

CETA

“Educación Tangible. Nuevas formas de interacción para el aprendizaje.”

FSED_2_2015_1_120888

Resumen

El presente proyecto tuvo como objetivo el desarrollo de un dispositivo de interacción tangible llamado CETA (Ceibal Tangible). Esta herramienta permite a los usuarios interactuar con tablets (distribuidas por CEIBAL) por medio de la manipulación de objetos reales (fichas de plástico).

Basándose en este esquema de interacción se desarrolló una aplicación, orientada a la estimulación cognitiva de las habilidades matemáticas (llamada BrUNO).

Con el objetivo de poner a prueba CETA y su aplicabilidad, se desarrolló un programa de intervención en la escuela orientado a estimular las habilidades matemáticas (cardinalidad a través de tareas de composición numérica). De la misma participaron 65 escolares de 1er año de escuela. Se tomaron medidas del desempeño en matemática de los alumnos antes y después del programa. Los resultados sugieren que existió un incremento mayor en la mejora en matemáticas de los niños que jugaron a CETA en comparación con aquellos que interactuaron directamente con la pantalla (touch-screen) y quienes no realizaron ninguna actividad adicional a las previstas en el programa de estudios de ese nivel. El dispositivo desarrollado se encuentra disponible en la página web del proyecto (www.ceta.edu.uy) para ser descargado, implementado y modificado por la comunidad de educadores y desarrolladores nacionales e internacionales.

Introducción

CETA es un proyecto que nace en el 2015 como una idea de un grupo de investigadores pertenecientes a la Universidad de la República, algunos de ellos vinculados a través del Centro Interdisciplinario en Cognición para la Educación y el Aprendizaje (cicea.ei.udelar.edu.uy). La idea que nucleaba al grupo era la de desarrollar un dispositivo de interacción tangible para tablets de Plan Ceibal, inspirado en desarrollos previos generados entre el Instituto de Computación de la Facultad de Ingeniería y el Centro de Investigación Básica en Psicología (cibpsi.psico.edu.uy) y en aplicaciones comerciales existentes.

La obtención de financiación proveniente de ANII y Fundación Ceibal a partir de 2016 permitió el desarrollo del dispositivo en el marco del proyecto “Educación Tangible. Nuevas formas de interacción para el aprendizaje.” (FSED_2_2015_1_120888). En 2017 se volvió a obtener financiación en una nueva convocatoria ANII-Ceibal (FSED_2_2016_1_131112) para un proyecto por el cual CETA se está adaptando a niños ciegos y con baja visión (“Tecnología para la inclusión. Nuevas herramientas para el aula en educación especial”).

Gracias a CETA, actualmente es posible poner en contacto métodos de enseñanza tradicional, que implican el empleo de objetos concretos, con la utilización de dispositivos tecnológicos que incorporan ventajas como la autonomía, capacidad de registro de acciones y la facilidad para motivar propia de los videojuegos.

Manipulables

Por manipulables nos referimos a objetos didácticos diseñados para el aprendizaje de ideas abstractas, frecuentemente en matemática o geometría. Éstos suelen tener formas simples (por ejemplo, esferas, cubos, prismas, etc.) o ser simplemente objetos comunes (como botones, tapas de botella o bolitas) dotados de cierto valor simbólico (representando un valor o incluso una operación) para ser empleados para ejemplificar relaciones abstractas que se buscan enseñar.

Tradicionalmente los manipulables han sido empleados en la Escuela, siendo los materiales Montessori y las regletas Cuisenaire los más difundidos. La filosofía de estas propuestas es la de brindar autonomía al estudiante, entendiendo que esta favorece la motivación y les hace más conscientes del proceso de aprendizaje. Recientemente el interés por los materiales concretos ha sido revivido a partir de metodologías como *Singapore Math* (Hoe, 2009) o el método CRA (Concrete–Representational–Abstract; Miller & Mercer, 1993; Sealander, Johnson, Lockwood & Medina, 2012), en los que se busca favorecer el aprendizaje de conceptos abstractos comenzando con representaciones concretas (Wilcox & Newman, 2014; Olympiou & Zacharias, 2013).

Interfaces de interacción Tangible (ITU)

Las ITU refieren a un tipo de interacción con computadoras en la que el usuario manipula objetos en vez de introducir valores con el teclado o clicar sobre iconos con un ratón. En la mayoría de los casos los desarrollos de ITU son lúdicos o experimentales, no existiendo un uso intensivo de estos recursos en el entorno laboral. Uno de los empleos más frecuentes de ITU es en aplicaciones con fines educativos. Por ejemplo, adaptando la interacción con un manipulable que puede ser registrada y puede devolver al niño un mensaje que apoye el proceso de aprendizaje en el que está inmerso (Antle, 2012, 2013).

Un punto débil de los manipulables clásicos que puede reconocerse es que, en general, no muestran información acerca de cómo y cuándo se mueven los objetos físicos. Es decir, no dejan una traza y no hay registro de su “estado representacional”. Así, a diferencia de otras representaciones como el papel, la manipulación de materiales físicos no proporciona ningún registro externo en el que examinar y reflexionar sobre la actividad anterior.

En este sentido las ITU son capaces de hacer frente a esta limitación, proporcionando los medios para registrar y acceder a estados representacionales anteriores. Además aportan feedback del desempeño y su nivel de dificultad es personalizado, variando con el desempeño del niño. Esto puede ser importante en áreas como las matemáticas, donde se hace posible visualizar tanto el proceso como el resultado de las operaciones. Por ejemplo, mediante la combinación de grupos de dos objetos con tres objetos, el resultado es un grupo de cinco objetos. A diferencia de los materiales físicos, los materiales virtuales son capaces de proporcionar un registro del estado inicial ($2 + 3$) y

el resultado (5), que puede ayudar a los niños reflexionar sobre esta transformación, reforzando su aprendizaje.

Desarrollos de ITU Educativos

Recientemente algunas investigaciones se han propuesto evaluar la eficacia de los manipulables incorporados en dispositivos computarizados con fines educativos. Por ejemplo, se ha encontrado ventajas para la adquisición del concepto de número (Desoete, Praet, Van de Velde, De Craene, & Hantson, 2016) que están en línea con los resultados preliminares de nuestro equipo.

En Uruguay no contamos con muchos antecedentes de este tipo de propuesta, más allá del propio CETA. Periscopio (Bonilla, Marichal, Armagno & Laurenzo, 2010), es uno de los desarrollos destacados. Esta aplicación permitía esquemas de interacción tangibles con objetos físicos colocados sobre la mesa, posibilitando la interacción con computadoras XO a niños con parálisis cerebral y déficit motrices severos.

Para el desarrollo de CETA se realizó una intensa revisión teórica repasando distintas habilidades cognitivas que contribuyen a la adquisición de la matemática formal y se evaluó su potencial para ser explotado dentro de un esquema de interacción tangible.

Fundamentos teóricos para la estimulación de habilidades matemáticas

Para el desarrollo del videojuego CETA se evaluó estimular una serie de habilidades que se consideran antecedentes relevantes para el aprendizaje de la matemática formal:

- Cardinalidad
- Reconocimiento de números
- Conteo
- Estimación de cantidades menores o iguales a cuatro unidades (*Subitizing*)
- Estimación de cantidades mayores a cuatro unidades (Sistema Numérico Aproximado o ANS en sus siglas en inglés)
- Agrupación
- Composición aditiva
- Comparación de cantidades
- Manejo de la línea numérica

A continuación se da cuenta de cómo estas habilidades pueden estimularse en el marco de las posibilidades de interacción que brinda CETA.

Cardinalidad

La cardinalidad es el conocimiento de que un conjunto contiene un número discreto y exacto de elementos y que este número puede identificarse y aplicarse a distintos conjuntos, sin importar el tipo de elementos en cuestión. Se trata de la propiedad más importante dentro del concepto de número porque implica comprender que este se compone de unidades, y que éstas a su vez pueden componer otros números (menores), o sumando nuevos elementos componer un conjunto más grande correspondiente a otro cardinal (mayor). Es así que da lugar a las reglas que van a definir a las operaciones de la

matemática formal (como la adición y sustracción). Por esta razón BrUno, el juego desarrollado para CETA tiene como objetivo central estimular el aprendizaje de este concepto.

En el caso de los niños que aprenden a contar, la cardinalidad coincide con el conocimiento de que el número de los elementos de un conjunto es el último número utilizado en la cuenta (Collerone, 2016). La ordinalidad se retroalimenta con la cardinalidad ya que esta última es la base lógica de la primera. Pero también porque el orden de los números se aprende (como un “cantito”) previo a la cardinalidad y le sirve de apoyo.

Reconocimiento de números en su expresión simbólica

(4=)

El reconocimiento de número permite el desarrollo de las operaciones simbólicas, habilidad que se relaciona con el dominio de la cardinalidad entendida como la capacidad de comprender que un conjunto tiene un número discreto y exacto de elementos que pueden representarse por medio de un símbolo. Este símbolo en su expresión oral o escrita es el número. Cuando los niños aprenden a reconocer símbolos numéricos (2-3 años) no necesariamente entienden su correspondencia con una cantidad exacta de elementos. Su significado completo lo alcanzan al comprender la cardinalidad.

En BrUNO alentamos la asociación simbólica en la medida que ésta se explicita cada vez que en el marco del juego, el número es presentado en su versión escrita o verbalizada expresando la magnitud compuesta por los niños por medio de los manipulables.

Conteo

Contar es esencial y un primer vínculo entre la capacidad innata del niño para percibir números y los cálculos matemáticos más avanzados (Collerone, 2016). Esta capacidad se basa en el conocimiento innato de la secuencia numérica ($n + 1$, $n-1$).

La habilidad de contar, de alguna manera, implica un pasaje desde la atención al conjunto hacia la atención del ítem individual. Además el conteo requiere la incorporación de reglas. Cada elemento contado se tiene que etiquetar secuencialmente y sin repetir (contar dos veces el mismo ítem) para lo cual el niño debe ejercitar la correspondencia uno

a uno (etiqueta-item). Además requiere conocimiento de la ordinalidad, es decir conocimiento del orden de los números. La última etiqueta asignada es el cardinal.

Desde el punto de vista de las ventajas aportadas desde lo manipulativo, el agarrar (o señalar) un objeto realza la individuación de ese objeto (atención focalizada / no del conjunto). Cuando observamos un ítem que vamos a individuar (etiquetar) podemos decir que lo “capturamos” visualmente. Cuando tenemos ocasión de agarrarlo reforzamos esa “captura atencional” a partir de la retroalimentación sensoriomotora, con lo cual el conteo se ve favorecido (Petersen & McNeil, 2013).

Estimación de cantidades menores a 4 unidades / *Subitizing*

El *subitizing* es el acceso inmediato a la cantidad de elementos de un conjunto sin la necesidad de contar. Es un acto analógico no intencional que permite una estimación numérica rápida y precisa (capacidad "para contar a simple vista") pero sólo para una cantidad máxima de seis elementos (Collerone, 2016) en adultos y 3-4 en niños pequeños.

La limitación en la estimación exacta se ha vinculado a limitaciones atencionales y de la memoria de trabajo. Cuando no podemos atender a todos los ítems de un conjunto de forma simultánea debemos acceder a ellos de forma serial. Para no perder la pista de cuantos ítems estamos considerando es que echamos mano al conteo. El conteo nos permite mantener una anotación actualizada de cuántos ítems hemos atendido y recordar ese valor por medio de la memoria de trabajo (bucle fonológico, cuando el conteo es verbalizado).

En los niños de 6 años la interacción con pequeñas cantidades es mucho más ágil que con cantidades que requieren conteo. Vemos aquí una oportunidad de ofrecer a los niños la posibilidad de interacciones fáciles (basadas en *subitizing*) -que los niños realicen con confianza- y que gradualmente se intercalen con el manejo de números mayores. Debe considerarse que los niños suelen desarrollar estrategias basadas en *subitizing* para componer números más grandes ($7 = 3+4$).

Para Ceta no desarrollamos una actividad específica para la estimación de pequeñas cantidades pero esta habilidad será requerida en muchas instancias en las que los niños deban escoger sus respuestas.

Estimación de cantidades mayores a cuatro unidades (ANS)

Como se expresaba más arriba, la capacidad del ser humano de determinar la cardinalidad de un conjunto de forma instantánea está limitada a conjuntos pequeños. Sin embargo somos capaces de reconocer conjuntos de elementos y tratarlos como una unidad aunque desconozcamos el número exacto de items que le componen. También somos capaces de determinar cuál de dos conjuntos de elementos es mayor sin necesidad de contar cuando la diferencia entre ambos es suficientemente notoria; lo que ha llevado a proponer la existencia de un sistema numérico aproximado (o analógico) (ANS por sus siglas en inglés; Dehaene, 2011). Sorprendentemente esta capacidad está presente en los niños de pocos meses (Feigenson, Dehaene & Spelke, 2004), por lo que se presume que se trata de una habilidad innata, que anticipa a la cardinalidad. Además también está presente en muchos animales (Hauser, 2000) por lo que se cree que se trata de una capacidad ontogenéticamente antigua.

Estudios en el tema han mostrado que la habilidad de estimar la cardinalidad analógicamente correlaciona con las habilidades matemáticas (Halberda, Mazocco, & Feigenson, 2008). Además se ha mostrado que el entrenamiento en tareas de estimación impacta positivamente en la habilidad matemática en la escuela (Halberda, Mazocco, & Feigenson, 2008).

Para CETA se ha evaluado el diseño de una tarea específicamente dedicada a estimular el ANS, sin embargo no se ha incluido en la primera versión del videojuego creado.

Agrupación

Agrupar es el acto de juntar elementos que tiene propiedades comunes, esto es crear conjuntos (por ejemplo, agrupar las piezas según alguna característica como el color). Esta actividad está íntimamente ligada con la capacidad de categorizar, la que aparece muy temprano; hay indicios de categorización a los 3-4 meses de vida (Ferry, Hespos & Waxman, 2010) y se vuelve más sofisticada luego del año (Bornstein & Arterberry, 2010).

Las actividades pensadas para CETA implican tareas implícitas de agrupación en la medida en que los niños deben brindar respuestas por medio de agrupamientos de fichas que representan cantidades. Concretamente la composición (ver apartado siguiente) es una

especie de agrupamiento en el que se hace énfasis en el valor simbólico de los elementos. Siendo que esta actividad estará presente en la mayoría de los juegos previstos no vemos razón para elaborar una tarea específica de agrupación.

Composición Aditiva

Se trata de una actividad clave que será especialmente explotada en el videojuego creado para CETA. Componer (y descomponer) números requiere del ejercicio de varias de las habilidades mencionadas más arriba, ya que necesita de la comprensión del concepto de número. Creemos que la propia cardinalidad se puede asentar por medio de la práctica de composición y descomposición; facilitando el “aprendizaje profundo del concepto”. En el marco de esta tarea también es posible apoyar la cardinalidad al resaltar las diferencias entre los números y concretamente en cuántas unidades se distinguen, favoreciendo la asimilación de la línea numérica.

La posibilidad de manipular las piezas (apartarlas en el espacio, realizar grupos de manera fluida) en las tareas de composición favorece el aprendizaje de los mecanismos para acceder a la cardinalidad (estimación: subitizing, ANS; y conteo). Es por esa razón que seleccionamos a la composición aditiva como la tarea clave para favorecer esta y las otras habilidades matemáticas. En particular la actividad se beneficiaría de la manipulación tangible dada la posibilidad de tratar tanto de forma individual como conjunta los distintos objetos / fichas en condiciones donde la carga cognitiva es reducida (la retroalimentación visomotora da lugar a una situación menos exigente que si el proceso se apoya más que nada en la visión).

Comparación de cantidades

Esta práctica fomenta la comprensión de que los conjuntos pueden variar en su cardinalidad y que esta diferencia puede traducirse en un valor exacto representado por un número. En la versión actual del videojuego no se incluyen tareas orientadas a la realización de esta actividad.

Conocimiento de Línea (recta) numérica

La línea numérica es una representación que expresa la ordinalidad de los números. Es decir, el hecho de que los números pueden ser ordenados -de forma creciente o

decreciente- en referencia a la magnitud de su cardinalidad. La línea numérica tiene la ventaja de hacer visible toda la ordenación y que unidades de distancia hay entre distintos números (por ejemplo hay 5 unidades entre el 7 y el 12). La línea numérica ayuda también a distinguir entre los distintos números - en su expresión simbólica- ya que se los ve por separado y siguiendo una relación acorde con el atributo que los distingue, su cardinalidad. Además dado que esta representación explícita las distancias entre los números se suelen realizar actividades de suma y resta sobre la línea numérica. Con esta actividad se refuerza la comprensión de la línea numérica al tiempo que se gana práctica en la composición y descomposición -reforzando también la cardinalidad.

En el videojuego creado, en la pantalla se incluye una línea numérica (una línea segmentada, como la que está presente en las reglas) que funciona como referencia de los desplazamientos (o transformaciones de un personaje), los cuales se producen a partir de los números ingresados por el niño a partir de la manipulación de fichas. Por ejemplo, si el personaje se debe mover 7 casillas a la derecha, lo hará desplazándose sobre la línea numérica, a partir de que el niño componga un conjunto de valor '7'.

Plan de trabajo

El plan de trabajo para el desarrollo de CETA y el videojuego BrUno puede dividirse en dos grandes fases. Una etapa de desarrollo y otra de evaluación.

Desarrollo

El desarrollo del dispositivo y el videojuego fue la etapa que requirió mayores esfuerzos y a la que se dedicó más tiempo. Esta etapa requirió el trabajo en la adaptación de las tablets y la creación de piezas de interacción para el videojuego.

Las decisiones en el proceso de diseño, tanto las referentes a la creación de las dinámicas de interacción como las relativas al videojuego, fueron realizadas considerando una intensa revisión bibliográfica (parte de la cual se explica en este documento) y la realización de talleres para discutir distintas posibilidades. Estos talleres incluyeron la participación de psicólogos, pedagogos, artistas, diseñadores y maestros. A partir de las discusiones que tuvieron lugar en estos encuentros se realizaron las definiciones necesarias para decidir la forma de adaptación de la tablet, el diseño de las piezas y la dinámica del videojuego.

Adaptación de la Tablet

En CETA, los usuarios interactúan con la tablet por medio de la manipulación de fichas que fueron especialmente diseñadas (similares a las del dominó o las regletas Cuisenaire). Estas piezas incorporaron en su cara superior marcadores que son reconocidos por un sistema de visión por computadora (SVC), que tiene como entrada la cámara frontal de la tablet. Para posibilitar la interacción se creó un soporte en el que se dispone la tablet de forma tal que esta quede en posición vertical. Además se anexó un espejo a la cámara para que su área de registro se direcciona hacia abajo. Es así que al pie de la tablet se crea un “área de detección”; es decir una zona dentro de la cual las piezas son registradas y reconocidas (ver video <https://youtu.be/2s5LRdgwuvM>).

Para ello, los investigadores de la EUCD trabajaron, en primera instancia, en el diseño de:

- 1) Soporte del Tablet, el cual determina el ángulo con el que se presenta la pantalla.
- 2) Espejo. Para este fin, se diseña una pieza en cuyo interior va inserto un espejo que refleja la imagen proyectada al pie del tablet (área de trabajo) a la cámara.

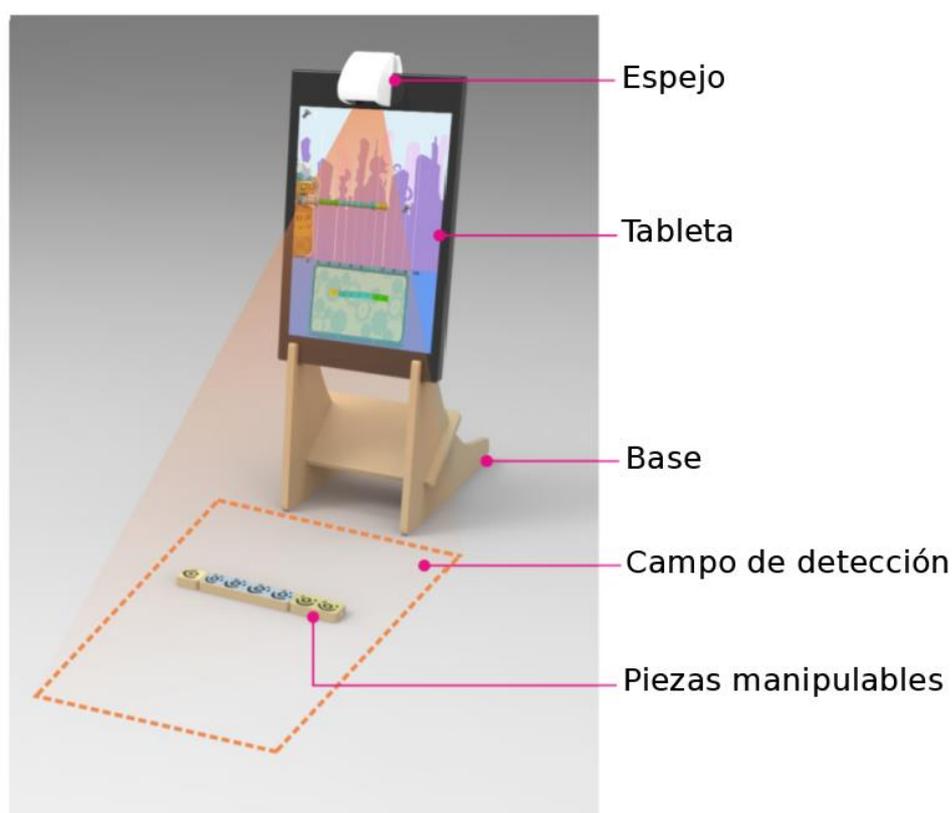


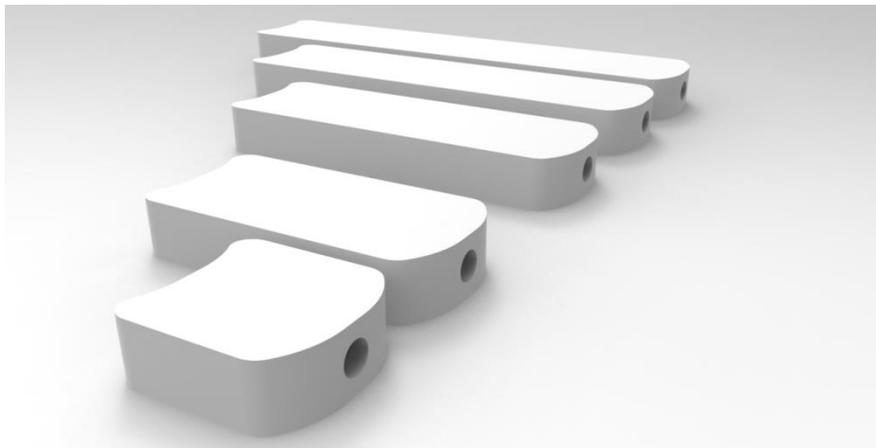
Figura 1. Esquema de dispositivo CETA. Tablet con espejo, base y piezas manipulables

Materiales de interacción. Piezas

La creación de los materiales de interacción requirieron del diseño de las piezas manipulables específicas que tengan en cuenta las características ergonómicas, biomecánicas y antropométricas de los niños. Se incluyen 5 tipos distintos de piezas en el rango 1-5. Estas piezas tienen aproximadamente 1,5 cm de ancho y 0.3 cm de ancho, mientras su largo varía de acuerdo a la magnitud que representan:

- La pieza de valor 1 es cuadrada, de modo que su largo es 1,5 cm.
- La pieza valor 2 duplica el largo (3 cm) y mantiene el resto de las proporciones.
- El resto de las piezas (3-5) aumentan su largo en relación directa con su magnitud.

Las piezas contienen imanes en dos de sus lados (opuestos) de modo que es posible acoplarlas entre sí. En ambas caras se han puesto imágenes rectangulares de colores, tantas como unidades representa la ficha (valor 1= un rectángulo de color; valor 3 = 3 rectángulos). Estas marcas resaltan la unidad a la que representan (las fichas de distintas magnitudes tendrán distintos colores). Además los niños pueden contar estas figuras para saber que unidad representan.



Se produjeron 30 sets completos de CETA mediante las impresoras 3D del Laboratorio de Diseño de la EUCD, Vidialab de FADU y del INCO de FING.

Desarrollo de software

Se desarrolló un sistema de visión por computadora y se programó un videojuego pensado para funcionar en un esquema de interacción tangible.

Sistema de visión por computadora.

Este componente es el que permite que las piezas sean reconocidas por la tablet. Está integrado por una tableta de bajo costo de Android, un espejo, un soporte y un conjunto de piezas que desempeñan el papel de manipulativos. Para "ver" y detectar los bloques, la cámara es redirigida a la mesa utilizando un espejo. Las piezas son convertidas en manipulables digitales a través de marcadores, que son reconocidos a través del uso de la biblioteca open source TopCode, que funciona en Android bajo condiciones de luz flexible.

Programación del Videojuego

Para desarrollar el videojuego fue usado el entorno de programación LibGDX (<https://libgdx.badlogicgames.com/>) Se optó por este *framework* sobre otras herramientas existentes para el desarrollo para dispositivos Android (como por ejemplo Andengine (<http://www.andengine.org/>) o Unity (<https://unity3d.com/es/>) por una buena performance sobre múltiples plataformas, buena documentación y una gran comunidad de desarrolladores activos (<https://www.slant.co/topics/1476/viewpoints/3/~2d-game-engines-for-android~libgdx>). Además es una herramienta gratuita y *open-source*. La API permite trabajar con texto, imágenes, reproducir audio, parsear archivos csv, como generar interfaces de usuario.

Integración de informática y diseño: Videojuego

La realización de CETA implicó la integración de los materiales diseñados y la programación informática para dar lugar a un esquema de interacción tangible. De este modo se creó un videojuego (BrUno) para el cual debió idearse una narrativa y una mecánica de juego y un esquema de progresión basado en niveles.

Narrativa del videojuego

El videojuego creado contó con una narrativa propia que fue desarrollado por los técnicos del equipo junto a los artistas de B-rOOts Studio. De este modo se creó una

historia en la que enmarcar las actividades lúdicas desarrolladas. Esta historia tiene lugar en un mundo imaginario poblado por personajes con los que esperamos que los usuarios se identifiquen. Es así que se presenta a los niños un personaje - un pequeño robot llamado BrUNO- que debe recuperar piezas mecánicas perdidas (tuercas, tornillos y arandelas). Los niños deben ayudar a BrUNO introduciendo el número exacto de pasos que debe recorrer el personaje para poder capturar cada pieza. Este número es introducido por medio de una interacción manual. Los niños deben poner “a la vista” de la tablet (introducir las fichas en el área de detección del sistema) una combinación de fichas acopladas que represente el número necesario. De este modo los niños realizan una tarea implícita de composición y descomposición numérica que favorece la adquisición de las reglas que definen la cardinalidad (Gelman & Gallistel, 1978). El diseño de las acciones que el videojuego requiere se basó en una rigurosa revisión teórica desde distintas disciplinas: teoría cognitiva y cognición numérica (Malofeeva, Day, Saco, Young, & Ciancio, 2004; Gelman & Gallistel, 1978; Dehaene, 2011), pedagogía del aprendizaje de matemáticas (i.e.: Faulkner & Cain, 2009), diseño de interacción (Antle & Wise, 2013; Manches & O’Malley, 2012) y directivas para el diseño de TICs educativas (Antle & Wise, 2013; Hoyles & Noss, 2009).

Mecánica del juego

El videojuego muestra al niño un personaje que se enfrenta al desafío de alcanzar premios que van apareciendo uno a la vez. La manera de capturarlos implica movimientos del personaje (desplazamiento, salto, crecimiento, estiramiento de brazo, etc.) que deberán ser precisos. (se incluirá una recta numérica en la base del “suelo” por el que transita el personaje, para brindar una referencia exacta). Por ejemplo a veces el personaje tiene que desplazarse cuatro casillas hacia adelante y para ello el usuario debe ingresar un valor igual a “4” (el modo de hacerlo es componiendo un conjunto de valor 4). La acción en pantalla resultante tiene una correspondencia directa con la acción realizada con las piezas (i.e: da 4 saltos o estira el brazo 4 unidades). Para reforzar el aprendizaje del número arábigo cada vez que el personaje introduce un conjunto nuevo en la pantalla se muestra el número que lo representa (siguiendo el ejemplo un “4”). De este modo se espera que el niño realice una actividad implícita de composición aditiva mientras juega con el personaje. Cada vez que se recoge un premio aparece un nuevo premio en otra ubicación. Esto exige una nueva respuesta del jugador, asociada a un valor numérico. El jugador puede entonces componer un nuevo conjunto, o bien transformar el conjunto compuesto en la acción anterior, quitando y agregando piezas.

Modalidades de representación del videojuego

El proceso de adquisición de número se concibió como el pasaje de una concepción concreta e intuitiva a una abstracta y simbólica (Feigenson, Libertus & Halberda 2013). Por esa razón se optó por modular gradualmente la relación entre los objetos manipulados y su representación en pantalla (Martin & Schwartz, 2005; Sealander, Johnson, Lockwood & Medina, 2012) desde una correspondencia analógica a una cada vez más abstracta.

La relación entre la representación concreta y en pantalla incluye distintos grados de abstracción:

- Relación directa: se intenta reproducir fielmente lo tangible en pantalla. Por ejemplo, cuando el usuario compone un conjunto de piezas en forma de tira horizontal. La pantalla muestra el conjunto con la misma disposición incluyendo la distinción entre las piezas que lo componen.



- Relación de tamaño. igual anterior pero sin distinguir entre las fichas componentes (por ejemplo: un conjunto compuesto por una ficha de 2 + una de 1 se ve igual que el acople de tres piezas de 1).



- Relación abstracta: En este caso no se reproduce en pantalla la composición realizada sino que es representada por medio de una acción de desplazamiento del personaje (salta, camina o vuela) que “equivale” al valor con el que se ha respondido.



Organización del juego (niveles, pantallas)

Al momento de organizar los distintos niveles y “pantallas” se consideran distintos niveles de complejidad detectados:

- Nivel de la representación (directa, tamaño o abstracta). Fundamental para controlar el pasaje de lo concreto a lo abstracto.
- Dificultad de la operación matemática (cuanto mayores los números, más difícil)
- Otras posibilidades para hacer más desafiante el juego (i.e.: presión temporal), lo cual es importante para la motivación y la jugabilidad.

Es a través de estas dimensiones que se estructura el juego con la intención de plantear un itinerario de juego que vaya de más fácil a más difícil. Para esto será necesario definir niveles para cada tipo de representación y dificultad o habrá combinaciones.



Nivel 2

Un nivel se divide en subniveles donde se desarrollan varias tareas de estimulación. Los subniveles se pueden repetir cambiando la complejidad de la tarea, a partir de las siguientes variables:

- Línea numérica visible (si o no) o solo los extremos (0 y 10 y niño tiene que estimar dónde está el premio) o cada 2 (0,2,6,8,10)
- El rango de números (0 a 10, 10 a 20,..)
- Cantidad de piezas con cual responde el niño (1 sola, 2, no importa, etc.)
- El premio en movimiento o quieto
- Velocidad del premio en movimiento
- Cantidad de premios recolectados para pasar a la siguiente pantalla

- La cantidad de chances para agarrar el premio en movimiento

Evaluación

El proceso de diseño contó con una serie de pruebas de usabilidad para que se visitaron escuelas con prototipos de CETA y BrUNO en distintas etapas de desarrollo.

Cuándo dispositivo y juego alcanzaron un nivel satisfactorio se produjo una intervención en la Escuela pública de Montevideo con la finalidad de evaluar viabilidad y eficacia de los desarrollos producidos.

Pruebas de Usabilidad

En el transcurso del desarrollo de CETA se realizaron distintas pruebas de usabilidad con prototipos de CETA y BRUNO. Sin embargo la primera prueba realizada fue con OSMO, una aplicación comercial creada para Ipad de Apple que es uno de los inspiradores de CETA.

Evaluación de OSMO

Se realizó una evaluación de usabilidad utilizando el dispositivo OSMO en dos grupos de primer año de escuela. Esta evaluación permitió observar la interacción de los usuarios meta del proyecto con un dispositivo de similar funcionamiento que CETA. Esto permitió detectar atributos favorables y potenciales inconvenientes, como ser la identificación del área de detección por parte de los usuarios -que en ocasiones no era correctamente percibida-, la disposición de elementos en la mesa y la interacción entre pares al momento de interactuar con OSMO.

Evaluación de prototipos de CETA

El desarrollo de CETA siguió lineamientos de diseño centrado en el usuario. Por esa razón se realizaron evaluaciones periódicas con prototipos con distintos grado de avance. Las primeras pruebas fueron realizadas sobre prototipos muy básicos que fueron presentados a los niños con el fin de comprobar que comprendían la mecánica de

interacción que se estaba comenzando a diseñar. Más adelante se fueron incorporando más funcionalidades al diseño, las que también fueron objeto de pruebas.

Para cada fase del desarrollo se llevó a cabo una evaluación de usabilidad mediante observación (directa e indirecta). Estas evaluaciones tuvieron como objetivo verificar parámetros ergonómicos de interacción con los prototipos, usabilidad de las piezas tangibles, así como evaluar motivación y entusiasmo con los dispositivos.

Las observaciones realizadas en cada instancia permitieron determinar los siguientes requisitos técnicos y de diseño, que luego serían incorporados en las siguientes iteraciones de diseño:

- dimensión y peso de las piezas
- incorporación de indicadores de lateralidad (polaridad de los imanes)
- altura del soporte
- espacio físico para dispositivo e interacción
- ángulo de inclinación de la pantalla
- armado y desarmado del dispositivo (situación de uso / no-uso)
- estabilidad del soporte

Diseño de piezas

- Qué tamaño es el más adecuado.
- ¿Usan los puntos dibujados en las piezas para avanzar en la tarea?
- ¿Los imanes facilitan la tarea?

Diseño del soporte

- A qué altura debería estar la tablet para que el niño vea bien la pantalla.

Área de interacción

- Cómo indicar el área de juego.
- ¿En una hoja marcando la posición el soporte y los límites de detección?

Tareas matemáticas

- ¿Las sumas de 1 a 10 les resultan demasiado fáciles?

Impresiones generales

- ¿Los niños entienden la tarea/las reglas?
- ¿Dónde los niños ubican las piezas. ¿Hacen un ordenamiento especial (por ejemplo contra el soporte)?
- ¿Qué les gustó más/menos?

Las conclusiones de estas evaluaciones fueron insumos para la mejora de los sucesivos prototipos de CETA y BrUno.

Evaluación de mejoras en matemáticas

Una vez se alcanzó una versión completa del dispositivo y el videojuego se realizó una actividad de evaluación más intensiva que incluyó la intervención en una escuela y la realización de pruebas matemáticas estandarizadas. La intervención que duró un mes y medio consistió en la realización de una prueba matemática individualizada a los alumnos de 3 clases de primer año; la realización de prácticas diarias de 25 minutos durante 20 días en dos de los tres grupos (3 grupos: grupo experimental, grupo control activo, grupo control pasivo); y la realización de una segunda prueba matemática. Los resultados arrojaron mejoría en las tres clases, constatándose un incremento mayor en el grupo experimental (usuarios de CETA).

El esquema de la intervención fue el siguiente:

Primero se realizó una prueba matemática anterior a la intervención (Pre). Luego se llevó adelante la intervención que implicó la práctica diaria (25 min.) de niños de primer año de escuela con el videojuego Bruno. Finalmente se volvió a realizar la prueba de matemáticas (Post) para comparar el posible impacto del juego en el aprendizaje. Con la finalidad de aislar el efecto del grupo se incluyeron dos grupos control que fueron evaluados al mismo tiempo que nuestro grupo experimental (compuesto por los niños que jugaron con BrUno y CETA). Estos grupos de control fueron activo (jugaron a BrUno en una versión tablet, sin manipulables) y pasivo (no realizaron ninguna actividad adicional).

Participantes

Tres grupos de primer año de una escuela pública de quintil 5 de Montevideo:

1. Grupo Experimental - Tablet y CETA (24 niños - 6,08 años)
2. Grupo Control Activo - Tablet (20 niños - 6,1 años)
3. Grupo Control Pasivo - Sin tablet (21 niños - 5,95 años)

Análisis

La prueba matemática se basó en el empleo del instrumento para medir habilidad matemática TEMA-3. Se trata de una herramienta desarrollada por Ginsburg y Baroody (2003) que permite evaluar una amplia gama de habilidades matemáticas en niños de 3 a 8 años de edad. Se centra en evaluar matemática formal, como lo es la lectura de números simbólicos, cálculo, hecho numéricos, y la matemática informal, numeración, comparación de cantidades, etc. Además, esta prueba evalúa las habilidades de niños tomando en cuenta la edad de estos como punto de comienzo, por lo cual los participantes realizaron en su mayoría la sección de 6 años de edad.

Se decidió utilizar esta herramienta ya que permite observar posibles cambios en las habilidades matemáticas de la muestra y controlar en mayor medida que los grupos sean comparables al finalizar la intervención.

La diferencia entre el promedio de las puntuaciones de TEMA-3 en las pruebas Pre y Post fue empleada como variable dependiente, en tanto la variable manipulada fue la actividad de estimulación realizada (con CETA y sin CETA) o no. De modo que se observó la magnitud de la mejora en matemáticas en cada uno de los grupos.

Resultados de puntuación directa (TEMA-3)

Los resultados directos nos mostraron una mejora en todos los grupos, como es de esperarse en los primeros meses de la escuela, confirmado con una prueba t ($p < 0.5$).

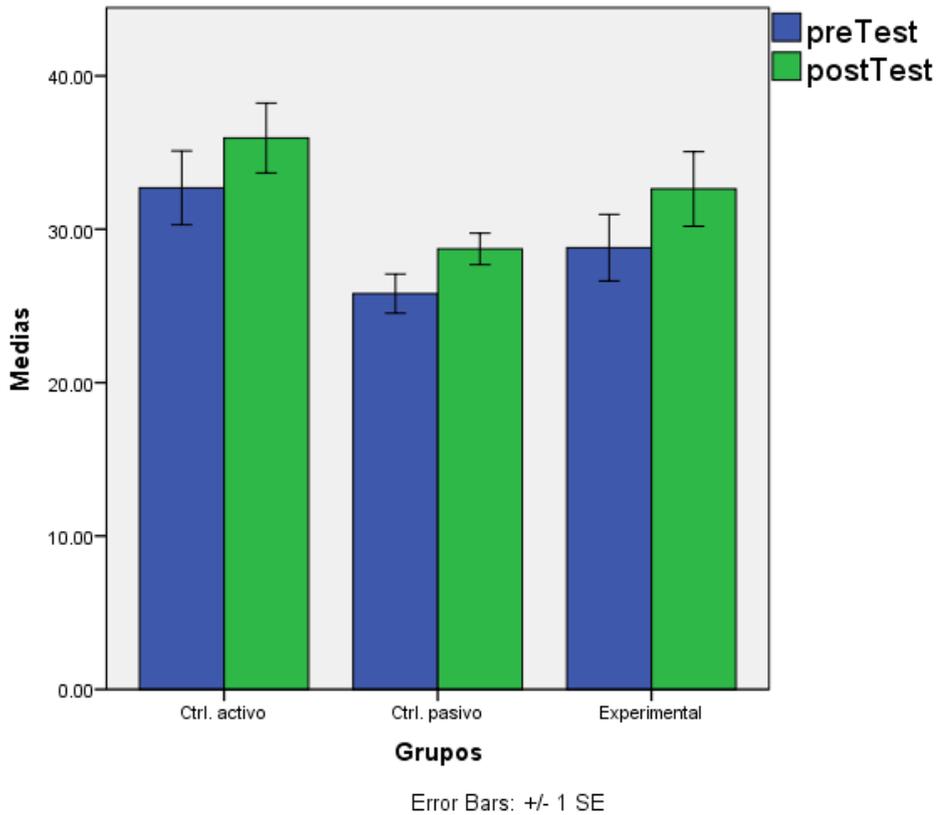


Figura 2. Media de puntaje de TEMA- 3 de grupo pasivo, control y experimental pre-evaluación (azul) y post-evaluación (verde).

		diferencia		
		Count	Mean	Standard Error of Mean
Grupo	Ctrl. activo	20	3.25	.80
	Ctrl. pasivo	21	2.90	.78
	Experimental	24	3.83	.83

Tabla 1. Diferencia Post-Evaluación menos Pre-evaluación, media y desviación estándar de grupo pasivo, control y experimental.

Se pudo observar una diferencia mayor entre las puntuaciones pre y post del grupo experimental en relación a los otros dos grupos (ver tabla 1). Para confirmar estos resultados estadísticamente se realizó un test ANOVA (tres grupos x dos evaluaciones) la cual dio no significativa ($p > 0.5$). De modo que no estamos en condiciones de afirmar que la práctica con CETA y BrUno haya impactado en un mayor mejora relativa. Es probable que esta falta de significación dependa del tamaño reducido de la muestra empleada.

Para realizar un análisis más exhaustivo se analizaron las preguntas de TEMA-3 que

responden al rango de edad 6 a 7 años. Nos encontramos con que las preguntas 21 y 35, que se enfocan en cuestionar la habilidad del niño respecto a la línea numérica mental, fueron en las que se dio mayor variación entre pre-evaluación y post-evaluación en el grupo experimental. Se realizó un test ANOVA nuevamente, solo tomando en cuenta estas dos preguntas y dio no significativo ($p > 0.5$).

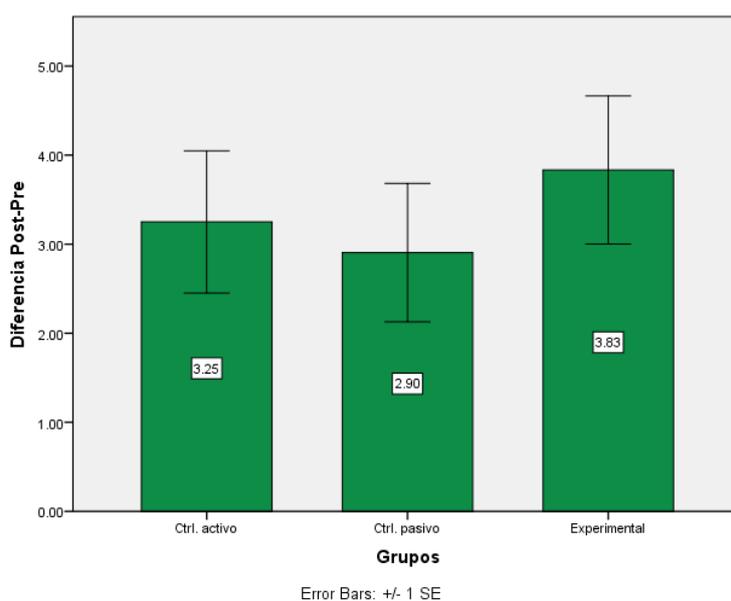


Figura 3. Diferencia Post-Evaluación menos Pre-evaluación de grupo pasivo, experimental y activo

Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA: tres grupos x dos tomas de datos) para averiguar si la diferencia en la mejora (pre-post) está modulada por el factor grupo. Los resultados no fueron significativos ($p > 0.5$).

En definitiva se observaron tendencias que hablan de un impacto positivo de nuestra dispositivo pero será necesario el desarrollo de pruebas más extensas para comprobar definitivamente la eficacia de CETA y BrUno en la estimulación de la cardinalidad. Nuestro grupo de investigación aspira a realizar investigaciones específicas dedicadas a comprobar estos efectos empleando muestras más amplias.

Resultados Finales

Los principales resultados obtenidos por el proyecto se vinculan a la realización del dispositivo CETA y el videojuego creado para funcionar con este. El desarrollo del dispositivo implicó la elaboración de una serie de piezas, que fueron producidas con métodos de fabricación digital (impresión 3D), y un software de reconocimiento basado en un sistema de visión por computadora (SVC).

El videojuego BrUNO, fue creado en base a una intensa revisión de literatura en desarrollo cognitivo a cargo de especialistas. Al momento de la ideación del juego se recurrió a talleres con educadores, diseñadores y artistas cuyos informes son un valioso producto del proyecto.

Durante el proceso de diseño se realizaron actividades de evaluación en escuelas públicas de Montevideo lo que dio a lugar informes de usabilidad que fueron insumos para las sucesivas etapas de desarrollo de CETA y de Bruno.

El prototipo fue evaluado a través de una intervención en la escuela pública de Montevideo, de un mes y medio de duración. Los resultados mostraron posibles beneficios de la práctica con Bruno en el aprendizaje de matemáticas.

Se produjo un artículo científico acerca del desarrollo del prototipo de CETA escrito en colaboración con investigadores de la Universidad Pompeu Fabra de Barcelona que fue presentado en una conferencia en Austria (Marichal S, Rosales A, Gonzalez F, Pires AC, Bakala E, Sansone G, Blat J. CETA: designing mixed-reality tangible interaction to enhance mathematical learning. Paper presented at: MobileHCI 2017. 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services; 2017 Sep 4-7; Vienna, Austria.). En esta conferencia (International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services) se realizó una presentación oral y se brindó una demostración del dispositivo. Esta presentación obtuvo una de las 5 menciones de honor entregadas en el evento.

Un elemento valioso a destacar es la web del proyecto (ceta.edu.uy) dedicada a difundir la iniciativa y también brindar la posibilidad de bajar el videojuego (que al ser de

código abierto puede ser modificado) y los archivos que hacen posible la impresión de las piezas de CETA.

Bibliografía

Antle, A.N. (2013). Exploring how children use their hands to think: An embodied interactional analysis, *Behaviour and Information Technology*, 32, 9, 938-954.
DOI:10.1080/0144929X.2011.630415.

Antle, A. N. (2012, October). Knowledge gaps in hands-on tangible interaction research. In *Proceedings of the 14th ACM international conference on Multimodal interaction* (pp. 233-240). ACM.

Antle, A. N., & Wise, A. F. (2013). Getting down to details: Using learning theory to inform tangibles research and design for children. *Interacting with Computers*, 25(1), 1-20. education. Science, 340(6130), 305–308.

Bornstein, M. H., & Arterberry, M. E. (2010). The development of object categorization in young children: Hierarchical inclusiveness, age, perceptual attribute, and group versus individual analyses. *Developmental psychology*, 46(2), 350.

Dehaene, S. (2011). *The Number Sense: How the Mind Creates Mathematics*. Oxford

Desoete, A., Praet, M., Van de Velde, C., De Craene, B., & Hantson, E. (2016). Enhancing mathematical skills through interventions with virtual manipulatives. In *International perspectives on teaching and learning mathematics with virtual manipulatives* (pp. 171-187). Springer International Publishing.

Gelman, R., & Gallistel, C. (1978). Young children's understanding of numbers. *Child development*, 71(1), 231-239.

Faulkner, V. N., & Cain, C. (2009). The components of number sense: An instructional model for teachers. *Teaching Exceptional Children*, 41(5), 24-30.

Feigenson, L., Libertus, M. E., & Halberda, J. (2013). Links between the intuitive sense of number and formal mathematics ability. *Child development perspectives*, 7(2), 74-79.

Ferry, A. L., Hespos, S. J., & Waxman, S. R. (2010). Categorization in 3- and 4- month- old infants: an advantage of words over tones. *Child development*, 81(2), 472-479.

Halberda, J., Mazocco, M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, 455(7213), 665-668.

Hauser, M.D. et al. (2000) Spontaneous number representation in semi-free-ranging rhesus monkeys. *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 267, 829 – 833

Hoyles, C., & Noss, R. (2009). The technological mediation of mathematics and its learning. *Human development*, 52(2), 129-147.

Ladel, S., & Kortenkamp, U. (2016). Artifact-Centric Activity Theory—A framework for the analysis of the design and use of virtual manipulatives. In *International Perspectives on Teaching and Learning Mathematics with Virtual Manipulatives* (pp. 25-40). Springer International Publishing.

Malofeeva, E., Day, J., Saco, X., Young, L., & Ciancio, D. (2004). Construction and Evaluation of a Number Sense Test With Head Start Children. *Journal of Educational Psychology*, 96(4), 648.

Manches, A., & O'Malley, C. (2012). Tangibles for learning: a representational analysis of physical manipulation. *Personal and Ubiquitous Computing*, 16(4), 405-419.

Marichal, S., Rosales, A., González Perilli, F., Pires, A. C., Bakala, E., Sansone, G., & Blat, J. (2017). CETA: designing mixed-reality tangible interaction to enhance mathematical learning. In *MobileHCI 2017. 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services; 2017 Sep 4-7; Vienna, Austria.. ACM Association for Computer Machinery.*

Marichal, S., Rosales, A., Sansone, G., Pires, A. C., Bakala, E., Perilli, F. G., & Blat, J. (2017, September). CETA: open, affordable and portable mixed-reality environment for low-cost tablets. In *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (p. 47). ACM.

Martin, T., & Schwartz, D. L. (2005). Physically distributed learning: Adapting and reinterpreting physical environments in the development of fraction concepts. *Cognitive science*, 29(4), 587-625.

Miller, S. P., & Mercer, C. D. (1993). Using data to learn concrete-semiconcrete-abstract instruction for students with math disabilities. *Learning Disabilities Research & Practice*.

Petersen, L. A., & McNeil, N. M. (2013). Effects of perceptually rich manipulatives on preschoolers' counting performance: Established knowledge counts. *Child development*, 84(3), 1020-1033.

Sealander, K. A., Johnson, G. R., Lockwood, A. B., & Medina, C. M. (2012). Concrete–semiconcrete–abstract (CSA) instruction: A decision rule for improving instructional efficacy. *Assessment for Effective Intervention*, 38(1), 53-65.

Willox, L. M., & Newman, S. C. (2014). Cracking the Codes of Number Relationships. *Illinois Mathematics Teacher*, 62(1), 15-20.

Instituciones que colaboraron

- Sección de Teoría de la Comunicación, Facultad de Información y Comunicación - UdelaR
- Centro de Investigación Básica en Psicología, Facultad de Psicología - UdelaR
- Escuela Universitaria Centro de Diseño, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo - UdelaR
- Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería – UdelaR
- Grupo de Tecnologías Interactivas, Universidad Pompeu Fabra, Barcelona.

Autores y breve reseña profesional

Rita Susana SORIA GONZÁLEZ

Licenciada en Artes Plásticas y visuales. Magister en Diseño. Es profesora Adjunta del Laboratorio de Evaluación Ergonómica y Experiencia de Usuario de la Escuela Universitaria Centro de Diseño (FADU - UdelaR) y Docente de la Escuela Nacional de Bellas Artes. Realiza actividades de investigación en Diseño, fundamentalmente desde una perspectiva ergonómica. Especializada en técnicas de evaluación a través de experiencia de usuario, técnicas de medición Antropométrica y técnicas de diseño centrado en el usuario y co-diseño,

María PASCALE

Ingeniera Industrial y Diseñadora Teatral. Profesora Adjunta del Laboratorio de Evaluación Ergonómica y Experiencia de Usuario de la Escuela Universitaria Centro de Diseño (FADU - UdelaR). Actualmente cursando máster en Ingeniería del Diseño en la Universidad Politécnica de Valencia (España).

Gustavo SANSONE D'AMORE

Estudiante Diseño Industrial y Ayudante del curso Análisis de Experiencia de Usuario en la EUCD (FADU - Udelar). Actualmente desarrollando tesis titulada "Aportes al desarrollo de

dispositivos para interacción tangible en espacio próximo”. Capacitado en informática se desempeña como técnico y diseñador web en la Escuela Universitaria de Música.

Bruno FLEISCHER

Estudiante de Psicología elaborando tesis de egreso. Experiencia en distintos proyectos de investigación y desarrollo principalmente en el campo de la Psicología del infantil. Está especializado en la evaluación con niños.

Actualmente se capacita en informática en la Universidad ORT y se orienta al vínculo entre tecnologías de la Información y la Comunicación y el campo educativo.

Federico PUIG

Licenciado en Psicología por la Universidad de la República. Ha participado en investigaciones acerca del desarrollo infantil incluyendo intervenciones educativas. Cuenta con experiencia en actividades de evaluación infantil.

Es actor y director teatral, habiendo obtenido distintos premios y distinciones.

Actualmente cursa la Maestría en Ciencias Cognitivas de la Universidad de la República.

Fernando GONZÁLEZ PERILLI

Licenciado en Ciencias de la Comunicación, Máster y Doctorado en Percepción, Comunicación y Tiempo por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB). Es docente del Sección de Teoría de la Comunicación de la Facultad de Información y Comunicación de la Universidad de la República. Además es investigador del Centro de Investigación Básica en Psicología y miembro del Centro Interdisciplinario en Cognición para la Educación y el Aprendizaje.

Interesado en Percepción y Cognición y su impacto en el fenómeno comunicacional. Se ha especializado en cognición encarnada y más recientemente en los empleos aplicados de la Ciencia Cognitiva, especialmente en el campo educativo.

Es parte del Sistema Nacional de Investigadores, catalogado como Nivel I.

Ana Cristina PIRES

Licenciada en Psicología, con Máster y Doctorado en Psicología de la Percepción, Comunicación y Tiempo por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB). Actualmente es docente y investigadora del Centro de Investigación Básica en Psicología (CIBPsi) en la Facultad de de la Universidad de la República. Su investigación se ha centrado en aportar datos conductuales de humanos, principalmente mediante técnicas psicofísicas, para un avance del conocimiento del sistema visual y cognitivo que afecta varias áreas científicas, como la psicología básica y experimental, educación, neurobiología, neurociencia, entre otras. Su interés principal es conocer cómo se adquieren estas habilidades cognitivas durante la infancia, y cómo entrenarlas para potenciar el rendimiento escolar. Con este fin, crean y desarrollan juegos educativos infantiles para plataformas digitales.

Ewelina BAKALA

Bachelor of Science en bioinformática de la Freie Universitat de Berlín, Alemania, actualmente en la fase final de la Maestría en Informática (UDELAR-PEDECIBA). En su investigación busca nuevas formas de interacción hombre-máquina para crear espacios interactivos con diversos fines - para estimular el aprendizaje, visualizar conocimiento de forma accesible y atractiva para el usuario, como para crear espacios lúdicos e inmersivos con fines artísticos.

Sebastián Roberto MARICHAL BARÁIBAR

Ingeniero en computación egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. Realizó un máster de Sistemas cognitivos y multimedia interactiva en la Universidad Pompeu Fabra (UPF), Barcelona, España.

Actualmente se encuentra realizando el doctorado en la UPF y su investigación es acerca de la creación de herramientas y guías de diseño para sistemas tangibles y de realidad mixta. Su principal interés radica en determinar de qué manera impactan las acciones físicas con sistema interactivos en la experiencia de usuario y procesos de aprendizaje, transformando este conocimiento en guías de diseño para diseñadores de interacción.

Licenciamiento

Todo el software desarrollado se licenció con General Public License 3.0, para permitir que el código permanezca abierto, dando libertad de usar el programa, adaptarlo a las necesidades, distribuir copias, estudiar el funcionamiento del mismo, y de hacer pública cualquier mejora que se realice en el mismo.

Además, el hardware desarrollado por el equipo, el dispositivo CETA propiamente (Base, espejo) y las piezas para jugar a BrUNO (manipulables) se licenció con CC BY-NC-SA 4.0, la cual permite la adaptación y copia del mismo, así como su distribución y uso.