (physical and digital), MCRpd, según Ullmer y Ishii (2000). Este marco se enfoca en la representación y se divide en 2 elementos: representación física y representación digital (Ullmer & Ishii, 2000), clasificando a los sistemas como: i. Sistema espacial (interpretan la posición espacial y la orientación de múltiples artefactos físicos dentro de marcos de referencia comunes), ii. Sistema constructivo (artefactos modulares con instrumentos electrónicos que permiten construir modelos del mundo físico), iii. Sistema relacional (establece relaciones entre objetos para agregar datos representados en un contexto) y iv. Sistema asociativo (se los objetos individuales con información digital, pero no integra asociaciones de múltiples objetos).

Framework basado en el grado de coherencia de Koleva, Benford y Rodden (2003). Este marco considera las diferentes formas en que los objetos físicos y digitales se pueden acoplar computacionalmente: i. Herramienta de propósito general

(son los objetos que presentan el nivel más bajo de coherencia, como el *mouse*), ii. Herramienta especializada (consiste en un objeto físico que forma parte de la interfaz, que tiene una función más especializada que la de propósito general, pero que se conecta de forma temporal a un objeto digital, como instrumentos ópticos o pinceles), iii. Identificador (esta categoría consiste en la representación de objetos físicos que forman parte de la interfaz, tales como marcadores para recuperar información digital como los códigos de barras), iv. Proxy (corresponden aquellos objetos que están asociados de forma más permanente y que permiten una mayor manipulación de los objetos digitales), v. Proyección (se refiere a las relaciones en donde un artefacto digital se ve como una representación directa que contiene algunas propiedades del objeto físico, por lo que la existencia del objeto digital depende del objeto físico), y vi. Ilusión de ser el mismo objeto (se crea la ilusión de visualizar dos objetos acoplados como uno solo, para esto se crean transiciones suaves entre el espacio físico y digital, como por ejemplo que un objeto físico pueda pasar por una interfaz transitable y aparecer como un objeto virtual del lado de la pantalla).

D. Metodológico - educativo

Tipos de actividad educativa. Se analiza el tipo de actividad educativa realizada. Los valores para este criterio son: i. Individual/grupal y ii. Cooperativa/competitiva/colaborativa (aplica si la actividad es grupal).

Evaluación. Analiza si en las experiencias seleccionadas se explicita si han sido sometidas a un proceso de evaluación. Los valores para este criterio son: i. Si / No, ii. Técnica de evaluación (identifica las técnicas de evaluación empleadas), iii. Enfoque de la evaluación y principales resultados (descriptivo).

4. Recopilación de experiencias de IT

La recopilación de las experiencias y los casos seleccionados se basan en un proceso de revisión bibliográfica, contemplando como criterio de búsqueda general: experiencias de IT y su utilización en el escenario educativo donde esté presente el uso de objetos activos. La búsqueda se realizó en las bases de datos *ACM Digital Library* y *Springer*, a partir de las siguientes cadenas de búsqueda específicas: 1) "*tangible interaction*" + *education*, 2) "*Active objects*" + *education*. Se encontraron 40 trabajos, de los cuales se seleccionaron los 10 casos que cumplían todos los criterios de inclusión requeridos (texto completo, descripción de características de la interacción tangible, uso de objetos activos para la enseñanza y/o aprendizaje y aplicación de evaluaciones).

4.1 TabletopCars

TabletopCars (Dang & André, 2013) es un proyecto realizado en Alemania, cuyo objetivo principal es analizar las posibilidades que tiene el uso de *tabletops* para la creación de juegos, así como la influencia de los diferentes modos de interacción en los usuarios. Si bien no se trata de una experiencia vinculada a un objetivo educativo, fue utilizada con alumnos de Informática para el abordaje de temas de diseño de juegos y para analizar el concepto del juego con estos alumnos. *TabletopCars* se basa en el uso de objetos activos con forma de autos (creados con tecnologías accesible y de código abierto) y utiliza una *tabletop* donde se aumentan los escenarios y se interacciona de forma *multi-touch*. Tiene 4 juegos: *Car Soccer*, *Car Crashing*, *Fastest Lap*, y *Parcours*. Los juegos y los objetos activos se vinculan todos con habilidades para conducir un auto.

Permite utilizar un sensor *Kinect* para interactuar con los gestos de la mano o cuerpo. Por ejemplo, a través del *Kinect* se hace uso de la metáfora del volante conocida de los autos reales donde ambas manos sostienen un volante virtual delante del jugador. Girando el volante hacia la izquierda o hacia la derecha brinda los comandos para controlar los autos que se ubican en la *tabletop*. Además, empujar ambas manos hacia adelante o hacia atrás activa los comandos conducción hacia adelante y hacia atrás del auto controlado. Asimismo, se presenta un control remoto para comandar los autos, y son los jugadores los encargados de probar la técnica de interacción que deseen. Los objetos tangibles (autos) son activos porque ejecutan los movimientos realizados por los usuarios sobre la *tabletop*, ésta sí muestra *feedback* en forma de luces y sonidos. Los autos cuentan con un motor e imanes para los movimientos.

La evaluación del juego fue desarrollada en 2 etapas. En la primera se trabajó con 8 estudiantes de Informática para analizar el diseño y el concepto del juego. Luego, se realizó una evaluación para explorar la interacción, con 20 voluntarios de entre 22 y 28 años. Debido a los comentarios recibidos en la primera sesión, la segunda evaluación se realizó únicamente con el juego *Car Crashing*, ya que era más fácil y el favorito de los participantes. Se aplicó un cuestionario que solicitaba opinión y preferencia de los modos de interacción al finalizar cada sesión. Entre los principales comentarios se destaca el disfrute del juego y el valor dado al uso de tangibles activos en un entorno digital.

4.2 Eugenie

Eugenie (Grote, Segreto, Okerlund, Kincaid, & Shaer, 2015) fue desarrollado en Estados Unidos y tiene como objetivo apoyar el biodiseño para el área de Biología Sintética⁴, por medio de una *tabletop* con objetos activos y pasivo, a través de un proceso colaborativo en un entorno atractivo. Las tareas requieren que los estudiantes: 1) busquen información de estructura y funcionalidad de componentes biológicos disponibles (objetos activos); 2) definan reglas combinando los componentes con operadores lógicos; 3) instancien sus reglas con conjuntos de datos particulares (que suelen ser de gran volumen) y analicen los resultados obtenidos.

Los objetos activos que se utilizan en *Eugenie* se basan en *Sifteo Cube* (Merrill, Sun, & Kalanithi, 2012). Cada *Sifteo Cube* se reviste con una cubierta plástica que tiene una forma similar a un rompecabezas, lo que permite encajar los objetos activos, así como otros objetos de tipo operadores lógicos y conformar reglas de biodiseño. Los cubos se pueden manipular por medio de gestos, agitándolos, volteándolos, inclinándolos, pegándolos y tocándolos. Se puede interactuar con ellos deslizándolos o haciendo clic y se utilizan en el juego para controlar información digital de entrada y no de salida.

La evaluación de *Eugenie* fue realizada a través de un estudio cualitativo, aplicado a 18 estudiantes entre 18 y 32 años, y recolectando información a través de la observación y filmación de las sesiones. Los estudios se realizaron de a pares (9 grupos). El objetivo de la evaluación fue examinar la usabilidad del sistema, determinar las fortalezas y las limitaciones para el objetivo educativo de creación de biodiseños, haciendo uso de la IT. Entre los principales resultados se evidencia que todos los usuarios pudieron trabajar fácilmente, la mayoría lograron identificar los operadores lógicos y crearon soluciones. Solo a unos pocos se les dificultó identificar algunos operadores lógicos. Todos los pares colaboraron con los demás participantes, verbal y físicamente, con palabras y gestos.

4.3 SynFlo

SynFlo (Okerlund *et al.*, 2016) es un sistema desarrollado en Estados Unidos que busca explorar el biodiseño a través de una actividad lúdica interactiva bajo una plataforma de colaboración, permitir a los usuarios diseñar y jugar con la Biología sintética (en forma, similar al caso de *Eugenie*). *SynFlo* fue diseñado para la audiencia en general, utiliza *Sifteo Cubes* como objetos activos, pero no *tabletop* (Merrill *et al.*, 2012). Entre los objetivos educativos a alcanzar se menciona, que los alumnos logren conocer conceptos de la BioIngeniería,

usar en dominios de aplicación como terapias, descontaminación del medio ambiente, etc.

⁴ Biología sintética: área de que combina la Biología e Ingeniería, con el fin de diseñar organismos con comportamientos específicos para

comunicar reglas de biodiseño y desarrollar habilidades de investigación.

El proyecto de *SynFlo* consta de 2 versiones: la primera versión reside en la combinación de *tokens* activos (objetos físicos programables con tecnologías integradas de visualización, detección o actuación) con objetos concretos reales, mientras que la segunda está basada en *tokens* activos abstractos, representados en la pantalla del cubo. Las dos versiones hacen uso de animaciones en los *displays* para ilustrar los comportamientos y se brinda *feedback* en relación con las acciones físicas realizadas durante cada etapa.

La evaluación de *SynFlo* incluyó una mesa de trabajo, guías visuales y 2 colaboradores para asistir en el proceso. El enfoque de evaluación se basó en obtener información relacionada con la participación de los usuarios: el tiempo de interacción, la diversión, la colaboración y el aprendizaje. Las sesiones fueron filmadas y se aplicó un cuestionario al finalizar cada una para medir agrado y disfrute. Los autores destacan que el uso de los objetos activos permitió participar de una actividad agradable con distintos puntos de acceso para la colaboración. La mayoría de los grupos completaron con éxito la creación del biodiseño. Desde el punto de vista educativo, se observó una buena comprensión de la abstracción y aspectos de modularidad del biodiseño.

4.4 Active Pathways

Active Pathways (Mehta *et al.*, 2016) es un sistema tangible desarrollado en Alemania, compuesto por una *tabletop* y objetos activos que facilita el descubrimiento colaborativo y el aprendizaje en el modelado de procesos bioquímicos. *Active Pathways* permite la construcción y manipulación de modelos que generen propiedades espaciales y dinámicas a problemas científicos abstractos en el área de Bioquímica. Se parte de la hipótesis de que construir modelos computacionales, con visualizaciones dinámicas, puede apoyar la comprensión conceptual y conducir a nuevos descubrimientos.

Un punto importante de *Active Pathways* reside en los objetos activos (*Sitfeo Cubes*), no solo funcionan como control para la manipulación de los datos que se visualizan en la *tabletop*, sino que se pueden convertir en componentes físicos del sistema dinámico que adquieren propiedades cambiantes a través del tiempo. Así aquí los objetos activos forman parte del modelado de la solución.

Como parte del proceso de evaluación asistieron 14 participantes, 12 de ellos con edades entre 18 y 24 años, y otros 2 entre 25 y 39 años. Se aplicó una entrevista semiestructurada con la finalidad de conocer los

conocimientos previos de cada participante. Al terminar cada sesión, se empleó un cuestionario a cada participante. Los resultados de la evaluación del sistema sugieren que es fácil de utilizar y aprender, y en cuanto a la utilidad, se indicó que principalmente proporciona la comprensión de sistemas complejos y la colaboración.

4.5 Sparse Tangible

Sparse Tangibles es un sistema desarrollado en Canadá, que se enfoca en una exploración colaborativa de redes genéticas para descubrir diferencias genéticas y la evolución entre organismos divergentes, a través de objetos activos, una *tabletop* y sensores inerciales (Arif *et al.*, 2016). Los biólogos realizan exploración de redes genéticas con el fin de encontrar diferencias genéticas y evoluciones estructurales en organismos divergentes, así como también identificar limitaciones para su evolución. El sistema *Sparse Tangibles* se orienta tanto a contextos educativos para el aprendizaje como al apoyo de expertos. Para la interacción se utilizan objetos activos que son relojes inteligentes (LG G Watches) (Kaltenbrunner & Bencina, 2007). Cuando se coloca un objeto activo (o un agrupamiento de estos) sobre la *tabletop*, hace las veces de *query* (consulta) y el sistema muestra todas las redes relacionadas, mediante un gráfico de anillos en la *tabletop*, permitiendo al usuario girar el objeto para apuntar hacia la opción que desee y continuar expandiendo las opciones para obtener mejores visualizaciones sobre el gen u organismo, según sea el caso. Cada reloj se integra a una estructura impresa en 3D, para permitir que se puedan apilar, para la ejecución de consultas más complejas (cada objeto al apilarse involucra un AND). En el display de los relojes pueden configurarse parámetros.

La evaluación del sistema fue de carácter informal, con 3 biólogos expertos en el área, de entre 28 y 30 años, y una sesión de aproximadamente una hora. Los invitados interactuaron con el sistema, y debían comentar cada paso que realizaban. Como resultado destacaron que el sistema es útil, fácil de usar y consideraron que fomenta la colaboración (Arif *et al.*, 2016).

4.6 Knight`s Castle

Knight`s Castle (Lampe & Hinske, 2007) consiste en un parque con temática de la Edad Media, que contiene tecnologías de computación móvil integradas con juguetes tradicionales. Se propone que los alumnos aprendan canciones, poemas y conozcan información de la Edad Media. Es un sistema desarrollado en Suiza.

Los juguetes y los edificios extienden la realidad física y son capaces de brindar una retroalimentación a los niños. Por ello, se integraron módulos de vibración para brindar una

respuesta táctil, LEDs que otorgan un *feedback* visual, principalmente para indicar qué objetos se encuentran activos para utilizar, y diferentes tipos de sonidos. Todos los objetos se pueden tocar, mover, manipular y reorganizar, la información digital se integra como *feedback* y se orienta a estimular a los estudiantes para generar un mayor aprendizaje.

Los principales resultados en la evaluación de *Knight's Castle* (Hinske, Lampe, Yuill, Price, & Langheinrich, 2009), se relacionan fundamentalmente con la diversión y las posibilidades que ofreció para la narración de cuentos, comparando ésta con una versión del juego idéntica pero no aumentada. El estudio fue realizado con un total de 103 participantes, de una escuela primaria, en 39 grupos. Las sesiones fueron observadas y filmadas. Se aplicaron entrevistas y cuestionarios en grupos pequeños. Solo 37 participantes jugaron ambos juegos. En su mayoría, indicaron su preferencia hacia el juego aumentado. Por otra parte, se les consultó a los que jugaron únicamente la versión aumentada del juego, y 32 de 33 indicaron que les gusta más esta forma de jugar que los tradicionales juegos de video.

4.7 Multimodal Mixer

Multimodal Mixer (Hopma, Bekker, & Sturm, 2009) es un juguete consistente en un objeto activo (creado con tecnología accesible como Arduino Diecimila), que se utiliza en juegos abiertos y con múltiples modalidades de salida. Está diseñado para niños entre 8 y 12 años, y su objetivo consiste en permitir una exploración y aprendizaje, donde los usuarios pueden crear sus propios juegos, estableciendo reglas de juego basadas en las salidas multimodales de los objetos activos. *Multimodal Mixer* utiliza un sensor de aceleración para detectar el balanceo o la agitación y un sensor de infrarrojos para las señales. Presenta 3 modalidades diferentes de *feedback*: 1) visual a partir de *LEDs RGB*, 2) auditivo a través de un altavoz y 3) táctil con la integración de un motor de vibración. El objetivo de esta actividad es estimular la creatividad de los niños al inventar ellos mismos nuevos juegos. Fue desarrollado en Países Bajos.

El objetivo de la evaluación era conocer el impacto de múltiples modalidades de salida en un juego con juguetes interactivos, centrándose en la experiencia y creatividad de los niños. Así, fue comparado con una variante unimodal para mostrar cómo estas diferencias afectan la cantidad de juegos jugados, la diversidad de juegos y la forma en que se utiliza el juguete. Para la evaluación se organizaron 10 grupos mixtos de 3 o 4 participantes (un total de 37), entre 8 y 12 años, en una escuela primaria. Para la comparación entre la variante multimodal con la unimodal, se asignaron 5 grupos para cada condición, a los cuales se explicaba que tenían que crear un

juego y las posibilidades de interacción. Todas las sesiones fueron observadas, filmadas y se aplicó un cuestionario para analizar la experiencia.

Entre los principales resultados se encontró que el *Multimodal Mixer* motivó a los niños a utilizar las acciones de sacudir o hacer rodar el juguete para enviar señales a otro juguete *Multimodal Mixer*. Crearon múltiples juegos y utilizaron a los juguetes con diferentes roles en cada uno. Además, ayudó a los participantes a estar físicamente activos y estimular la actividad social. Los niños desarrollaron su juego de forma grupal, ya que el hecho de que los mezcladores se pudieran comunicar provocó que los niños jugaran juntos.

4.8 TAOs

TAOs (Tangible Active Objects) (Riedenklaue *et al.*, 2010) combina objetos tangibles activos con el uso de sonidos y permite a personas con discapacidad visual explorar datos multivariantes a través de diagramas de dispersión. Es un proyecto alemán, que permite traducir la experiencia visual de diagramas de dispersión en un dominio basado en audio y manifestaciones hápticas, empleando tecnología accesible y de código abierto.

El proceso de interacción presentado para la exploración de los diagramas de dispersión consiste en que cada *TAO* se convierte en un anclaje de los datos. Particularmente, se realiza una cuantificación vectorial utilizando, por ejemplo, el algoritmo *k-medias*, así los *TAO*, se mueven de forma autónoma sobre la mesa activando un módulo de accionamiento, lo que significa que dos motores accionan dos ruedas en el mismo eje para poder desplazarse sobre la mesa o también cada *TAO* puede ser manipulado y desplazado por los interesados siendo la mesa la encargada de capturar las acciones y de proveer el *feedback*, permitiendo a los usuarios explorar cómo se organizan los datos. Cada *TAO* puede usarse para examinar cómo se distribuyen los datos en detalle: moviendo un *TAO*, se excita un sonido que se orienta a que los participantes perciban las características locales de la distribución de datos.

La evaluación se llevó a cabo a través de estudios cualitativos y cuantitativos. Para ello, se realizaron 13 sesiones con 9 usuarios, de 24 a 67 años. Entre los principales resultados se encontró que un 77% de las sesiones resultaron exitosas. El 67% de los usuarios pudieron reconocer de forma exitosa el conjunto de datos explorados. Además, se aplicó un cuestionario donde todos indicaron que pueden trabajar con el sistema, asimismo, opinaron que fue divertido y que era fácil captar los *TAO* sin verlos.

4.9 Tangible Bots

Tangible Bots (Pedersen & Hornbæk, 2011) es un proyecto para *tabletop* desarrollado en Dinamarca con tangibles activos que permiten reflejar cambios en modelos digitales. El principal objetivo educativo se relaciona con que los alumnos logren crear interpretaciones musicales complejas.

Las técnicas de interacción propuestas se dividen en: 1) *feedback* de interacción, 2) comandos de interacción, 3) interacciones grupales e 4) interacción basada en modelos. Los *Tangible Bots* toman como base de hardware a *Pololu 3pi Robots* equipados con un microcontrolador, motores de movimiento que permiten reflejar *feedback* háptico, corrección de errores y control *multi-touch*.

Como parte de la evaluación, se realizaron 2 estudios, el primero basado en la usabilidad y el segundo en la utilidad. Para el primer estudio se trabajó con 16 personas con el fin de investigar cómo los tangibles activos afectan la velocidad y precisión de la interacción. Los participantes manifestaron preferencias por el uso de los *Tangibles Bots* por sobre objetos pasivos. Utilizaron especialmente los movimientos de girar durante la experiencia. Para el segundo estudio, se analizó cómo las técnicas de IT ayudan o apoyan a usuarios expertos. Para ello, participaron 7 músicos electrónicos para evaluar una versión de *MixiTUI*, un secuenciador tangible para muestras de sonido y música editada (Pedersen & Hornbæk, 2009). Entre los principales resultados se identificó que todos los músicos encontraron los *feedback* hápticos útiles para llevar adelante la tarea.

4.10 MagicBuns

MagicBuns (van Huysduynen *et al.*, 2016) es un trabajo desarrollado en los Países Bajos, cuyo objetivo consiste en examinar el apoyo de diferentes modalidades de *feedback*, sobre diferentes comportamientos y formas de juego en distintas etapas de desarrollo de los niños. Los objetos activos se integran al juego libre de los niños y tienen el objetivo de

mejorar la interacción social a través de actividades con estos. *MagicBuns* está enfocado en combinar características de objetos de juegos tradicionales con tecnología moderna. Incluye 3 modalidades de *feedback*: luz, sonido y vibración, que se producen a partir de la interacción que tengan los participantes con el objeto tangible: rodar o sacudir.

El diseño de los objetos se ha realizado de manera que los niños pueden cargar y correr fácilmente con ellos, pero también brindan oportunidades para el juego constructivo. La forma de los objetos permite que los niños los puedan hacer rodar o deslizarlo en el piso hacia otros niños.

Como parte de la evaluación, se realizó un estudio exploratorio para examinar las combinaciones entre 3 modalidades de *feedback*: 1) luces de colores y sonido, 2) luces de colores y vibración, y 3) sonido y vibración. Se emplearon grabaciones de audio y video en las sesiones. Participó un total de 80 niños de ambos sexos, 36 tenían edades entre los 4 y 6 años, y 44 entre 10 y 12 años. Entre los principales resultados se encontró que se crearon un total de 34 juegos, entre ellos, 21 en torno al *feedback*, y relacionados con la asociación. Las formas de juego y el *feedback* provisto por los *MagicBuns* indicaron que los participantes de menor edad desarrollaran juegos más físicos y simples, mientras que los de mayor edad incluían elementos más sociales, con reglas inventadas y eran cooperativos. Además, se determinó que 2 de las combinaciones de *feedback* empleadas provocaron una mayor atención de los participantes, principalmente porque contenía luces de colores. En cuanto a la vibración y sonido, los participantes más chicos, se sentían menos atraídos, mientras los más grandes valoraron el sonido.

4.11 Comparativa de los casos seleccionados

La Tabla 2 presenta un resumen de las características de las experiencias y casos seleccionados según los criterios definidos.

Tabla 2: Resumen de características de las experiencias de IT con objetos activos.

Casos	Descripción general		Interacción tangible			Interfaces de usuario tangible		Metodológico educativo	
	País	Nivel educativo	Actividad de aprendizaje	Modalidad de interacción	Feedback	F. MCRpd	F. basado en el grado de coherencia	Actividad	Evaluación
Tabletop Cars	Alemania	Superior/ universitario	Exploratoria	Tabletop, multi-touch, Objetos tangibles y sin contacto	Sobre la tarea	Sistema espacial	Proxy	Grupal/ competitiva	Analiza aspectos de diseño, concepto de juego y modos de interacción
Eugenie	Estados Unidos	Superior/ universitario	Expresiva	Tabletop y Objetos tangibles	Sobre la tarea	Sistema relacional y constructivo	Ilusión de ser el mismo objeto	Grupal/ competitiva	Estudio cualitativo sobre la usabilidad.
SynFlo	Estados Unidos	Inicial-Primaria-Secundaria-Superior/ universitario	Expresiva	Objetos tangibles	Sobre la tarea y autorregulación	Sistema relacional y constructivo	Ilusión de ser el mismo objeto	Grupal/ colaborativo	Interacción, disfrute, aprendizaje y colaboración.
Active Pathways	Alemania	Superior/ universitario	Exploratoria	Tabletop y Objetos tangibles	Sobre la tarea	Sistema relacional y constructivo	Identificador	Grupal/ colaborativo	Utilidad y factibilidad
Sparse Tangible	Canadá	Superior/ universitario	Exploratoria	Tabletop y Objetos tangibles	Sobre la tarea	Sistema asociativo	Identificador	Grupal/ competitivo	Usabilidad
Knight's Castle	Suiza	Primario	Expresiva	Objetos tangibles	Sobre la tarea y autorregulación	Sistema relacional	Ilusión de ser el mismo objeto	Individuales y grupales	Usabilidad
Multimodal Mixer	Países bajos	Primario	Expresiva	Objetos tangibles	Sobre la tarea y autorregulación	Sistema relacional	Ilusión de ser el mismo objeto	Individuales y grupales	Procesos de interacción
TAOs	Alemania	Educación especial	Exploratoria	Objetos tangibles	Sobre la tarea	Sistema espacial	Identificador	Individual	cualitativo y cuantitativo sobre la utilidad.
Tangible Bots	Dinamarca	Superior/ universitario	Exploratoria	Tabletop y Objetos tangibles	Sobre la tarea	Sistema espacial	Identificador	Grupal/ colaborativo	Usabilidad y utilidad
MagicBuns	Países Bajos	Primario	Expresiva	Objetos tangibles	Sobre la tarea y autorregulación	Sistema relacional	Ilusión de ser el mismo objeto	Grupal/ colaborativo	Utilidad y factibilidad

5. Análisis de resultados a partir de la aplicación de criterios de evaluación

En esta sección se presenta la aplicación de los criterios a los antecedentes seleccionados y descritos previamente.

A. Descripciones generales

Se observa que los proyectos que incluyen objetos activos se llevaron a cabo mayormente en países europeos: 3 en Alemania, 2 en los Países Bajos, 1 en Suiza y 1 en Dinamarca,

mientras que en el continente americano se analizaron 3 experiencias: 2 en Estados Unidos y 1 en Canadá. Ninguna corresponde a un país de Latinoamérica. Por otra parte, en la Figura 1, se muestra el análisis del nivel educativo. El **nivel educativo** superior/universitario, ha sido el foco de 6 de las experiencias analizadas. Además, SynFlo es el único antecedente estudiado que fue planificado para ser utilizado en distintos niveles educativos.

Ed. Especial	Inicial	Primario	Secundario	Superior/universitario
• TAOs	• SynFlo	• SynFlo • Knight's Castle • Multimodal Mixer • Magic Buns	• SynFlo	• SynFlo • Tabletop Cars • Eugenie • Sparse Tangible • Active Pathways • Tangible Bots

Figura 1: Casos clasificados según nivel educativo.

B. Interacción tangible

En la Figura 2 se realiza el análisis del criterio de **tipo de actividad de aprendizaje**. Se observa que existe paridad en las actividades analizadas. En las 5 actividades de tipo exploratorio el estudiante se encarga de examinar una representación de un dominio ya existente, que es planificado por el docente o experto. Las restantes son representaciones expresivas donde los objetos ayudan a los alumnos a concretar sus propias ideas (biodiseño en *Eugenie* y *SynFlo*, cuentos en *Knight's Castle*, y juegos en *Multimodal Mixer* y *MagicBuns*).



Figura 2: Casos clasificados según tipo de actividad de aprendizaje.

La aplicación del criterio **modalidad de interacción** identifica si las modalidades de interacción seleccionadas por los investigadores para el desarrollo de las actividades son unimodales o por el contrario son actividades donde se hace uso de diferentes tipos de modalidades de interacción. En 5 casos las actividades fueron unimodales, usando sólo tangibles como modalidad de interacción (*Knight's Castle*, *Multimodal Mixer*, *TAOs*, *SynFlo* y *MagicBuns*) mientras que los 5 restantes utilizaron al menos 2 modalidades, combinando principalmente los tangibles activos con *tabletops*. De esas 5 actividades, en 3 las *tabletop* eran *multi-touch* (*TabletopCars*, *Tangible Bots* y *Sparse Tangibles*) y sólo en una oportunidad (*TabletopCars*) se hizo uso de tangibles con *tabletop*, *multi-touch* y sin contacto.

Al analizar el criterio **tipos de feedback** se observa, en la Figura 3, que los antecedentes estudiados brindan sólo 2 tipos de *feedback* sobre la tarea y la autorregulación. Esto coincide con lo afirmado por Van Seters et al. (2012), quienes indican que el *feedback* sobre la tarea es el que más se utiliza, ya que indica al estudiante si las acciones realizadas son correctas o incorrectas. Todas las actividades estudiadas presentan

feedback sobre la tarea, ya sea mediante texto, sonidos, luces y/o vibraciones.

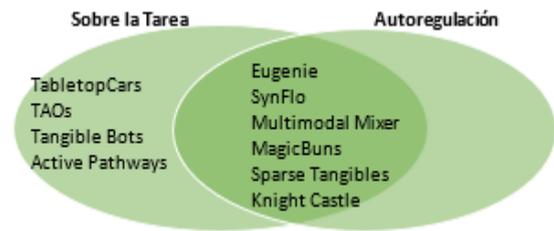


Figura 3: Casos clasificados según tipo de feedback

El *feedback* de autorregulación se puede orientar a ayudar en la gestión de tiempo, la organización del espacio de trabajo, el uso de determinadas estrategias, mientras que el de la tarea da cuenta de los aciertos y errores en las decisiones/acciones de los participantes

En la Tabla 3 se observa que, en 4 ocasiones, se utilizó texto o animaciones a través del display de los objetos, en 5 sonidos, en 4 luces y en 5 *feedback* háptico. Es interesante resaltar que se encontró un estudio específico sobre la atención acorde a estos tipos de *feedback*, demostrando que las combinaciones de *feedback* que incluían luces generaban mayor atención y exploración de los usuarios, que cuando no solo se utilizaron sonidos y vibraciones (van Huysduyнен et al., 2016).

Tabla 3: Tipos de feedback por casos.

Antecedentes	Texto y/o animación	Sonidos	Luces	Háptico
TabletopCars		X		
Eugenie	X			
SynFlo	X			
Sparse Tangible	X		X	
Knight's Castle			X	X
Multimodal Mixer			X	X
TAOs		X		X
Tangible Bots				X
Active Pathways	X			
MagicBuns		X	X	X

Además, 6 de 10 antecedentes (*Eugenie*, *SynFlo*, *Multimodal Mixer*, *MagicBuns*, *Sparse Tangibles* y *Knight's Castle*) agregan un tipo de *feedback* de autorregulación en conjunto con el *feedback* sobre la tarea. Se observa que se concreta a partir de acciones en donde se sugiere cierta información, y en algunos casos, qué estrategias utilizar.

C. Interfaces de usuario tangible

En la Figura 4 se presenta la clasificación de los casos estudiados al aplicar el criterio **Framework MCRpd**, analizando las distintas instancias de TUIs, en donde hay objetos físicos como controladores de información digital.

Sistema Espacial	Sistema Constructiv	Sistema Relacional	Sistema Asociativo
Tabletop Cars		Knight Castle	Sparse Tangible
TAOs		Multimodal Mixer	
Tangible Bots		MagicBuns	
	SynFlo		
	Active Pathways		
	Eugenie		

Figura 4: Casos clasificados según tipo Framework MCRpd.

Las interfaces tangibles que presentan posiciones espaciales de diversos objetos físicos dentro de un mismo marco de referencia son *TabletopCars*, *TAOs* y *Tangible Bots*, donde los tangibles activos se manipulan para generar interacciones de la información digital. Los sistemas constructivos incluyen interfaces tangibles donde se desarrollan artefactos modulares, como los sistemas de biodiseño basados en los módulos de *Sifteo*. En este sentido, *SynFlo*, *Active Pathways* y *Eugenie* constituyen un sistema constructivo, donde se realizan diseños ya sea apilando, uniendo o incrustando los objetos. Los sistemas relacionales, donde existen relaciones establecidas computacionalmente entre los diversos tangibles son: *Knight's Castle*, *Multimodal Mixer* y *MagicBuns*. Finalmente, como sistema asociativo se encuentra *Sparse Tangibles*, que asocia los objetos activos con información digital sobre una *tabletop*, de manera que a medida que se mueven por la superficie de la *tabletop*, estos siguen asociados e ilustran gráficos y tablas, y cuando se separan de la superficie los gráficos desaparecen.

La intención de clasificar los casos según el **Framework basado en el grado de coherencia** al igual que el **Framework MCRpd**, está dirigida a analizar las interfaces tangibles considerando las diferentes formas en que se pueden acoplar los objetos físicos y digitales. En particular, el grado de coherencia pone el foco en el tipo de enlace de los objetos físicos y digitales. Es decir, busca clasificar las TUIs con respecto al grado en que los objetos físicos y digitales se ven como un mismo objeto que existe tanto en el dominio físico como en el digital, o si se ven como objetos separados que se interconectan de forma temporal. La Figura 5 muestra la clasificación de los antecedentes estudiados de acuerdo con

las categorías preestablecidas por Koleva *et al.* (2003). Se encontraron en las experiencias 2 formas de relación entre objetos físicos y digitales: la basada en un identificador y la ilusión de ser el mismo objeto.



Figura 5: Casos clasificados según Framework basado en el grado de coherencia.

El criterio identificador corresponde a la representación de objetos físicos que forman parte de la interfaz, y para ello utilizan marcadores para recuperar información digital, por ejemplo, un fiducial. *TabletopCars*, *TAOs*, *Active Pathways*, *Tangible Bots* y *Sparse Tangibles* pertenecen a este criterio, ya que todos utilizan marcadores para presentar y aumentar información digital. Luego, se pueden establecer diferencias en las experiencias estudiadas basadas en: el alcance de la interacción, si el vínculo es permanente, si la información es fija o puede ser transformada, incluso si existe autonomía o dependencia entre los objetos físicos y digitales.

También, como segunda categoría se ha identificado la ilusión de ser el mismo objeto, que se da cuando se acoplan objetos físicos y digitales, y se genera la ilusión de ser sólo uno, como ocurre en *Knight's Castle*, *Multimodal Mixer*, *MagicBuns*, *Eugenie* y *SynFlo*, donde la mayor parte de la interacción está centrada en los objetos físicos que representan lo mismo en el mundo digital y en el físico.

D. Aspectos Metodológico-educativos

La aplicación del criterio **tipo de actividad educativa** busca identificar la dinámica de trabajo y el enfoque de educativo empleado. El análisis demuestra que sólo en una ocasión se identificó una dinámica exclusivamente de trabajo individual (*TAOs*). En *TabletopCars* se presenta una actividad grupal y competitiva, mientras que en *Knight's Castle* se presentan actividades tanto grupales como individuales, debido a la configuración y las modalidades del entorno creado para llevar a cabo el proceso de interacción y la forma del juego. Finalmente, los 7 antecedentes restantes contienen actividades grupales y colaborativas.

La aplicación del criterio de **evaluación** evidenció que todos los casos estudiados presentan una evaluación, algunas de las cuales fueron formales y otras no, y que se utilizaron distintos enfoques. Entre las técnicas empleadas se identificaron: la observación, registro con filmación, cuestionarios, entrevistas

y encuestas. El foco de evaluación fue la usabilidad, utilidad, experiencia de usuario, aprendizaje, y en algunos casos la comparación de las modalidades de interacción. También, algunas se realizaron con usuarios finales, mientras que en 2 oportunidades (*Sparse Tangibles* y *Tangible Bots*) con usuarios expertos.

Es importante mencionar que no se identificó una evaluación enfocada únicamente en las posibilidades de los objetos activos. La mayoría buscaba evaluar aspectos de la interacción como un todo, principalmente ver comportamientos del diseño de los escenarios y del juego, y no en cómo la incorporación de objetos activos aporta al desarrollo de las actividades educativas. En un caso (*Multimodal Mixer*) se analizó el tipo de *feedback* en los objetos y en otro la preferencia de los objetos activos por sobre los pasivos (*Tangible Bots*), antecedente que resulta de especial interés para este trabajo.

6. Relaciones entre los criterios de análisis

La categoría **descripciones generales** revela que, para el criterio de nivel educativo, hay casos estudiados en todos los niveles educativos, pero la mayoría se concentró en el superior/universitario.

Por otra parte, en la categoría de **IT** en cuanto al criterio de los tipos de actividad de aprendizaje, existe paridad entre los trabajos de tipo exploratorio y expresivo. No obstante, en la Figura 6 se puede apreciar una particularidad, y ésta radica en que 4 de 5 actividades de tipo expresiva fueron planificadas para el nivel educativo primario y las actividades exploratorias en su mayoría fueron destinadas al nivel educativo superior/universitario. Las actividades de aprendizaje expresivas en donde los participantes tienen la posibilidad de crear representaciones se utilizaron para la creación de juegos y cuentos, principalmente cuando el nivel educativo se orientó exclusivamente a nivel primario.

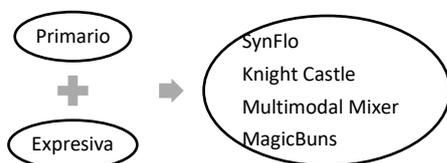


Figura 6: Relación entre nivel educativo y actividad de aprendizaje.

Otro de los aspectos importantes de la categoría **IT** está en el criterio de tipos de *feedback*, en donde todos los antecedentes brindan un *feedback* sobre la tarea, haciendo uso de diferentes modalidades como luces, sonidos y/o vibraciones. El *feedback* sobre la tarea permite que los participantes reconozcan sus errores, y esto puede llevarlos a indagar nuevas respuestas y estrategias para completar tareas

y, por tanto, promover en algún modo hacer uso de sus propias competencias de autorregulación (Hattie & Timperley, 2010).

Además, en la Figura 7 se muestra que todos los antecedentes revisados del tipo de actividad expresiva han considerado incluir un *feedback* de autorregulación. Esto indica que aquellos casos en donde los participantes tienen la posibilidad de generar representaciones para ciertos dominios, a partir de sus propias ideas, presentan modalidades que permiten monitorear, dirigir y regular las acciones hacia la meta de aprendizaje. Por ejemplo, en *MagicBuns* a través de alguna de las modalidades de *feedback*, como los cambios de color, logró persuadir a los estudiantes a explorar nuevas posibilidades.

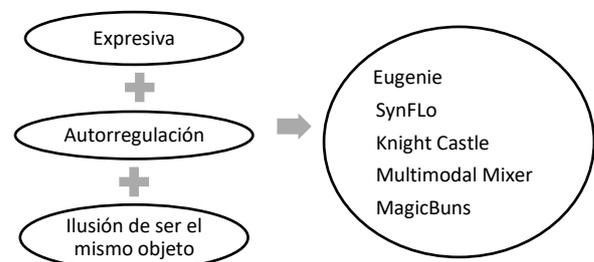


Figura 7: Relación entre tipo de actividad educativa, *feedback* y framework basado en el grado de coherencia.

En relación con la información recolectada en la categoría **TUIs** el resultado más destacado corresponde al criterio *framework* basado en el grado de coherencia que permite echar luz para comprender las diferentes formas en que los objetos físicos y digitales se pueden acoplar. El análisis del criterio determinó la existencia de dos clasificaciones, los que basan su proceso de interacción en los identificadores y los que hacen ilusión de ser el mismo objeto. En particular, se puede observar en la Figura 7 que todos aquellos antecedentes estudiados que hacen ilusión de ser el mismo objeto son, en general, actividades del tipo expresivo y que presentaron un *feedback* de autorregulación.

Asimismo, en la Figura 8 se ilustra que existe una similitud en al menos 4 de los antecedentes estudiados (*SynFlo*, *Knight Castle*, *MagicBuns* y *Multimodal Mixer*). Las características que comparten estas actividades son: se orientan a nivel educativo primario, emplean actividades expresivas a través del diseño propuesto en los objetos activos, los estudiantes son los encargados de recrear sus propias ideas en representaciones digitales, los objetos suministran a los participantes un *feedback* relacionado con la autorregulación en su aprendizaje y tienen la misma representación en el mundo físico que en el digital (ilusión de ser el mismo objeto).

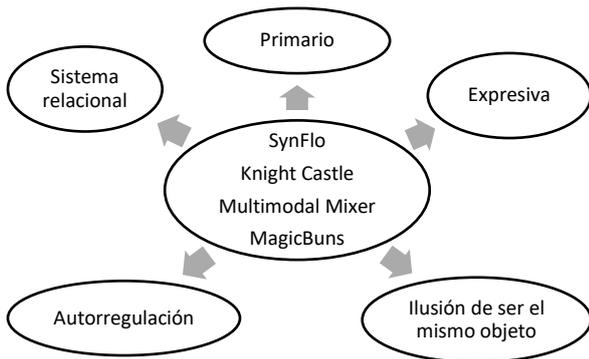


Figura 8: Relación entre características de diferentes antecedentes estudiados.

Finalmente, en cuanto a la categoría **metodológico educativo**, al aplicar el criterio de tipo de actividad se detectó que la mayoría de los antecedentes enfocan las actividades a que sean grupales y colaborativas. A su vez, en representación del criterio de evaluación los antecedentes evidenciaron que las evaluaciones estaban enfiladas principalmente en la usabilidad y utilidad. Asimismo, se observó que los objetos activos se crearon utilizando hardware de código abierto. Adicionalmente, se pudieron observar algunos resultados de valor encontrados en las experiencias analizadas, en cuanto al uso de los objetos activos en las actividades educativas. Entre ellos se encuentran los siguientes:

- Manipular los objetos.
- Generar representaciones directas a través de procesos sensoriales y motores.
- Integrar tangibles de la vida real para fomentar la participación y proveer un contexto a la actividad.
- Brindar nuevas experiencias de juego y aprendizaje
- Apoyar la interacción exploratoria y expresiva.
- Reducir conflictos entre los modelos digitales y el diseño espacial de los elementos tangibles.
- Animar a los estudiantes a ser físicamente activos.
- Estimular la actividad social.
- Facilitar el aprendizaje a través de la acción.
- Crear juegos y actividades constructivas.
- Persuadir a los alumnos para que desarrollen aún más las habilidades y conocimientos, a partir del *feedback* en los propios objetos.

7. Directrices para el diseño de actividades educativas con objetos activos

A través del análisis realizado en las experiencias de IT se han determinado algunas pautas a considerar en el diseño de situaciones educativas con objetos activos, que puedan fortalecer los procesos de enseñanza y aprendizaje (Cruz, Sandí, & Víquez, 2017).

En primer lugar, se debe definir, de forma clara, la población meta, los objetivos educativos (motivación, aprendizaje de alguna habilidad/tema específico, colaboración, etc.) y el tipo de actividad educativa (exploratoria o expresiva) a diseñar con los objetos activos, tal como se ha observado en las experiencias analizadas. Acorde a la población meta y el tipo de actividad se considera el objeto a utilizar o diseñar (forma, colores, componentes electrónicos, etc.). Al mismo tiempo, es necesario considerar si la intención es que los estudiantes trabajen individual o grupalmente, de acuerdo con los objetivos educativos planteados.

Uno de los aspectos que se deben abordar y aprovechar como parte de la experiencia educativa, es el diseño del *feedback* de los objetos activos que se involucren en la actividad. Se ha determinado que el *feedback* es más efectivo cuando éste se adapta a la población meta (Brookhart, 2008). Para ello se puede considerar la clasificación de tipos de *feedback* propuesta por Van Seters *et al.* (2012) y mencionada en la sección 3. Según lo analizado en algunas de las experiencias, el uso de uno o más tipos de *feedback* en el objeto activo puede ampliar las alternativas de interacción y contribuir al proceso educativo. Junto con los tipos de *feedback*, es necesario decidir las modalidades de salida (texto/animación, luces, sonidos, háptico), teniendo en cuenta que, de acuerdo a los estudios revisados (por ejemplo, *MagicBuns*), la combinación de dos tipos de *feedback* ha logrado mayor atención en los alumnos, además, las preferencias de combinaciones de *feedback*, ha variado según las edades de los niños. Explorar la combinación de modalidades de *feedback* de acuerdo con la dinámica de la actividad, los objetivos y los destinatarios es un aspecto para profundizar.

En síntesis, para el diseño de actividades educativas con objetos activos resulta muy importante considerar: la población meta, objetivos educativos, tipo de actividad educativa, tipos de objeto y enlaces con la información digital, tipos de *feedback*, y modalidades de *feedback*.

8. Conclusiones y trabajos futuros

Los objetos activos tienen la potencialidad de tener un comportamiento propio y reflejar *feedback* (Riedenklau *et al.*, 2010), lo que puede resultar importante en el desarrollo de actividades educativas. Así se pueden crear actividades en las que los objetos activos favorezcan la generación de metáforas y la mayor atención de los estudiantes en sus tareas (Valdes *et al.*, 2014; van Huysduynen *et al.*, 2016). Los objetos activos pueden ser desarrollados como juguetes cuando se trabaja con niños. En este trabajo se han descrito y analizado un total de 10 casos de actividades educativas que involucran objetos activos, creados generalmente con electrónica accesible y de código abierto.

El análisis presentado se ha realizado a partir de la definición de diferentes criterios de análisis, y evidenció que los antecedentes estudiados se orientan principalmente al nivel educativo superior/universitario seguido del primario, la mitad se enfocó en tipos de actividades de aprendizaje exploratorias y la otra en expresivas, usando principalmente objetos activos con *tabletops*. En cuanto a los tipos de *feedback* utilizados, se relacionan con la tarea y luego la autorregulación. Se han estudiado sistemas relacionales con relaciones espaciales y otros de tipo constructivo. En la mayoría de las experiencias, se utilizan marcadores para identificar cada objeto. En cuanto a la dinámica, se trata de actividades grupales y colaborativas, y las evaluaciones se enfocan en la usabilidad, utilidad (ej. aprendizaje) y algunos aspectos de experiencias de usuario. Finalmente, se identificó que la utilización de los objetos activos posibilita nuevas experiencias de juego y aprendizaje (como se vio en *Multimodal Mixer*, *MagicBuns*, *Synflo*, *Eugenie*), que aprovechan *feedback* visual, auditivo y háptico (luces, sonidos, mensajes de texto y vibraciones) y anima a los estudiantes a estar activos, y a participar de las actividades.

Además, como cierre se han planteado una serie de directrices que se orientan a guiar el diseño de actividades educativas con objetos activos. Se considera que este trabajo abre las puertas para profundizar en este tipo de investigaciones que tienen un valor en el escenario educativo.

Como trabajo futuro, se propone avanzar en el análisis realizado en este trabajo como base para el diseño de actividades educativas basadas en IT con objetos activos, considerando como punto de partida las directrices planteadas y los *frameworks* utilizados para la revisión.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Gobierno de Aragón y la Unión Europea a través de la acción FEDER 2014-2020 "Construyendo Europa desde Aragón" (Grupo T25_17D), por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidad de España, a través del proyecto RTI2018-096986-B-C31 y por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires, a través del proyecto REFORTICCA.

Referencias

- Arif, A. S., Manshaei, R., Delong, S., East, B., Kyan, M., & Mazalek, A. (2016). Sparse Tangibles: collaborative exploration of gene networks using active tangibles and interactive tabletops. En *Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction* (pp. 287–295). Eindhoven, Netherlands: ACM. <https://doi.org/10.1145/2839462.2839500>
- Artola, V., Sanz, C., Pesado, P., & Baldassarri, S. (2016). ITCOL. Tangible interaction for collaboration: Experiments carried out. En *Collaboration Technologies and Systems (CTS)* (pp. 172–179). Orlando, FL, USA: IEEE.
- Brookhart, S. (2008). *How to Give Effective Feedback to Your Students* (Associatio). Alexandria: Quest Ebook Central.
- Cruz, M., Sandí, J. C., & Viquez, I. (2017). Diseño de situaciones educativas innovadoras como estrategia didáctica para fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje. *Didasc@lia: Didáctica y Educación*, VIII(2), 99–116.
- Dang, C. T., & André, E. (2013). TabletopCars: interaction with active tangible remote controlled cars. En *Proceedings of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction* (pp. 33–40). Barcelona, Spain: ACM. <https://doi.org/10.1145/2460625.2460630>
- East, B., DeLong, S., Manshaei, R., Arif, A. S., & Mazalek, A. (2016). Actibles: open source active tangibles. En *Proceedings of the 2016 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces* (pp. 469–472). Niagara Falls: ACM. <https://doi.org/10.1145/2992154.2996874>
- Follmer, S., & Ishii, H. (2012). kidCAD: Digitally Remixing Toys Through Tangible Tools. En *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2401–2410). Austin, Texas, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2207676.2208403>
- Frías, G., Marco, J., Serón, F., & Latorre, P. (2010). TANGIBLE: Una plataforma de laboratorio para el ensayo de interfaces tangibles y multimodales. *Diseño de interacción*, (4), 34–47.
- Grote, C., Segreto, E., Okerlund, J., Kincaid, R., & Shaer, O. (2015). Eugenie: Multi-Touch and Tangible Interaction for Bio-Design. En *Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction* (pp. 217–224). Stanford, California, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2677199.2680605>
- Hattie, J., & Timperley, H. (2010). The power of feedback. *Medical Education*, 44(1), 16–17.
- Hinske, S., Lampe, M., Yuill, N., Price, S., & Langheinrich, M. (2009). Kingdom of the Knights: evaluation of a seamlessly augmented toy environment for playful learning. En *Proceedings of the 8th International Conference on Interaction Design and Children* (p. 202). Como, Italy: ACM. <https://doi.org/10.1145/1551788.1551829>
- Hopma, E., Bekker, T., & Sturm, J. (2009). Interactive Play Objects: The Influence of Multimodal Output on Open-Ended Play. En *Intelligent Technologies for Interactive Entertainment* (Vol. 9, pp. 78–89). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hwang, W. Y., Shadiev, R., Tseng, C. W., & Huang, Y. M. (2015). Exploring Effects of Multi-Touch Tabletop on Collaborative Fraction Learning and the Relationship of Learning Behavior and Interaction with Learning Achievement. *Educational Technology & Society*, 18(4), 459–473.

- Ishii, H. (2008). Tangible bits: beyond pixels. Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI '08), xv–xxv. <https://doi.org/10.1145/1347390.1347392>
- Ishii, H., & Ullmer, B. (2003). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits, and atoms. En Proceedings of the 8th international conference on Intelligent user interfaces (pp. 234–241). Atlanta: ACM. <https://doi.org/10.1145/604045.604048>
- Kaltenbrunner, M., & Bencina, R. (2007). ReactIVision: A Computer-Vision Framework for Table-Based Tangible Interaction. En Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction (pp. 69–74). Baton Rouge, Louisiana: ACM. <https://doi.org/10.1145/1226969.1226983>
- Koleva, B., Benford, S., Hui Ng, K. H., & Rodden, T. (2003). A framework for tangible user interfaces. En Proceedings of Physical Interaction Workshop on Real World User Interfaces (pp. 46–50). Udine, Italy.
- Lampe, M., & Hinske, S. (2007). The Augmented Knight's Castle—Integrating Mobile and Pervasive Computing Technologies into Traditional Toy Environments. Concepts and technologies for Pervasive Games—A Reader for Pervasive Gaming Research, 1, 41–66.
- Marco, J., Cerezo, E., & Baldassarri, S. (2010a). Desarrollo de interfaces naturales para aplicaciones educativas dirigidas a niños. En Proceedings of the VIII Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador (pp. 79–82). AIPO.
- Marco, J., Cerezo, E., & Baldassarri, S. (2010b). Playing with toys on a tabletop active surface. Proceedings of the 9th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '10, 296. <https://doi.org/10.1145/1810543.1810596>
- Marco, J., Cerezo, E., & Baldassarri, S. (2012). Tangible interaction and tabletops: new horizons for children's games. International Journal of Arts and Technology, 5(2/3/4), 151–176.
- Marshall, M., Carter, T., Alexander, J., & Subramanian, S. (2012). Ultra-Tangibles: Creating Movable Tangible Objects on Interactive Tables. En Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 2185–2188). Austin, Texas, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2207676.2208370>
- Marshall, P., Price, S., & Rogers, Y. (2003). Conceptualising tangibles to support learning. En Proceedings of the 2003 conference on Interaction design and children (pp. 101–109). Preston, England: ACM. <https://doi.org/10.1145/953536.953551>
- Mehta, M., Arif, A. S., Gupta, A., DeLong, S., Manshaei, R., Williams, G., ... Mazalek, A. (2016). Active Pathways: Using Active Tangible and Interactive Tabletops for Collaborative Modeling in System Biology. En Proceedings of the 2016 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces (pp. 129–138). Niagara Falls, Ontario, Canada: ACM. <https://doi.org/10.1145/2992154.2992176>
- Merrill, D., Sun, E., & Kalanithi, J. (2012). Sifteo cubes. En CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (pp. 1015–1018). Austin, Texas, USA: ACM.
- Nicol, D., & MacFarlane-Dick, D. (2006). Formative assessment and selfregulated learning: A model and seven principles of good feedback practice. Studies in Higher Education, 31(2), 199–218.
- Okerlund, J., Segreto, E., Grote, C., Westendorf, L., Scholze, A., Littrell, R., & Shaer, O. (2016). SynFlo: A Tangible Museum Exhibit for Exploring Bio-Design. En Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (pp. 141–149). Eindhoven, the Netherlands: ACM. <https://doi.org/10.1145/2839462.2839488>
- Pedersen, E. W., & Hornbæk, K. (2009). mixiTUI. En Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction (pp. 223–230). Cambridge, United Kingdom: ACM. <https://doi.org/10.1145/1517664.1517713>
- Pedersen, E. W., & Hornbæk, K. (2011). Tangible bots: Interaction with Active Tangibles in Tabletop Interfaces. En Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 2975–2984). Vancouver, BC, Canada: ACM. <https://doi.org/10.1145/1978942.1979384>
- Riedenklaus, E., Hermann, T., & Ritter, H. (2010). Tangible Active Objects and Interactive Sonification as a Scatter Plot Alternative for the Visually Impaired. En Proceedings of the 16th International Conference on Auditory Display (pp. 1–7). Washington, D.C.: International Community for Auditory Display. <https://doi.org/10.4119/unibi/2697201>
- Sanz, C., Baldassarri, S., Guisen, A., Marco, J., Cerezo, E., & De Giusti, A. (2012). ACoTI: herramienta de interacción tangible para el desarrollo de competencias comunicacionales en usuarios de comunicación alternativa. Primeros resultados de su evaluación. En Tecnología en Educación y Educación en Tecnología (p. 8). SEDICI.
- Sanz, C., Cruz, M., Nordio, M., Artola, V., & Baldassarri, S. (2019). The Conqueror: An Educational Game Based On Tangible Interaction. En International Conference of Education, Research and Innovation (pp. 8498–8505). Sevilla: IATED Digital Library.
- Sanz, C., Guisen, A., De Giusti, A., Baldassarri, S., Marco, J., & Cerezo, E. (2013). Games as educational strategy: A case of tangible interaction for users of Alternative and Augmentative Communication. En International Conference on Collaboration Technologies and Systems, CTS 2013 (pp. 377–381). <https://doi.org/10.1109/CTS.2013.6567258>
- Sanz, C., Nordio, M., & Artola, V. (2018). FraccionAR. Un juego para aprender sobre fracciones basado en Interacción Tangible. En XIII Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología (pp. 84–92). SEDICI.
- Ullmer, B., & Ishii, H. (1997). The metaDESK: Models and Prototypes for Tangible User Interfaces. En Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology (pp. 223–232). Banff, Alberta, Canada: ACM.
- Ullmer, B., & Ishii, H. (2000). Emerging frameworks for tangible user interfaces. IBM Systems Journal, 39(3.4), 915–931.
- Valdes, C., Eastman, D., Grote, C., Thatte, S., Shaer, O., Mazalek, A., ... Konkel, M. (2014). Exploring the design space of gestural interaction with active tokens through user-defined gestures. En Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 4107–4116). Toronto, Ontario, Canada: ACM. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557373>

van Huysduynen, H., de Valk, L., & Bekker, T. (2016). Tangible Play Objects: Influence of Different Combinations of Feedback Modalities. En Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (pp. 262–270). Eindhoven, Netherlands: ACM. <https://doi.org/10.1145/2839462.2839492>

Van Seters, J. R., Ossevoort, M. A., Trampler, J., & Goedhart, M. J. (2012). The influence of student characteristics on the use of adaptive e-learning material. *Computers and Education*, 58(3), 942–952.

Vaz, R., Fernandes, P. O., & Rocha, A. C. (2016). Proposal of a Tangible User Interface to Enhance Accessibility in Geological Exhibitions and the Experience of Museum Visitors. *Procedia Computer Science*, 100, 832–839.

Verish, C., Strawhacker, A., Bers, M., & Shaer, O. (2018). CRISPEE: A tangible gene editing platform for early childhood. En TEI 2018 - Proceedings of the 12th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (pp. 101–107). Stockholm: ACM. <https://doi.org/10.1145/3173225.3173277>

Zuckerman, O., Arida, S., & Resnick, M. (2005). Extending Tangible Interfaces for Education: Digital Montessori-inspired Manipulatives. En Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 859–868). Portland, Oregon, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/1054972.1055093>