

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Comunicación y Artes Contemporáneas**

**Recovity, juego con realidad aumentada tangible  
basada en interfaces mixtas físico-virtual sobre  
elementos de juego no convencionales.**

**Propuesta Tecnológica**

**Christian David Almeida Lara**

**Interactividad y Multimedia**

Trabajo de titulación presentado como requisito

para la obtención del título de

Licenciado en Interactividad y Multimedia

Quito, 16 de diciembre de 2016

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ  
COLEGIO DE COMUNICACIÓN Y ARTES  
CONTEMPORANEAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Recovity, juego con realidad aumentada tangible basada en interfaces mixtas físico-virtual sobre elementos de juego no convencionales.

**Christian David Almeida Lara**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico      Sebastián Hernández, M.Sc. Game Design and  
Development

Firma del profesor

\_\_\_\_\_

Quito, 16 de diciembre de 2016

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Christian David Almeida Lara

Código: 00112145

Cédula de Identidad: 0201996980

Lugar y fecha: Quito, diciembre de 2016

## RESUMEN

El desarrollo de técnicas avanzadas de Realidad Aumentada ha generado oportunidades de experimentar con nuevas formas de interacción, mediante la manipulación de objetos físicos y elementos virtuales. Aplicando estas técnicas, desarrollé *Recovity*, un juego de rompecabezas que busca demostrar cómo el diseño de juegos puede crear una interacción intuitiva por medio de la combinación de Realidad Aumentada e interfaces tangibles.

**Palabras clave:** interfaz, realidad aumentada, interfaz de usuario tangible, elementos virtuales, interacción, intuitivo, manipulación física, jugabilidad, experiencia, rompecabezas, marcadores

## ABSTRACT

The development of advanced Augmented Reality techniques has derived in opportunities to experiment with new forms of interaction, by combining physical object manipulation and virtual elements. By applying these techniques, I developed *Recovity*, a puzzle game that seeks to demonstrate how game design can encourage intuitive interaction by combining Augmented Reality and tangible interfaces.

**Keywords:** interface, augmented reality, tangible user interface, virtual elements, interaction, intuitive, physical manipulation, gameplay, experience, puzzle, markers

## TABLA DE CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Antecedentes.....</b>                         | <b>8</b>  |
| <b>Desarrollo del Tema .....</b>                 | <b>12</b> |
| <b>Postmortem.....</b>                           | <b>14</b> |
| <b>Conclusiones .....</b>                        | <b>18</b> |
| <b>Referencias bibliográficas .....</b>          | <b>22</b> |
| <b>Anexo A: Pantallas y Escenarios .....</b>     | <b>24</b> |
| <b>Anexo B: Diseño en Papel.....</b>             | <b>29</b> |
| <b>Anexo C: Elementos y Características.....</b> | <b>31</b> |
| <b>Anexo D: Pruebas de Usuario.....</b>          | <b>34</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 1. LevelHead y su Interacción Tangible en AR.....</b>                                   | <b>10</b> |
| <b>Figura 2. Koski, juego de construcción de bloques con realidad aumentada tangible.....</b>     | <b>11</b> |
| <b>Figura 3. Recovity, juego puzzle con realidad aumentada tangible.....</b>                      | <b>13</b> |
| <b>Figura 4. Tipos de marcadores que Vuforia puede detectar.....</b>                              | <b>14</b> |
| <b>Figura 5. Marcador con sus puntos de detección calculados por el algoritmo de Vuforia.....</b> | <b>15</b> |
| <b>Figura 6. Máquina de Estados implementada en Recovity.....</b>                                 | <b>16</b> |
| <b>Figura 7. Vuforia, Botones Virtuales que cambian de color el modelo 3D.....</b>                | <b>17</b> |
| <b>Figura 8. Proceso de Diseño Iterativo.....</b>   | <b>17</b> |
| <b>Figura 9. Ejemplo de Curva de Interés de Jesse Schell .....</b>                                | <b>20</b> |
| <b>Figura 10. Estructura Lúdica como Mecanismo Motivacional.....</b>                              | <b>21</b> |

# **RECOVITY, JUEGO CON REALIDAD AUMENTADA TANGIBLE BASADA EN INTERFACES MIXTAS FÍSICO-VIRTUAL SOBRE ELEMENTOS DE JUEGO NO CONVENCIONALES.**

## **ANTECEDENTES**

*“Necesitamos estar encendidos de creatividad”*  
Durgan A. Nallar

La realidad aumentada (AR) es una tecnología que permite combinar elementos virtuales con elementos tangibles del mundo real, y además posibilita la interacción en tiempo real con los mismos (Billinghurst, M., et al, 2009). Su aplicación tiene una trayectoria de alrededor de 40 años en campos como educación, medicina, publicidad, arquitectura y diseño de juegos, tiempo a lo largo del cual se desarrollaron las relaciones, principios y métodos que constituyen las mejores prácticas al diseñar aplicaciones en AR (Zhou F. et al, 2008). Estas prácticas permiten la creación de experiencias directas e intuitivas, que envuelven al usuario en un mundo donde los elementos virtuales y físicos están íntimamente relacionados. El objetivo es incluir a las interfaces virtuales y físicas no como elementos separados, sino más bien medios comprendidos en forma y función como parte del usuario, de su experiencia, e idealmente de su completa inmersión (Kato, H., et al, 2000).

Diseñar una aplicación AR que adopte estos principios implica utilizar técnicas de interacción de otro tipo de interfaces, que sustenten el perfeccionamiento de modelos y metáforas consistentes, para que todo el sistema sea coherente y fácil de comprender

(Billinghurst, M., et al, 2009). Típicamente, el diseño de interfaces ha sido dictado por el tipo de hardware disponible, como el mouse, el teclado, el joystick, la rueda del iPod, etc. Cada uno de estos dispositivos permiten distintas interacciones y a su vez generan retroalimentación visible en la pantalla (Alger, M., 2015). La realidad aumentada asocia modelos virtuales en tres dimensiones con los objetos físicos, principalmente por medio de técnicas de seguimiento basadas en la visión computarizada. Como Ishii dijo: *“el campo de la AR se ha ocupado principalmente de considerar los aumentos o mejoras puramente visuales”* (1998). La AR utiliza una cámara para detectar un objeto real y calcular la posición del observador virtual en relación a éste, reconociendo la distancia a la que se encuentra, para luego establecer los elementos virtuales sobre las características de espacio-forma del objeto físico detectado (Zhou F. et al, 2008).

La manipulación física de los objetos proporciona una forma muy intuitiva de interactuar con el contenido virtual. El ejemplo más común es el manejo del mouse: dada la relación cursor-mouse en base a coordenadas 2D sobre la pantalla, el usuario utiliza el hardware físico para manipular sistemas virtuales presentes en la computadora a través de acciones como “presionar,” “abrir,” “arrastrar,” etc.

Hiroshi Ishii introdujo el concepto de Interfaces de Usuario Tangibles (TUI): *“interfaces donde los usuarios pueden manipular información digital a través de objetos físicos”* (1998). Ishii expresa lo poderosas que estas interfaces que pueden llegar a ser, principalmente porque los objetos físicos tienen las propiedades de ser familiares, poseer restricciones físicas inherentes, y affordance: la propiedad del objeto de sugerir su uso de forma intuitiva. Esto hace que las TUIs sean muy fáciles de utilizar (Zhou F. et al, 2008).

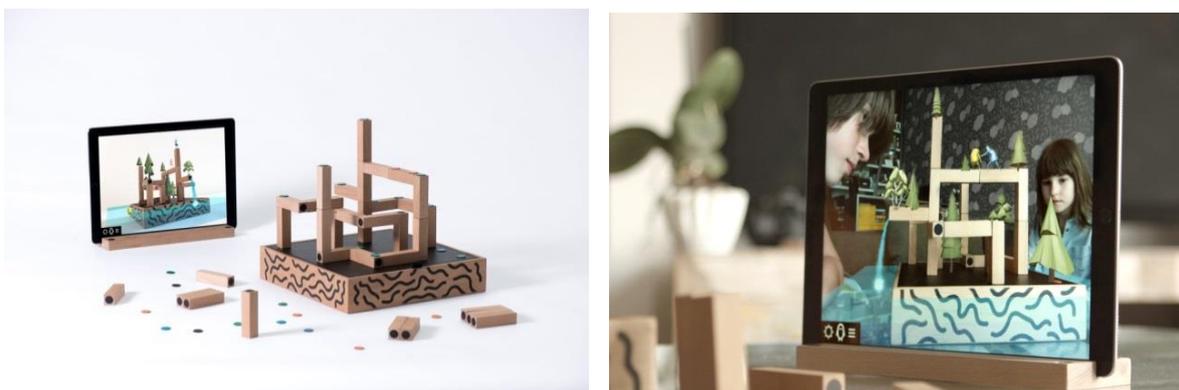
El concepto de una interfaz tangible se puede aplicar a la Realidad Aumentada, lo que nos brinda la posibilidad de desarrollar nuevas técnicas de interacción que permitan que las personas perciban la tecnología de AR como algo más común e intuitivo.

A lo largo de los años, distintos equipos han desarrollado prototipos experimentales para comprender los límites y posibilidades de la Realidad Aumentada, llegando a percibir la necesidad de nuevos métodos de interacción a través de medios físicos. Uno de los proyectos más destacados en combinar las Interfaces de Usuario Tangible con AR es *LevelHead* (Fig. 1), un juego de memoria espacial desarrollado por Julian Oliver a principios del 2008. *LevelHead* utiliza cubos físicos de plástico como su única interfaz manipulable, los cuales son utilizados como marcadores visuales para dibujar un laberinto, definido por espacios virtuales en 3D conectados por puertas. El juego se compone de tres niveles. Cada nivel está representado por un cubo distinto. Los jugadores deben mover el personaje de una habitación a otra y de un cubo a otro para encontrar la salida del laberinto. El personaje puede moverse a través de la inclinación física del cubo, la cual acciona al personaje virtual a caminar en la dirección indicada.



**Fig. 1** - *LevelHead* y su interacción Tangible en AR

La compañía *deForm Studio* se encuentra desarrollando *Koski* (Fig. 2), un juego de mesa que conecta los mundos físico y virtual a través de una mecánica de juego innovadora. El jugador utiliza bloques de madera y fichas de colores, para construir e interactuar con los mundos y personajes mostrados a través de un iPad, el cual actúa como un “espejo mágico.” El jugador tiene la posibilidad de alterar el mundo que está en la pantalla a través de la manipulación de los objetos físicos. Cada bloque representa diferentes objetos, con características y comportamientos que afectan a los componentes de juego sin la necesidad de tocar el iPad. *“Koski es como Lego con realidad aumentada, pero más divertido de lo que suena.”* (Singleton, M., 2016)



**Fig. 2** – *Koski, juego de construcción de bloques con realidad aumentada tangible*

Estos proyectos han impulsado la AR mediante el diseño de interfaces tangibles, logrando establecer una conexión entre el mundo físico y el contenido virtual. El resultado es una nueva metáfora de interfaz que combina la visualización mejorada por la Realidad Aumentada con la manipulación física intuitiva de las Interfaces de Usuario Tangibles. Esta combinación puede denominarse como Realidad Aumentada Tangible, y busca presentar interfaces intuitivas mediante la manipulación de objetos físicos para realizar acciones sobre objetos virtuales (Billinghurst, M., et al, 2009).

Al observar cómo estos proyectos resolvieron sus problemas de diseño de interfaces, podemos concluir que la Realidad Aumentada Tangible puede aplicarse bien

en el diseño de juegos. La jugabilidad, entendida como una acción lúdica producida por los desafíos y objetivos del juego, genera experiencias agradables y orgánicas (Durgan, A, 2015). Las interfaces de Realidad Aumentada Tangibles nos permiten enriquecer la jugabilidad al adaptar acciones naturales usadas en la vida cotidiana para realizar las acciones significativas dentro del entorno virtual de juego.

## DESARROLLO

Decidí diseñar un juego de *Puzzle* (rompecabezas) utilizando una interfaz de Realidad Aumentada Tangible, llamado *Recovity* (Fig. 3), con el objetivo de entender cómo el diseño de juegos puede dar estructura a las relaciones entre los elementos físicos y virtuales planteados. Para ello, tuve que diseñar una interfaz (Anexo A) capaz de representar intuitivamente las acciones y objetivos del juego. Utilicé el sistema Google Carboard (Google, 2016) como montura de visión para un dispositivo móvil, lo cual me permitió dar al usuario la libertad de usar las manos para manipular la interfaz física, y adopté algunas convenciones preexistentes de las interfaces de Realidad Virtual, como por ejemplo un cursor fijo en el centro del campo visual del jugador, el cual se usó para interactuar con algunos de los elementos virtuales sobrepuestos a la interfaz física (Sherman y Craig, 2003).

Los *Puzzles* son un tipo de juego de estrategia dominante: generalmente tienen una sola solución correcta. *“Una estrategia es dominante si, independientemente de lo que otros jugadores hagan, la estrategia gana al jugador una recompensa más grande que cualquier otro. Por lo tanto, una estrategia es dominante si es siempre mejor que cualquier*

*otra estrategia*” (Shor ,2006). El objetivo de estos juegos es hacer que el jugador se detenga y piense sobre su siguiente movimiento. El diseñador Scott Kim define a los *Puzzles* como “una tarea sencilla hecha difícil” (2008).

Un *Puzzle* con Realidad Aumentada Tangible permitiría al usuario considerar simultáneamente la manipulación de los objetos físicos como la retroalimentación de los elementos virtuales, brindándole un nuevo tipo de interfaz para solucionar los problemas que debe resolver durante el juego.

*Recovity* utiliza un cubo de cartón como interfaz física. Los elementos virtuales del rompecabezas (Anexo C) se dibujan sobre el “interior” de este cubo. Este espacio está subdividido en una serie de celdas modulares, cada una de las cuales puede estar ocupada por bloques sólidos u otros objetos de juego. El objetivo del jugador es recolectar todas las esferas de energía que están dispersas dentro de este espacio. Para ello, debe manipular un cubo virtual, deslizándolo en direcciones específicas utilizando el cursor virtual centrado en su campo de visión. *Recovity* plantea un desafío espacial y perceptual en tres dimensiones, y ofrece una estructura guiada para entrenar inconscientemente al jugador en el manejo y control de los elementos de juego.

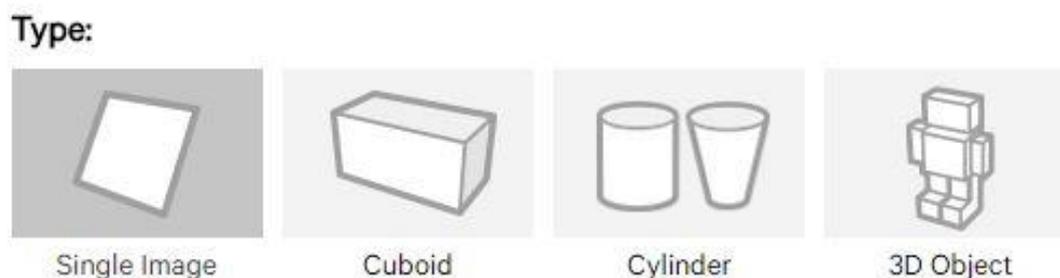


**Fig. 3** – *Recovity, juego puzzle con realidad aumentada tangible*

## POSTMORTEM

### SDK para Realidad Aumentada: Vuforia

Un punto fundamental para diseñar un juego digital consiste en escoger las herramientas de desarrollo correctas. En el caso de *Recovity*, escoger un Kit de Desarrollo de Software (SDK) para Realidad Aumentada fue muy importante, ya que su facilidad de uso y limitaciones podrían afectar el proceso de diseño del videojuego. Decidí utilizar *Vuforia*, de PTC Inc. (2016). *Vuforia* es un poderoso SDK de Realidad Aumentada que se actualiza y expande con frecuencia. Mientras que muchos SDKs solo soportan marcadores bidimensionales (imágenes reconocibles por el programa que determinan la ubicación de los objetos virtuales), *Vuforia* soporta marcadores tridimensionales complejos (Fig. 4), lo cual demostró ser útil al momento de construir la interfaz física. En lugar de actuar como marcadores bidimensionales distintos, cada cara del cubo forma parte del mismo marcador 3D, lo cual contribuyó a dar estabilidad y fluidez a la interacción.



**Fig 4** – Tipos de marcadores que *Vuforia* puede detectar

Incluso con esta característica, tuve que trabajar sobre la representación visual de las imágenes utilizadas en cada cara del cubo. *Vuforia* permite la personalización de las imágenes utilizadas como marcadores, pero es necesario mantener un buen nivel de contraste para conseguir un buen grado de detección. Cada imagen del cubo utiliza

contraste monocromático (Fig. 5), lo cual permite al sistema diferenciar claramente entre las distintas caras del marcador. Si las imágenes fueran muy parecidas entre sí, el algoritmo de detección de *Vuforia* puede confundirse al momento de calcular la posición del objeto y producir resultados inesperados.

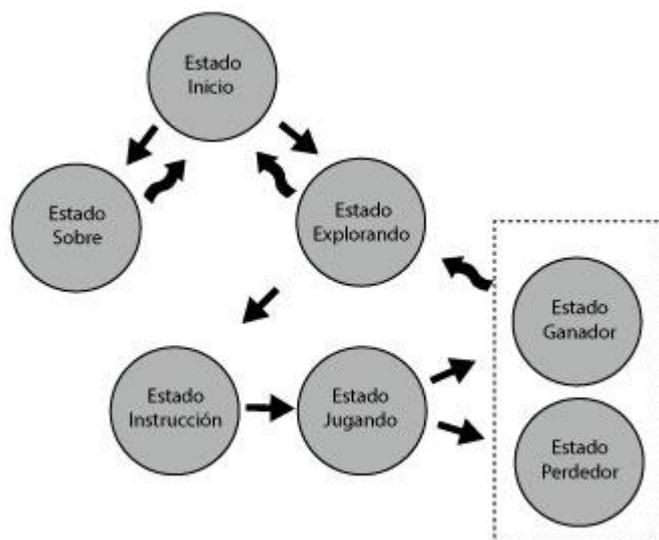


*Fig. 5 - Marcador con sus puntos de detección calculados por el algoritmo de Vuforia.*

## Uso de Máquina de Estados Finitos

Para programar el sistema de administración del juego, utilicé el patrón de diseño Máquina de Estados Finitos, FSM (Gutiérrez, 2008), implementando cada pantalla y nivel del juego como un estado distinto (Anexo A). El sistema de máquina de estados se encarga de instanciar y destruir cada pantalla de juego al momento de hacer una transición entre escenas. Mantener una estructura efectiva y reutilizable a lo largo de toda la interacción me permitió evitar muchos problemas de administración de recursos y errores de transición al momento de programar el juego. Una FSM (Fig. 6) garantiza que las pantallas, menús y niveles aparezcan y desaparezcan en los momentos correctos.

Esta es una técnica muy poderosa, y puede aplicarse a distintas escalas a través de todo el programa.



*Fig. 6. Máquina de Estados implementada en Recovity*

### **Botones Virtuales: Marcadores 2D vs 3D**

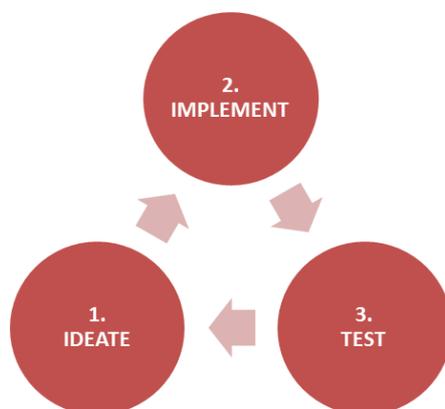
Algunas de las ideas originales del diseño tuvieron que ser modificadas. Al diseñar los controles, inicialmente me planteé utilizar la funcionalidad de botones virtuales (Fig. 7) de *Vuforia* para permitir al usuario utilizar sus dedos para “presionarlos.” Aunque el concepto era sólido, las limitaciones actuales del SDK no me permitieron implementar esta funcionalidad: los botones virtuales solo son compatibles con marcadores bidimensionales y no con marcadores tridimensionales compuestos, como por ejemplo el cubo de mi interfaz tangible. Los botones virtuales fueron reemplazados por botones activables a través del cursor de campo visual.



**Fig. 7** – Vuforia, Botones Virtuales que cambian de color el modelo 3D

## Diseñar, Errar y Aprender

Aunque es fácil plantear mecanismos de interacción extravagantes, es importante mantener un proceso de diseño estructurado y depurable. Cada idea debe ser contextualizada con el resto de la experiencia y probada para determinar si realmente está funcionando como se esperaba. Las pruebas de usuario (Anexo D) nos permiten verificar si la interfaz realmente funciona. No hay que desesperarse si ocurre lo peor; las ideas fallidas pueden analizarse, mejorarse y probarse de nuevo. Cada paso ayuda al siguiente y permite mantener un ciclo continuo de diseño (Fig. 8). Una interfaz siempre se puede mejorar, incluso si esto requiere que el concepto inicial cambie totalmente. El resultado final rara vez se parece al que uno esperaba al inicio del proyecto.



**Fig. 8** – Proceso de Diseño Iterativo

Aprender a utilizar la tecnología sobre la cual se construye el proyecto es indispensable, puesto que cuando un problema surge es necesario saber cómo resolverlo, o por lo menos dónde encontrar la información para solucionarlo. Los SDKs pueden facilitar el proceso de desarrollo, pero muchas veces un concepto tiene que adaptarse a la tecnología, o viceversa. Al desarrollar *Recovity*, tuve que iterar mucho para encontrar las mejores formas de utilizar *Vuforia* para construir la interfaz. La solución óptima a partir de marcadores grupales requirió de tiempo y un proceso iterativo. Conocer, entender y probar la tecnología es necesario en este tipo de proyectos, ya que si asumimos que ésta nos soluciona todos los problemas, más adelante podemos vernos obstruidos en nuestro proceso de desarrollo mientras buscamos una forma de trabajar alrededor de sus limitaciones.

## CONCLUSIONES

Todo el proceso de diseño y desarrollo, tanto del juego como de la interfaz de *Recovity*, comenzó en papel y lápiz (Anexo B). A lo largo de toda la producción llevé un diario de diseño en el cual desarmé y reconstruí cada aspecto del diseño de este producto (Anexo B). Es importante tener en mente los objetivos finales de diseño, la meta que *“transmitirá el juego y será el resultado de la actividad lúdica, la experiencia que perseguimos y para la que montamos una estructura de elementos de motivación.”* (Durgan, A., 2015)

No cabe duda que el prototipado y la iteración son importantes para alcanzar el mejor resultado posible. El proceso de diseño exige entender las posibilidades presentes

o por descubrir. Si no prototipas, corres el riesgo de perder tiempo al incorporar nuevos elementos y ajustarlos en etapas avanzadas del proyecto. El papel y lápiz te permiten explorar fácilmente y ahorrar muchísimo tiempo.

Siento que llegué a comprender los fundamentos del diseño de *Puzzles*: “problemas divertidos” que forman parte de la mayoría de juegos, independientemente de su género. Los *Puzzles* existen en todos lados, pero Jesse Schell menciona que “lo que realmente nos importa es cómo crear buenos *puzzles* que mejoren nuestro juego” (2008). *Recovity* se basó en los diez principios del diseño de *Puzzle* definidos por Schell, aunque hasta el momento solo tres de ellos han sido implementados de manera significativa:

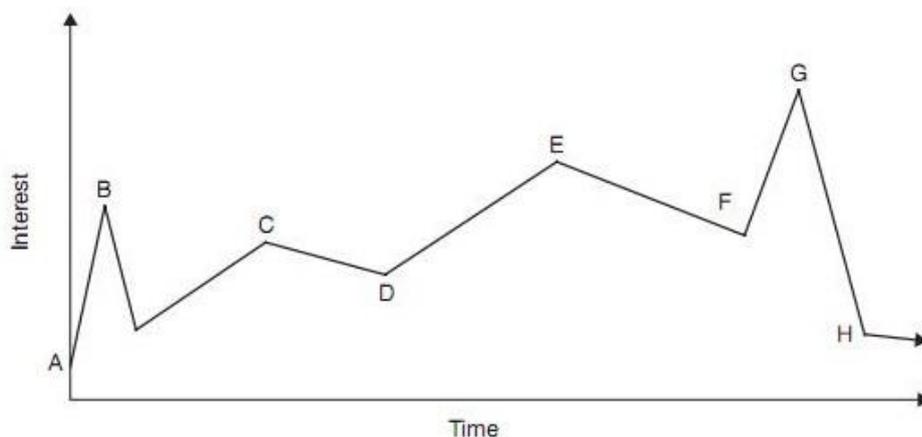
1. *Hacer el objetivo claramente entendible*, principalmente a través de retroalimentación clara.
2. *Hacerlo fácil de empezar*, enfocándose primero en enseñar a manipular el cubo físico a través de los menús antes de llegar al juego en sí.
7. *Estructura de la pirámide del interés extendido*, introduciendo gradualmente nuevos elementos de juego, lo que da variedad a los rompecabezas y genera curiosidad sobre los próximos niveles.

Sin duda los puzzles pueden “agregar una dimensión mental significativa a cualquier juego” (Schell, 2008), y *Recovity* busca combinar esto con la Realidad Aumentada para expandir la experiencia tradicional de un rompecabezas.

Desde un inicio *Recovity* se planteó conectar los mundos físico y virtual a través de la manipulación tangible, por lo que comencé investigando sobre las posibilidades de la Realidad Aumentada. Sin embargo, la propuesta de diseño de *Recovity* evolucionó hacia buscar una interacción intuitiva, lo que me llevó a entender cómo las Interfaces

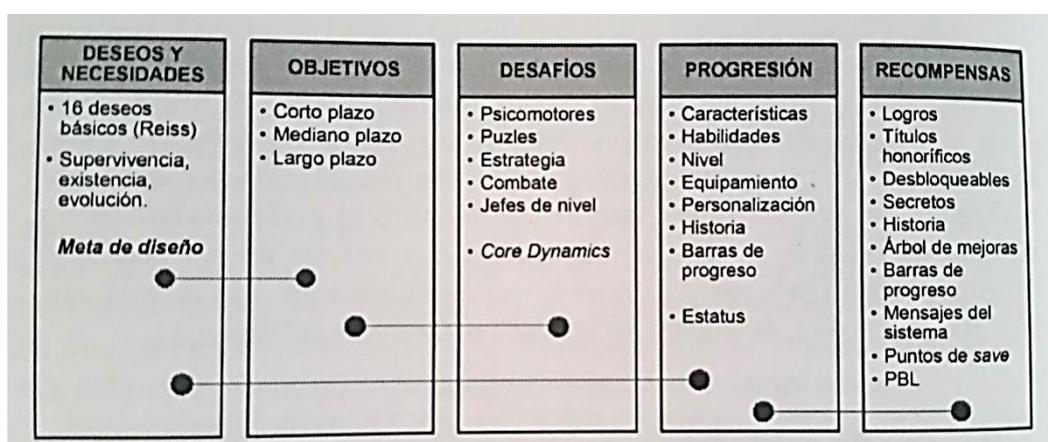
Tangibles son diseñadas en base a su funcionalidad y control físico. Esto a su vez me condujo al término Realidad Aumentada Tangible, y a proponer interfaces extremadamente intuitivas basadas en la manipulación física de los objetos. Este paradigma propone algunos principios de diseño valiosos para crear una aplicación de AR efectiva, entre los cuales se destacan mantener una relación espacial tridimensional, el uso de controles físicos, y hacer coincidir las acciones físicas con el objetivo de la interacción (Billinghurst, M., et al, 2009).

Actualmente *Recovity* se encuentra en estado de prueba del concepto, tanto en cuanto al diseño de juego como de su interfaz de realidad aumentada tangible; todavía no se puede considerar un producto completo. Es necesario que continúe trabajando sobre el diseño de niveles de juego, manteniendo en cuenta la curva de interés del jugador (Fig. 9), “representación gráfica del interés de un jugador en un juego a lo largo del tiempo.” (Game Studies Wiki, 2016) . También es necesario establecer una narrativa que se ajuste al paradigma de manipulación del juego. Incluso es posible que el diseño actual se convierta en parte de una experiencia más grande, que englobe distintos tipos de *Puzzles* y/o interfaces tangibles.



**Fig. 9** – Ejemplo de Curva de Interés de Jesse Schell (2008).

Con respecto al diseño de niveles de juego, espero conseguir una experiencia de libertad controlada. El diseño visual de *Recovity* se asemeja mucho al de un laberinto, lo que posibilita ocasionalmente que el jugador realice movimientos libres, que no impidan alcanzar los objetivos y completar nivel. Queda claro que la jugabilidad está por encima de la gráfica al momento de diseñar niveles: si no existe una buena experiencia al jugar (Fig. 10), el diseño nivel ha fracasado porque el interés del jugador se ha perdido.



**Fig. 10** - Estructura Lúdica como Mecanismo Motivacional (Durgan A., 2015)

Finalmente, debo continuar con el proceso de búsqueda de la identidad individual de *Recovity*, tanto como una experiencia lúdica como una propuesta de interfaz de Realidad Aumentada Tangible.

*“El viaje del descubrimiento no es buscar nuevos paisajes  
sino tener nuevos ojos”*  
Marcel Proust

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alger, M. (6 de enero 2015). *VR Interface Manifesto* [Video]. Recuperado de:  
<https://www.youtube.com/watch?v=n3b8hZ5NV2E>
- Alger, M. (4 de Octubre 2015). *VR Interface Design Pre-Visualisation Methods* [Video].  
 Recuperado de: <https://vimeo.com/141330081>
- Alger, M. (Septiembre, 2015). *Visual Design Methods for Virtual Reality*. Recuperado de:  
[http://aperturesciencellc.com/vr/VisualDesignMethodsforVR\\_Mike\\_Alger.pdf](http://aperturesciencellc.com/vr/VisualDesignMethodsforVR_Mike_Alger.pdf)
- Billinghurst, M., Kato, K. & Myojin S. (Julio, 2009). *Advanced Interaction Techniques for Augmented Reality Applications*. Research Gate. DOI: 10.1007/978-3-642-02771-0\_2. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/221099854>
- Durgan, A. (2015). *Diseño de Juegos en América Latina. I. Estructura Lúdica*. Buenos Aires: Imprenta Digital SRL
- Google Inc. (2016). *Designing for Google Cardboard*. Recuperado de:  
<https://www.google.com/design/spec-vr/designing-for-google-cardboard/a-new-dimension.html>
- Google Inc. (2016). *Google Cardboard, Experience virtual reality in a simple, fun, and affordable way*. Recuperado de: <https://vr.google.com/cardboard/>
- Gutiérrez, J (22 de Agosto 2008). *Máquinas de Estados Finito*. Recuperado de:  
<http://uncomp.uwe.ac.uk/genaro/Papers/Veranos McIntosh files/alejandronal2008.pdf>
- Ishii, H. & Ullmer, B. (Septiembre, 1998). *Tangible Bits Towards Seamless Interfaces*. DOI: 10.1145/258549.258715 Recuperado de:  
[https://www.researchgate.net/publication/2311166\\_Tangible\\_Bits\\_Towards\\_Seamless\\_Interfaces\\_between\\_People\\_Bits\\_and\\_Atoms](https://www.researchgate.net/publication/2311166_Tangible_Bits_Towards_Seamless_Interfaces_between_People_Bits_and_Atoms)
- Kato, H., Billinghurst, M., Poupyrev, I. Imamoto, K. & Tachibana, K. (Febrero, 2000). *Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR Environment*. Research Gate. DOI: 10.1109/ISAR.2000.880934. Recuperado de:  
<https://www.researchgate.net/publication/3872622>
- Kim, S. (2006). *How to invent puzzles*. Recuperado de:  
<http://www.scottkim.com/previewc40.carrierzone.com/thinkinggames/exploratorium06/how-to-invent-puzzles.html>

- Kim, S. (Diciembre 2008). *Scott Kim explica el arte de los puzzles parte por parte*. [Video]. Recuperado de: [https://www.ted.com/talks/scott\\_kim\\_takes\\_apart\\_the\\_art\\_of\\_puzzles?language=es](https://www.ted.com/talks/scott_kim_takes_apart_the_art_of_puzzles?language=es)
- Mlynár, V. (2016). *KOSKI* [Video Game]. Praga: deForm Studio. Recuperado de: <https://www.koskigame.com/>
- PTC Inc. (2016). *Vuforia / Augmented Reality*. Recuperado de: <https://www.vuforia.com/>
- Salvato, D. (19 de Septiembre 2015). *Principles of Puzzle Game Design in Mario Maker* [Video]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=6lBwvNj-mE>
- Schell, J. (2008). *The Art of Game Design. A Book of Lenses*. Burlington, USA: Elsevier Inc.
- Shor, M. (2006), "Dominant Strategy". *Dictionary of Game Theory Terms, Game Theory .net*. Recuperado de: <http://www.gametheory.net/dictionary/DominantStrategy.html>
- Oliver, J. (2007-2008). *Level Head* [Video Game]. Recuperado de: <https://julianoliver.com/levelhead/>
- Zhou F., Been-Lirn Duh H. & Billinghamurst M. (Septiembre, 2008). *Trends in Augmented Reality Tracking, Interaction and Display: A Review of Ten Years of ISMAR*. Research Gate. DOI: 10.1109/ISMAR.2008.4637362. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/29488965>

## ANEXO A: PANTALLAS Y ESCENARIOS

**Sin Detección.-** Es el estado de juego que se presenta cuando el programa no detecta el cubo con marcadores frente a la cámara. Construí un indicativo visual para que la persona pueda entender lo que sucede y qué es lo que debe hacer para empezar a interactuar con el juego.



**Introducción.-** Esta pantalla presenta tres botones: Iniciar, Sobre y Salir. El botón Iniciar lleva al jugador al Menú de Niveles; el botón Sobre a una pantalla con información del juego, y el último botón “Salir” cierra la aplicación.

Para seleccionar cada botón el usuario debe usar el cursor, por lo que esta interacción contribuye a aprender esta forma de interacción para el resto del juego. Al seleccionarse, el botón cambia de color y el cursor muestra un indicador radial que indica el tiempo que el cursor debe permanecer sobre el botón para terminar la interacción y activar la opción seleccionada.



**Sobre.-** Esta es una pantalla informativa del juego, e incluye créditos de desarrollo mostrados sobre cada cara del cubo. Son 4 informativos: una descripción general del juego, los objetivos de juego, derechos de autoría y las tecnologías usadas para su desarrollo.



**Menú de Niveles.-** Este menú permite al usuario acceder a los niveles del juego. Cada cara como muestra una fase distinta. Por el momento solo está habilitada la Fase 1 con tres niveles. Cada nivel es representado con un botón que indica su nombre, cuantos núcleos de energía hay, y el tiempo para completarlo (sin funcionalidad en la versión)



**Instrucciones.-** Esta pantalla explica cómo jugar, y el manejo de los distintos elementos dentro del juego. Existen tres instrucciones que se presentan al inicio de cada uno de los tres primeros niveles: Nivel 1 - Controles básicos; Nivel 2 - Orbe de Teletransportación, y Nivel 3 - Obstáculos especiales.



**Nivel 1. Controles Básicos**



**Nivel 2 - Orbe de Teletransportación**



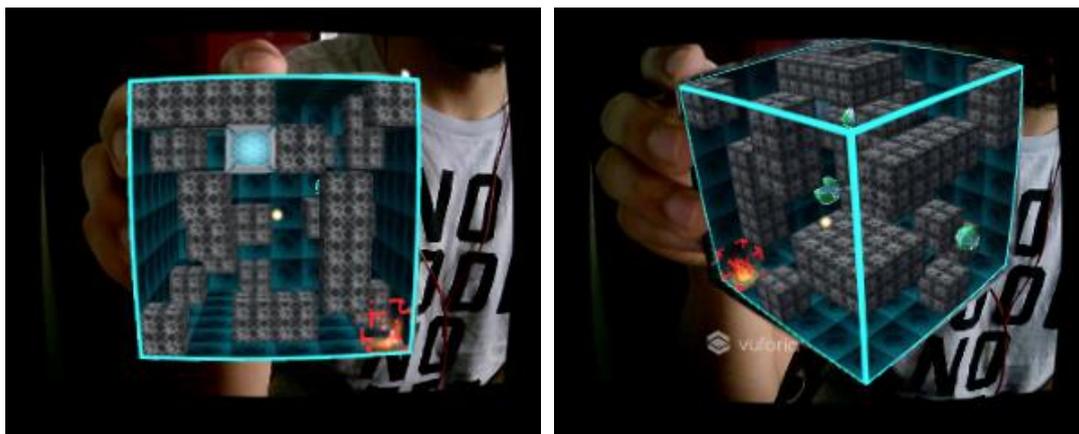
**Nivel 3 - Obstáculo Especial**

**Victoria / Derrota.-** Esta pantalla se muestra al completar un nivel, y permite al usuario regresar al menú de selección de niveles. Por el momento solo está implementada la pantalla de Victoria.



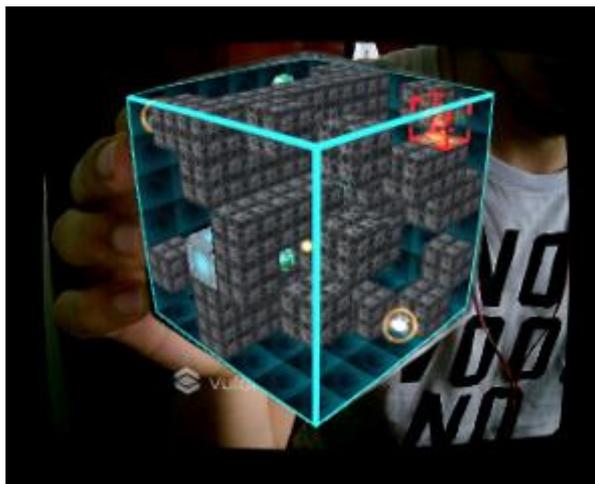
**Niveles.-** Cada nivel está diseñado como un reto espacial de perspectiva, con el objetivo de usar el cubo de juego encontrar y recoger todos los núcleos de energía. Existen tres niveles con distintos elementos de juego y mecánicas. Cada nivel busca exponer al jugador a distintos retos que se pueden generar a través de la realidad aumentada tangible

El **Nivel 1** está diseñado como un nivel introductorio, en donde el jugador aprende la habilidad de controlar todo el espacio tanto de manera física como visual.

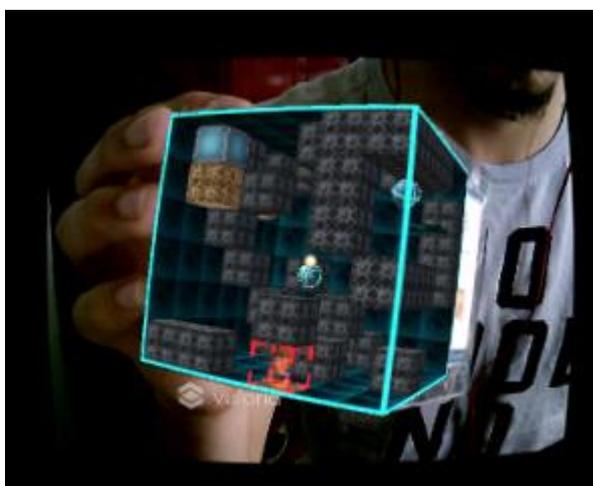
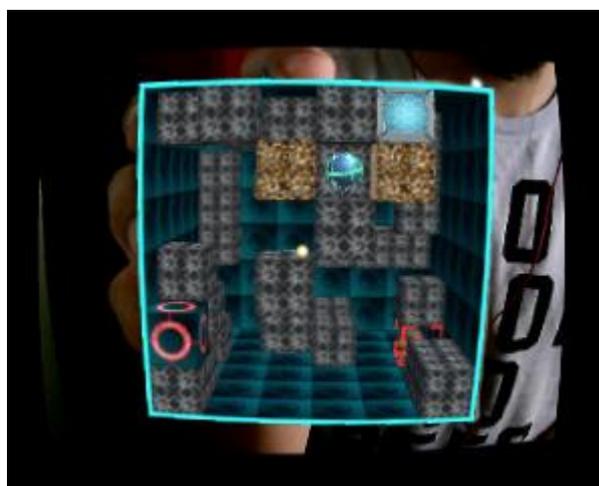


El **Nivel 2** presenta un nuevo elemento de juego: el Orbe de Teletransportación, añadido como un mecanismo para cambiar la forma de navegar el nivel.



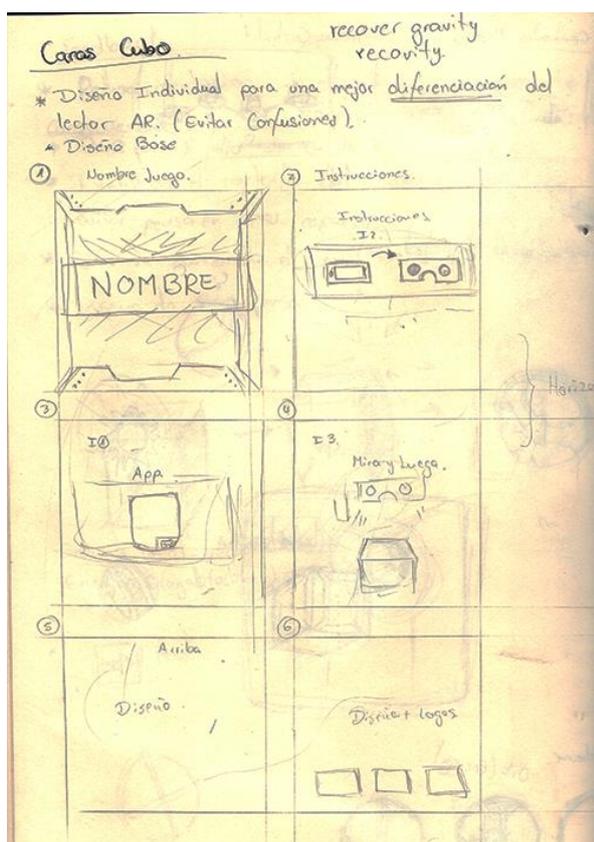


El *Nivel 3* introduce un obstáculo especial y un bloque activable.



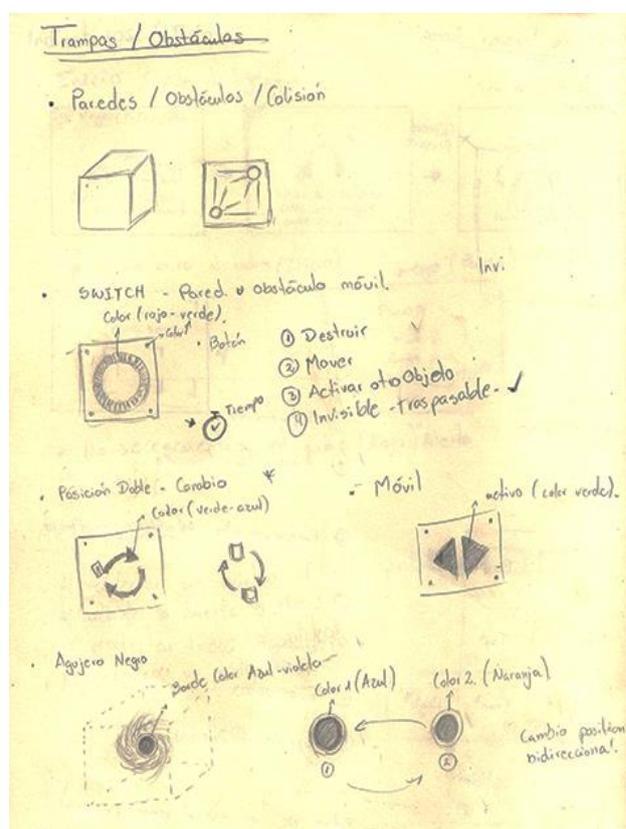
## ANEXO B: DISEÑO EN PAPEL

Trabajar sobre papel facilita el proceso de diseño y conceptualización, principalmente por el hecho de independizar al diseñador de la programación y gráficas de alto nivel. El prototipo en papel tiene el objetivo de encontrar “una idea que funcione dentro de los contornos y limitaciones que tiene el proyecto” (Durgan, 2015). Probar mecánicas, ajustar reglas y probar de forma inmediata ahorra mucho tiempo para concretar el proyecto. *Recovity* fue diseñado desde bocetos preliminares hasta llegar a su estado actual.



**Diseño de Elementos.-** Cada tipo de obstáculo fue definido desde su diseño base hasta su funcionalidad y las expectativas que generan al estar presentes en un nivel.

**Diseño de Marcadores.-** la funcionalidad del marcador se basa en el contraste de monocromático, para que el algoritmo de Vuforia detecte sus diferencias. Los seis marcadores del cubo fueron bocetados con el fin de generar instrucciones de uso, y a su vez diferenciarse para una detección precisa y sin confusión.

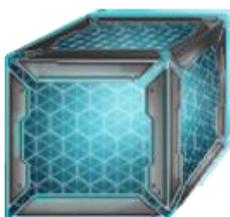




## ANEXO C: ELEMENTOS Y CARACTERISTICAS

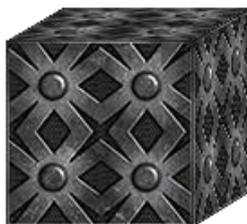
### Elementos Básicos

Cada uno de los elementos básicos tiene una funcionalidad enfocada a la interacción principal de juego.



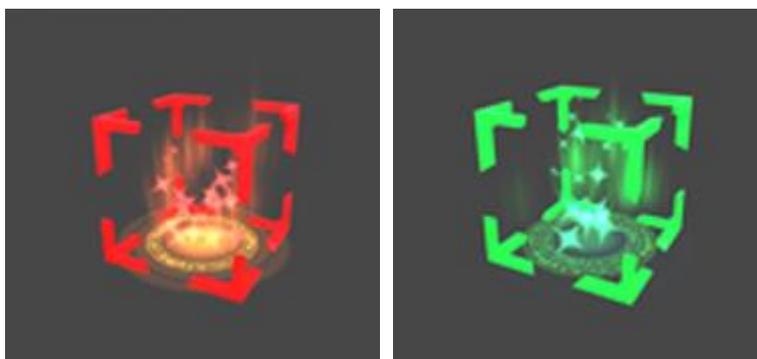
**Cubo.-** Elemento móvil principal, manipulado por medio de controles visuales. El cubo puede interactuar con otros elementos del juego. Su dirección y velocidad de movimiento está limitada por la colisión con los bloques y paredes del nivel. El cubo recolecta los núcleos de energía.

**Núcleo de Energía.-** Permiten acumular energía necesaria para activar la meta y poder ganar el nivel. Se encuentran distribuidos por todo el espacio del nivel. Son estáticos, y solamente pueden ser recogidos por el cubo controlado por el jugador.

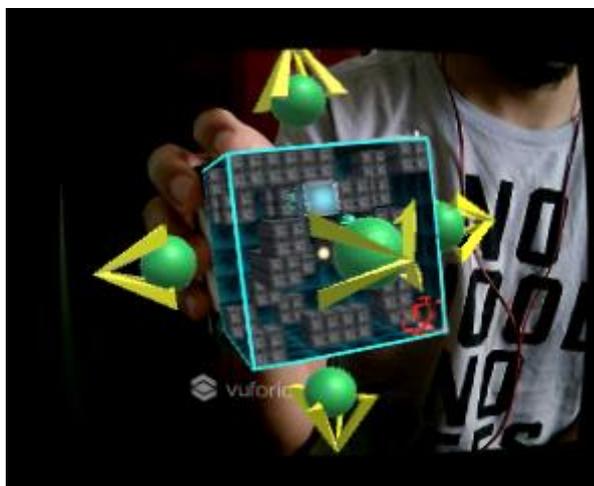
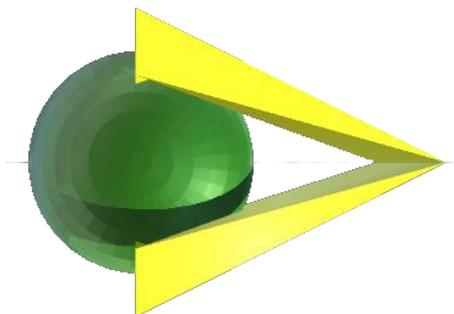


**Bloque.-** Son el obstáculo principal para todo el juego. Son estáticos, y detienen el movimiento del cubo cuando colisionan con él. Son útiles para movilizarse por el nivel, ya que su ubicación permite al cubo alcanzar nuevos caminos.

**Meta.-** Este elemento estático necesita de la energía obtenida de los núcleos de energía para activarse y poder ganar el nivel. Su estado inactivo se representa con el color rojo; al activarse cambia a verde. El cubo debe entrar en la meta activa para finalizar el nivel.



**Controles Visuales.-** Estos botones aparecen al seleccionar el cubo con el cursor, y permiten dirigir su movimiento en la dirección correspondiente. Cada uno de los seis botones direccionales aparece sobre la cara correspondiente del cubo.



## Objetos Especiales

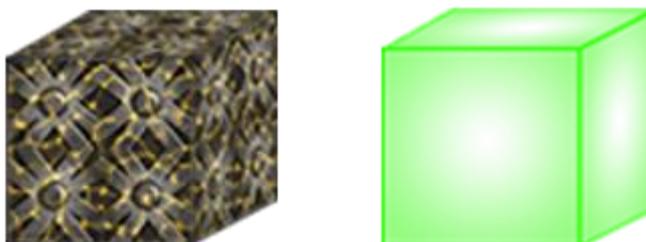
**Orbe de Teletransportación** Permite trasladar el cubo del punto A al punto B instantáneamente. Estos elementos siempre aparecen en pares: una entrada y una salida



**Bloque Botón.-** Este elemento puede activarse por medio de la colisión con el cubo. Su estado inicial es desactivado, en color rojo, y cambia a verde cuando ha sido activado. El tiempo de activación varía dependiendo del nivel. Este elemento está pensado para usarse de como activador de otros elementos, pero en la versión actual solamente activa el bloque especial.



**Bloque Especial.-** Este elemento puede activarse a través del bloque botón. Tiene la habilidad de cambiar de estado sólido, con las mismas características que el bloque normal, a un estado traspasable, en deja de colisionar con el cubo. Esto permite crear barreras que el jugador puede activar o desactivar a lo largo del nivel.



**Forma de Activar el Bloque Especial:**



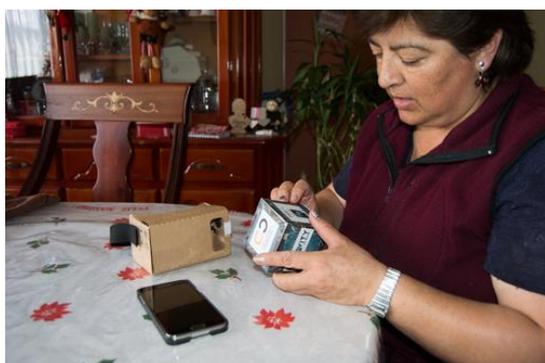
## ANEXO D: PRUEBAS DE USUARIO

Las pruebas de usuario se realizaron con un celular Samsung Galaxy S5 con Android v5.0 Lollipop, el cubo de cartón Recovity con medidas de 7.5cm<sup>3</sup> y el visor Google Cardboard.



Los participantes fueron personas de ambos géneros mayores de 20 años, con el fin de entender que tan sencillo se vuelve el manejo de los objetos físicos y virtuales.

**Instrucciones.-** A cada participante se entregó el kit completo de juego, puesto que el cubo presenta las instrucciones de su uso. Cada paso instructivo fue fácilmente comprendido, por lo que no existieron problemas al iniciar la aplicación. Es importante señalar que las instrucciones en cada cara del cubo tienen una ventaja adicional: el hecho de rotar y leer las instrucciones es una acción necesaria dentro del juego, y entrena a los usuarios sobre cómo interactuar con él.



**Primera Impresión.-** Los usuarios leyeron la pantalla de introducción, en donde cada botón permite la continuación de la experiencia. En esta primera pantalla, sin recibir instrucciones, el usuario debe descubrir cómo seleccionar y activar cada botón con el cursor. Al tratarse de una interfaz muy distinta, la experiencia puede fracasar si el usuario no entiende bien cómo realizar esta interacción. Algunos jugadores la entendieron al mover accidentalmente el cubo y notar que el cursor se comenzaba a animar. Otros intuyeron la interacción y siguieron sin duda alguna.



En esta primera interacción sucedió algo interesante. Al no saber todavía cómo usar el cursor, algunos usuarios indicaban con el dedo sobreponiéndolo en la ubicación del botón. Esta acción demuestra la reacción intuitiva de los usuarios frente a la interfaz; la presencia física del cubo incentiva a los usuarios a activar manualmente los botones.



**Manejo y Control.**- La experiencia previa con el cursor facilita mucho las siguientes interacciones. Los usuarios intuyen cómo rotar el cubo utilizando sus manos. Los usuarios se detuvieron a leer las pantallas con instrucciones, y a veces acercaban el cubo a su cara para poder leerlas mejor. Acercar o alejar el cubo no distorsiona los objetos virtuales, lo que permite que esta acción actúe como el zoom en otras interfaces virtuales.



**Controles Virtuales.**- El manejo de los controles de movimiento del cubo fue una de las acciones más difíciles de aprender. En un inicio los controles fueron implementados como botones 2D en la cara frontal del cubo. Esto confundió a los usuarios, ya que utilizaba botones planos para referenciar un movimiento 3D. Solucioné este problema reemplazando los controles por botones tridimensionales ubicados sobre la cara correspondiente del cubo.

