



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**REALIDAD AUMENTADA PARA EL APRENDIZAJE DE CIENCIAS EN NIÑOS  
DE EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN  
COMPUTACIÓN**

**JUAN PABLO RODRÍGUEZ LOMUSCIO**

**SANTIAGO DE CHILE**  
**ENERO 2011**



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**REALIDAD AUMENTADA PARA EL APRENDIZAJE DE CIENCIAS EN NIÑOS  
DE EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN  
COMPUTACIÓN**

**JUAN PABLO RODRÍGUEZ LOMUSCIO**

**PROFESOR GUÍA:**  
**JAIME HERNÁN SÁNCHEZ ILABACA**

**MIEMBROS DE LA COMISION**  
**NELSON ANTRANIG BALOIAN TATARYAN**  
**DIONISIO ALEJANDRO GONZÁLEZ GONZÁLEZ**

**SANTIAGO DE CHILE**  
**ENERO 2011**

# Resumen

Hoy en día la ciencia de la computación se encuentra presente en nuestras vidas de forma cotidiana, siendo muchas veces transparente para nosotros. Un área que se ha visto potenciada por esta ciencia es la educación. Otra área es la Realidad Aumentada, variación de lo que se conoce como Realidad Virtual, donde en lugar de introducir a un usuario en un entorno ficticio, se busca introducir elementos virtuales en el entorno real.

Esta memoria tuvo como objetivo diseñar, desarrollar y evaluar la usabilidad de una herramienta basada en Realidad Aumentada para el apoyo de la enseñanza y el aprendizaje del Sistema Solar en alumnos de 8 y 9 años de edad que cursan tercer año de educación general básica. Como resultado se creó ARSolarSystem, un videojuego educativo que presenta a los alumnos los distintos elementos del Sistema Solar y les permite interactuar con ellos a través de una interfaz tangible.

Para reconocer la facilidad con que los alumnos pueden utilizar la herramienta se realizaron evaluaciones de usabilidad. Estas evaluaciones se aplicaron durante y al finalizar el proceso de desarrollo, de manera cualitativa y cuantitativa con usuarios finales, utilizando los métodos de observación y evaluación de usuario final. Esto permitió detectar y solucionar tempranamente problemas de interacción y representación de la información que entrega la herramienta.

Dados los buenos resultados obtenidos por ARSolarSystem, es posible afirmar que es factible generar una herramienta basada en Realidad Aumentada que sea atractiva para niños de entre 8 y 9 años y que les permita trabajar en un contexto educativo sin agregar un nivel de dificultad adicional a su aprendizaje. Más aún, se puede afirmar que el uso de esta tecnología en conjunto con un diseño de videojuego representa un elemento motivador para los alumnos, quienes afirmaron que volverían a trabajar con la herramienta e incluso la recomendarían a sus compañeros.

### Agradecimientos

Quiero agradecer ante todo a mi madre por apoyarme durante mis años de estudio. Gracias Angelo, Mauricio y Héctor por sus aportes voluntarios e involuntarios a este trabajo. Finalmente gracias a todos aquellos que me dieron ánimo para culminar este ciclo.

# Tabla de contenido

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Tabla de contenido .....                                  | 1  |
| Índice de figuras .....                                   | 3  |
| 1. Capítulo - INTRODUCCIÓN .....                          | 5  |
| 1.1. Descripción General del Problema .....               | 6  |
| 1.2. Motivación .....                                     | 8  |
| 1.3. Objetivos .....                                      | 8  |
| Objetivo general .....                                    | 8  |
| Objetivos específicos .....                               | 8  |
| 2. Capítulo - Marco Teórico .....                         | 9  |
| 2.1. TIC y Educación .....                                | 10 |
| 2.2. Realidad Aumentada .....                             | 11 |
| ¿Qué es? .....                                            | 11 |
| Realidad Aumentada y Educación .....                      | 14 |
| Herramientas para la Creación de Aplicaciones de AR ..... | 14 |
| 3. Capítulo - DISEÑO DE ARSOLARSYSTEM .....               | 22 |
| 3.1. Descripción General .....                            | 23 |
| 3.2. Contenidos .....                                     | 24 |
| 3.3. Casos de Uso .....                                   | 27 |
| Caso de uso “Identificar Elemento” .....                  | 27 |
| Caso de uso “Ordenar Sistema Solar” .....                 | 29 |
| Caso de uso “Explorar Sistema Solar” .....                | 30 |
| 3.4. Arquitectura .....                                   | 33 |
| 4. Capítulo - DESARROLLO DE ARSOLARSYSTEM .....           | 38 |
| 4.1. Interfaces .....                                     | 39 |
| 4.2. Interacción .....                                    | 42 |
| 4.3. Diagrama de Clases .....                             | 43 |
| 4.4. Clases Importantes .....                             | 46 |

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| “object.h” .....                                                         | 46 |
| Scene.h .....                                                            | 48 |
| ARSolarSystem.h .....                                                    | 49 |
| main.cpp.....                                                            | 51 |
| 4.5. Herramientas de Desarrollo.....                                     | 53 |
| Hardware .....                                                           | 53 |
| Software .....                                                           | 53 |
| 5. Capítulo - EVALUACIÓN DE USABILIDAD.....                              | 54 |
| 5.1. Evaluación de Usabilidad .....                                      | 55 |
| 5.2. Participantes .....                                                 | 55 |
| 5.3. Métodos e Instrumentos .....                                        | 56 |
| Observación.....                                                         | 56 |
| Cuestionario .....                                                       | 57 |
| 5.4. Tareas.....                                                         | 58 |
| 5.5. Contexto.....                                                       | 60 |
| 5.6. Procedimiento.....                                                  | 61 |
| 6. Capítulo - RESULTADOS Y ANÁLISIS.....                                 | 63 |
| 6.1. Resultados de la Evaluación de Usabilidad del Primer Prototipo..... | 64 |
| Observación.....                                                         | 64 |
| Cuestionario .....                                                       | 67 |
| 6.2. Resultados de la Segunda Evaluación de Usabilidad .....             | 71 |
| 7. Capítulo - CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....                         | 79 |
| 7.1. Discusión y Conclusiones .....                                      | 80 |
| 7.2. Trabajo Futuro .....                                                | 81 |
| Referencias .....                                                        | 83 |
| Capítulo - ANEXOS .....                                                  | 87 |
| Anexo 1 .....                                                            | 89 |
| Anexo 2 .....                                                            | 92 |

# Índice de figuras

|                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: 3DCIENCIAS .....                                                                                                                                                 | 11 |
| Figura 2: Continuo Realidad-Virtualidad [42]. .....                                                                                                                        | 12 |
| Figura 3: Ejemplo de Realidad Aumentada.....                                                                                                                               | 13 |
| Figura 4: Marcador .....                                                                                                                                                   | 15 |
| Figura 5: Diagrama paso a paso de la creación de un cuadro de video de Realidad Aumentada usando ARToolKit [7].....                                                        | 16 |
| Figura 6: Tabla de información de tamaño de marcadores y su rango de uso .....                                                                                             | 16 |
| Figura 7: Tracking de una nueva escena usando PTAM [34] .....                                                                                                              | 18 |
| Figura 8: Escena aumentada usando PTAM vista en distintas escalas [[34].....                                                                                               | 19 |
| Figura 9: Aplicación hecha usando Layar .....                                                                                                                              | 20 |
| Figura 10: Sección de la arquitectura de Layar que muestra la interacción entre la aplicación cliente y el servidor donde se almacena la información de los POIs [37]..... | 21 |
| Figura 11: Subconjunto de las fichas usadas por ARSolarSystem.....                                                                                                         | 23 |
| Figura 12: Dos alumnos trabajando con el primer prototipo de ARSolarSystem. ....                                                                                           | 24 |
| Figura 13: Caso de uso “Identificar Elemento”.....                                                                                                                         | 27 |
| Figura 14: Diagrama de flujo de “Identificar Elemento”. ....                                                                                                               | 28 |
| Figura 15: Caso de uso “Ordenar Sistema Solar”. ....                                                                                                                       | 29 |
| Figura 16: Diagrama de flujo de “Ordenar Sistema Solar”.....                                                                                                               | 30 |
| Figura 17: Caso de uso “Explorar Sistema Solar”.....                                                                                                                       | 30 |
| Figura 18: Diagrama de flujo “Explorar el Sistema Solar”.....                                                                                                              | 32 |
| Figura 19: Ciclo de juego. ....                                                                                                                                            | 33 |
| Figura 20: Flujo de ARSolarSystem.....                                                                                                                                     | 34 |
| Figura 21: Diagrama de Arquitectura.....                                                                                                                                   | 36 |
| Figura 22: Captura de pantalla del videojuego. El puntaje se despliega en la esquina superior derecha.....                                                                 | 39 |
| Figura 23: Imágenes de los modelos 3D de cada planeta.....                                                                                                                 | 40 |
| Figura 24: Textura de la ficha de pregunta.....                                                                                                                            | 41 |
| Figura 25: Texturas posibles para las fichas de alternativa.....                                                                                                           | 41 |
| Figura 26: Fichas de pregunta y respuesta.....                                                                                                                             | 42 |
| Figura 27: Diagrama de Clases, primera parte. ....                                                                                                                         | 44 |
| Figura 28: Diagrama de Clases, segunda parte. ....                                                                                                                         | 45 |
| Figura 29: Dos alumnos llevando a cabo la tarea de identificar durante la segunda evaluación de usabilidad.....                                                            | 58 |
| Figura 30: Dos alumnos llevando a cabo la tarea de ordenar durante la segunda evaluación de usabilidad.....                                                                | 59 |
| Figura 31: Dos alumnos llevando a cabo la tarea de explorar durante la segunda evaluación de usabilidad.....                                                               | 60 |
| Figura 32: Usuarios trabajando con el segundo prototipo durante.....                                                                                                       | 61 |

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 33: Tabla de resultados obtenidos a través del “Cuestionario de Evaluación de Usabilidad de Usuario Final”.....     | 68 |
| Figura 34: Gráfico de resultados obtenidos a través del “Cuestionario de Evaluación de Usabilidad de Usuario Final”. ..... | 69 |
| Figura 35: Gráfico del promedio general del sistema por parejas.....                                                       | 70 |
| Figura 36: Gráfico de resultados obtenidos a través del “Cuestionario de Evaluación de Usabilidad de Usuario Final”. ..... | 72 |
| Figura 37: Resultados del test de correlación.....                                                                         | 74 |
| Figura 38: Gráfico de resultados por índice. ....                                                                          | 74 |
| Figura 39: Estadísticos de grupo por género. ....                                                                          | 75 |
| Figura 40: Prueba de muestras independientes. ....                                                                         | 76 |
| Figura 41: Gráfico del promedio final por género obtenido de la.....                                                       | 77 |
| Figura 42: Gráfico del promedio general del sistema por parejas.....                                                       | 78 |

---

# **1. Capítulo - INTRODUCCIÓN**

---

## **1.1.Descripción General del Problema**

Gracias al continuo desarrollo de las ciencias hemos podido conocer cada vez más sobre el mundo que nos rodea, sobre nosotros mismo y sobre las organizaciones sociales que hemos desarrollado. Así mismo, la tecnología nos ha permitido transformar el mundo, nuestras sociedades y a nosotros mismos. [47]

La computación y las tecnologías de la información y comunicación (TIC) caracterizaron al siglo pasado generando la denominada era de la información con la que se abrió el nuevo milenio. Apenas han transcurrido un poco más de 50 años desde la creación del ENIAC [24], el primer computador electrónico, y los avances que ha desarrollado la informática son significativos, tanto a nivel de procesamiento y memoria como en el tamaño de los dispositivos.

Este rápido desarrollo ha producido una revolución en la forma en que vivimos. Según Barceló [47], su factor multiplicador ha sido muy superior al de revoluciones tecnológicas anteriores, como la agricultura y la revolución industrial. Hoy en día las TIC se encuentran presentes, y aún más, son imprescindibles, en gran cantidad de las actividades que realizamos diariamente. Tanto así, que incluso se han vuelto invisible en muchos casos, siendo usadas sin siquiera darnos cuenta.

Un área en que las TIC representan una función transformadora es la educación [12]. La integración curricular de las TIC busca hacer una contribución específica al aprendizaje, ofreciendo metodologías, recursos y contextos de aprendizaje más difíciles de implementar a través de otros medios [62]. Una efectiva integración de las TIC se logra cuando la tecnología llega a ser parte integral del funcionamiento de la clase y tan asequible como otras herramientas utilizadas para aprender. Es decir, cuando las TIC se utilizan en forma habitual en las aulas para tareas variadas como escribir, obtener información, experimentar, simular, comunicarse, aprender un idioma, diseñar, todo ello en forma natural, “invisible”. La integración curricular de las TIC va más allá del mero uso instrumental de la herramienta y se sitúa en el nivel de innovación del sistema educativo [44].

En la actualidad, en los colegios de Chile, se está impulsando la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia a través del método de aprendizaje ECBI (Estudios de las Ciencias Basado en la Indagación) [45]. En particular, en tercer año de educación general básica el método propone el trabajo en pequeños grupos, no más de cuatro estudiantes, los que trabajan juntos para lograr objetivos comunes. Se busca que el equipo completo participe en la tarea asignada fortaleciendo el aprendizaje colaborativo entre los integrantes. En esta estrategia se resalta la mediación del profesor o profesora quién provee a los estudiantes, durante la actividad indagatoria, de condiciones para que unos aprendan de otros al compartir ideas, descubrimientos y habilidades. [45]

Otra área donde la tecnología ha impactado fuertemente es en la representación de la información. Desde hace un tiempo se pueden observar una gran cantidad de aplicaciones web y

*standalone*, que utilizan Realidad Aumentada para permitir al usuario interactuar con objetos virtuales.

La Realidad Aumentada puede ser utilizada para aumentar la cantidad de información presente en el entorno para el usuario, como es el caso del uso de etiquetas de texto o sonidos espacializados. Además, el uso de la Realidad Aumentada puede permitir una interacción más rica y natural con elementos virtuales mediante la manipulación de fichas o tarjetas [55][11].

Se ha mostrado que el nivel de colaboración que se puede alcanzar en aplicaciones de Realidad Aumentada es mayor al que se puede obtener mediante el uso de dispositivos convencionales, como son el uso del mouse y teclado frente a un computador. En su estudio, Billingham et al. [10] hace una comparación de los resultados obtenidos en el nivel de colaboración de los usuarios mediante la realización de un trabajo utilizando Realidad Aumentada y de otros usuarios realizando el mismo trabajo en un formato cara a cara. Los resultados que se presentan son alentadores a favor del uso de Realidad Aumentada.

Estos hechos llevan a pensar que sería posible utilizar esta tecnología, en un ambiente educacional colaborativo para trabajar con conceptos abstractos, como por ejemplo el Universo, el Sistema Solar y el planeta Tierra. Estos contenidos son vistos durante el primer semestre de tercer año de educación general básica de una forma indagatoria [44]. Hoy en día se promueven una serie de actividades que permiten a los alumnos adquirir estos conocimientos no sólo leyéndolos de un libro o por medio de la explicación oral del profesor. Entre estas actividades se propone observar láminas del Sistema Solar, realizar dibujos en el cuaderno y construir maquetas usando esferas de polietileno [44]. Sin embargo, estos recursos son bastante limitados para entregar una idea completa del Sistema Solar a los alumnos, ya que, entre otras características, son elementos estáticos que no son capaces de mostrar el movimiento de los distintos elementos.

Toda esta presencia de las TIC en nuestras vidas hace necesario considerar cómo son las interfaces a través de las cuales interactuamos con la tecnología. Ya no es posible suponer que quienes usan los computadores son sólo personas con conocimientos avanzados en el área, por lo que si se espera que las nuevas aplicaciones desarrolladas puedan ser usadas por el común de los usuarios se debe poner un énfasis adicional en su usabilidad.

Existe también un factor económico para considerar la aplicación de una evaluación de usabilidad. En 1992 Myers y Rosson [46] estimaron que el 48% del código de una aplicación pertenecía a las interfaces del software, por tanto, un estudio de usabilidad adecuado puede ahorrar considerables esfuerzos en el ciclo de desarrollo.

Con el fin de integrar las TIC para apoyar la enseñanza en niños de tercer año de educación general básica se propone el diseño y desarrollo de una herramienta basada en la tecnología de Realidad Aumentada específicamente creada para el apoyo de la enseñanza y el aprendizaje del Sistema Solar.

## **1.2.Motivación**

La motivación de esta memoria es integrar el uso de Realidad Aumentada en una aplicación educativa para niños de tercer año de educación general básica. De este modo se busca observar si el uso de ésta tecnología tiene cabida en contextos educativos que involucran a niños de 8 y 9 años de edad.

El proceso de desarrollo tiene su principal énfasis en el diseño del software y sus interfaces, el cual se sustenta en evaluaciones de usabilidad que permiten obtener un producto que es usable para los alumnos. Se espera que la herramienta desarrollada sea un apoyo que complemente la enseñanza del Sistema Solar proveyendo representaciones gráficas adecuadas.

## **1.3.Objetivos**

### **Objetivo general**

Diseñar, desarrollar y evaluar la usabilidad de una herramienta con tecnología de Realidad Aumentada (AR) para el apoyo de la enseñanza y el aprendizaje del Sistema Solar en niños de tercer año de educación general básica.

### **Objetivos específicos**

- Construir un sistema de Realidad Aumentada que permita apoyar el aprendizaje del Sistema Solar en alumnos de tercer año de educación general básica.
- Evaluar la usabilidad del sistema ARSolarSyste con usuarios finales.
- Evaluar el impacto del uso de un sistema de Realidad Aumentada en alumnos de tercer año de educación general básica.

---

## **2. Capítulo - Marco Teórico**

---

## 2.1.TIC y Educación

Por varias décadas se ha especulado respecto del impacto que podría tener en los distintos niveles de la educación la revolución de las TIC. Esa especulación, y los múltiples ensayos que la siguieron, se han convertido en los últimos años, especialmente a partir del desarrollo de la Web, en un gran movimiento que está transformando la educación en muchos lugares del mundo desarrollado [17].

Sin embargo, es error pensar que las TIC son la panacea de la educación. Son herramientas y materiales de construcción que facilitan el aprendizaje, el desarrollo de habilidades y distintas formas de aprender, estilos y ritmos de los aprendices. Es decir, No deben ser consideradas como un fin, sino, como un medio. La tecnología es utilizada tanto para acercar al aprendiz al mundo, como el mundo al aprendiz. [2]

Se puede definir la integración de TIC al currículo de instituciones educativas como “la generación de Ambientes de Aprendizaje enriquecidos (AAe) con el uso intencionado, enfocado y efectivo de las TIC. Con estos AAe se busca promover, facilitar y enriquecer la comprensión de temas y conceptos propios e importantes de las asignaturas fundamentales dentro del proceso educativo, profundizar en ellos y realizar investigación sobre los mismos.” [1]

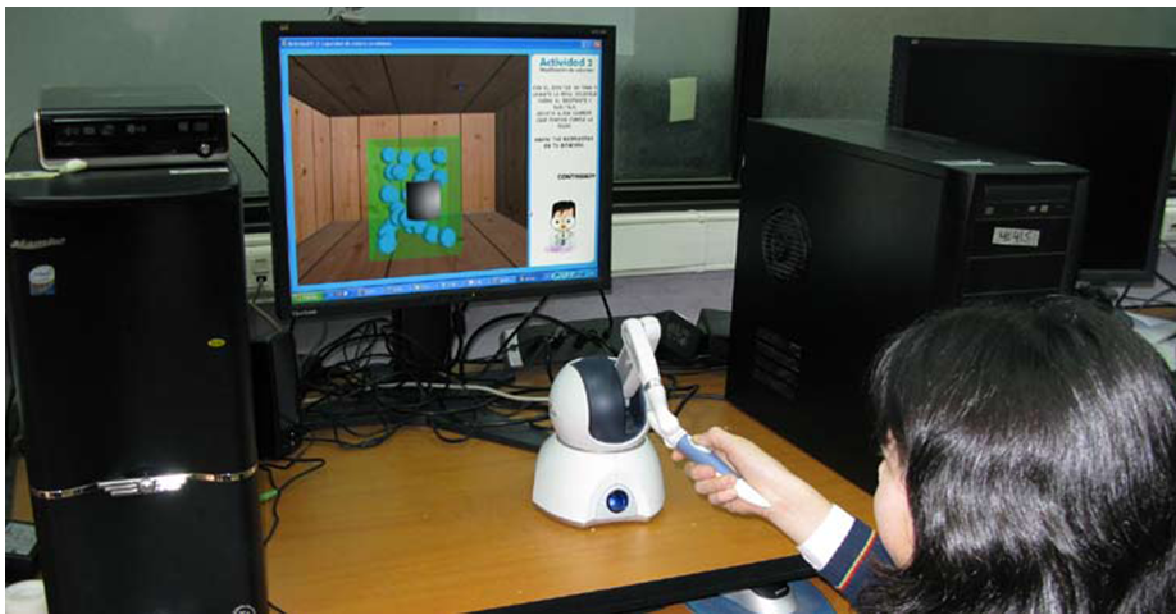
Integrar curricularmente las TIC es utilizarlas como herramientas para estimular el aprender de un contenido específico en algunas de las diferentes áreas curriculares o en un contexto multidisciplinario. La integración curricular de TIC busca hacer una contribución específica al aprendizaje, ofreciendo metodologías, recursos y contextos de aprendizaje más difícil de implementar a través de otros medios [62]. Una efectiva integración de las TIC se logra cuando la tecnología llega a ser parte integral del funcionamiento de la clase y tan asequible como otras herramientas utilizadas para aprender, es decir, cuando las TIC se utilizan en las aulas de forma cotidiana para tareas variadas, como experimentar, simular, aprender un idioma, diseñar, y tan naturales como escribir, comunicarse y obtener información, todo ello en forma “invisible”. La integración curricular de las TIC va más allá de simplemente utilizar la herramienta y se sitúa en el nivel de innovación del sistema educativo [26].

El Ministerio de Educación de Chile tiene como tema preferencial en su agenda la incorporación de las TIC en las prácticas pedagógicas, por lo que ha invertido una gran cantidad de recursos en diferentes programas estratégicos con el propósito de contribuir al mejoramiento de la educación y al desarrollo de una cultura digital en la ciudadanía con calidad, equidad y pertinencia. [66]

En 2001 se crea el portal educarchile.cl [16], cuyo objetivo es “contribuir a mejorar la calidad de la educación, siendo un lugar de participación que ofrece información, recursos, servicios y experiencias educativas a docentes, estudiantes, familias y especialistas” [22].

Otro programa de integración de las TIC en Chile es TICEDU de FONDEF, creado en 2002, tiene como foco “el mejoramiento de los procesos de aprendizaje mediante soluciones educativas que incluyan desarrollos de TIC” [53]. En este programa tuvo cabida el proyecto “Experiencias virtuales con átomos, números y planetas”, ejecutado por la Facultad de Ingeniería de la

Universidad de Concepción, y que tuvo por objetivo “contribuir a la innovación en la enseñanza de la física, química y matemáticas en la educación básica, haciendo posible el desarrollo de material educativo que incorpora tecnologías de visualización y elementos hápticos” [22]. La aplicación de estas tecnologías permitiría a los estudiantes experimentar con conceptos abstractos que de otra forma son de difícil representación, tales como fuerza, energía, movimiento o presión. La Figura 1 muestra el software 3DCIENCIAS desarrollado por el proyecto usando háptica y visualizaciones en 3D.



**Figura 1: 3DCIENCIAS**

Otra iniciativa que es necesaria mencionar es Enlaces del Ministerio de Educación, cuya misión es “contribuir al mejoramiento de la calidad de la educación mediante la informática educativa y el desarrollo de una cultura digital en la ciudadanía con calidad, equidad y pertinencia” [18]. Este proyecto ha permitido que el 95% de los estudiantes del sector público tengan acceso a las nuevas tecnologías, mediante la implementación de laboratorios de computación, laboratorios móviles con ClassMates y en el último tiempo, con la entrega de netbooks a los establecimientos escolares [18].

La tecnología está innovando y facilitando los procesos de aprendizaje y enseñanza tanto en Chile como en el mundo. Sin embargo, su inserción en un contexto escolar y más aún lograr que genere interés en los alumnos para que la utilicen con objetivos de aprendizaje es una tarea compleja [21].

## **2.2. Realidad Aumentada**

### **¿Qué es?**

Un sistema de Realidad Aumentada es aquel que complementa el mundo real mediante el uso de elementos virtuales generados por computador que parecen coexistir en el mismo espacio que los elementos reales [55].

Podemos definir la realidad aumentada como un punto entre la realidad y la Realidad Virtual. En la Realidad Virtual el usuario se ve completamente inmerso en el mundo virtual, perdiendo toda noción del mundo real alrededor de él. En la Realidad Aumentada el usuario ve el mundo real con elementos virtuales superpuestos o combinados con el mundo real que le rodea. La Realidad Virtual reemplaza completamente el mundo real por uno virtual, la Realidad Aumentada, en cambio, lo complementa, el resultado es algo similar a lo que se ve en la primera parte de la película SpaceJam o en Quién engañó a Roger Rabbit? [60]



**Figura 2: Continuo Realidad-Virtualidad [42].**

Para comprender mejor la relación entre el mundo real, Realidad Aumentada y Realidad Virtual, se presenta la Figura 2. En el extremo izquierdo de la figura está el entorno real, es decir, el mundo real en el que vivimos, mientras en el lado derecho está el entorno virtual, la Realidad Virtual, en el que no sólo lo que vemos puede ser reemplazado si no también las leyes que gobiernan al mundo real, como la gravedad el tiempo, etc. Entre estos dos extremos tenemos lo que se denomina Realidad Mixta, en la cual los elementos reales y virtuales son presentados de forma conjunta en el mismo dispositivo de visualización. Un caso particular de la Realidad Mixta es la Realidad Aumentada, en la cual se agregan elementos virtuales al mundo real complementándolo. A la derecha de la Realidad Aumentada podemos ver la Virtualidad Aumentada, en la cual se cuenta con un entorno completamente virtual sobre el que se posicionan elementos reales, un ejemplo de esto es el programa del tiempo, en que todo lo que se ve en pantalla es generado por un computador sobre un fondo verde y sobre este entorno virtual se posiciona la persona [43][42].

Si bien esta tecnología existe hace ya algunas décadas, sólo hace algunos pocos años que la Realidad Aumentada se ha vuelto accesible para las personas en general, gracias a los avances en procesamiento realizados en computadores de escritorio, notebooks e incluso equipos móviles, al igual que en otras tecnologías. En la actualidad las aplicaciones de Realidad Aumentada están tan a la mano como cualquier otra aplicación de PC o smartphone [31].

La Realidad Aumentada es una tecnología que entrega una nueva forma de interacción entre el usuario y el computador mediante el uso de elementos tangibles y permite un trabajo en grupo cara a cara en que todos los participantes pueden trabajar sin la necesidad de estar compartiendo

un teclado o un mouse [10]. Esto supone una ventaja en el trabajo con respecto a otras tecnologías que utilizan representaciones en 3D en el computador.

En este sentido, se han realizado estudios para comprobar la capacidad de esta tecnología para apoyar el trabajo colaborativo [9][10], permitiendo a los usuarios interactuar con objetos virtuales en 3D ubicados en el espacio entre los usuarios [32]. Billingham, Weghorst y Furness probaron que los usuarios colaboran más entre ellos en un ambiente de Realidad Aumentada que les permite interactuar cara a cara que en un ambiente de completa inmersión como es la Realidad Virtual [38].

Para este estudio se define un sistema de Realidad Aumentada como aquel que cumple con las siguientes 3 características:

- Combina elementos reales y virtuales en el mundo real
- Es interactivo en tiempo real
- Registra y posiciona los elementos virtuales considerando la tridimensionalidad del mundo real

Si bien la Realidad Aumentada puede incluir diversos sentidos como la visión, el sonido y el tacto, este estudio sólo se enfocara en el primero, la visión. La Figura 3 muestra un ejemplo de Realidad Aumentada en que un modelo 3D puede ser visto caminando sobre la carátula de una caja de CD.

Con el acceso generalizado a la Realidad Aumentada, se están estudiando nuevos usos y se están conduciendo nuevos experimentos. La mayoría de las aplicaciones que existen actualmente están diseñadas para el área de marketing [64][15][57], para obtener información basada en la posición [37] o para el ocio [5][3], sin embargo esto cambia a medida que aparecen nuevas herramientas. La realidad aumentada está en posición para entrar en el uso generalizado. [31]



**Figura 3: Ejemplo de Realidad Aumentada.**

## **Realidad Aumentada y Educación**

El Informe Horizon 2010 ubica a la Realidad Aumentada como una de las 2 tecnologías emergentes que probablemente tendrán un uso generalizado en campus universitarios en un horizonte de implantación de dos a tres años [31].

En la actualidad existen algunas aplicaciones de Realidad Aumentada que han sido utilizadas para la enseñanza de contenidos. En general, los contenidos que se han abordado utilizando esta tecnología son aquellos en que el alumno requiere ser capaz de manejar un alto nivel de abstracción para comprenderlos. Al permitir interactuar con distintos elementos, la Realidad Aumentada permite que los alumnos sean capaces de percibir y controlar objetos que de otra forma sería imposible. Por otro lado, al no eliminar el contexto del mundo real, esta tecnología permite que esto sea realizado sin perder la comunicación y colaboración que pueden ser necesarios en distintos contextos educacionales. Uno de los estudios que ejemplifica mejor este punto es Molecular Structure, desarrollado por LarnGear Technology [29][35].

En Molecular Structure se diseñó e implementó una aplicación para la enseñanza de las moléculas mediante el uso de modelos tridimensionales con los que los alumnos pueden interactuar gracias al uso de fichas con marcadores impresos en ellas y a la Realidad Aumentada. La aplicación fue desarrollada utilizando ARToolKit y permite a los usuarios interactuar de diversas formas con los objetos virtuales. Les permite ver información relativa a cada uno de los objetos y componerlos para formar nuevas estructuras y ver distintas representaciones de estas. La aplicación fue desarrollada y probada con alumnos en recintos educacionales en Tailandia. Los resultados mostraron una buena aceptación por parte de los estudiantes respecto del sistema y mejoras en sus capacidades para resolver problemas de Química Inorgánica relacionados con estructuras cristalinas en 3D.

Por último, se menciona Google Sky Map [25], un software que permite al usuario ver información sobre las estrellas y constelaciones mientras las observa a través de un dispositivo móvil. La aplicación requiere un dispositivo con cámara web, GPS y sistema operativo Android.

## **Herramientas para la Creación de Aplicaciones de AR**

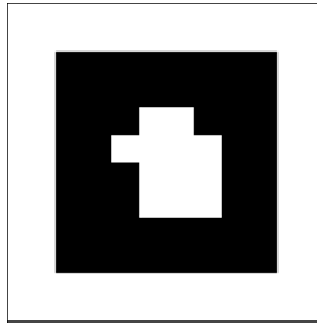
En esta sección se presentan una serie de herramientas que proveen distintos acercamientos para resolver el problema de tracking de la cámara al momento de crear una aplicación de Realidad Aumentada. Las tres técnicas principales son tracking basado en marcadores, odometría visual y tracking sensorial (GPS, compas, etc.).

### ***ARToolKit***

ARToolKit fue diseñado originalmente por el Dr. Hirokazu Kato, y su continuo desarrollo está respaldado por el Human Interface Technology Laboratory (HIT Lab) de la Universidad de Washington, HIT Lab NZ de la Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda y ARToolworks, Inc, Seattle.

Es una librería para la construcción de aplicaciones de Realidad Aumentada que utiliza algoritmos de visión computacional para resolver el problema del tracking. Las librerías para tracking de

video de ARToolKit usan múltiples marcadores físicos para calcular la posición y orientación real de la cámara en tiempo real. Esto facilita el desarrollo de un amplio rango de aplicaciones de Realidad Aumentada. La Figura 4 muestra un posible marcador usado por ARToolKit.

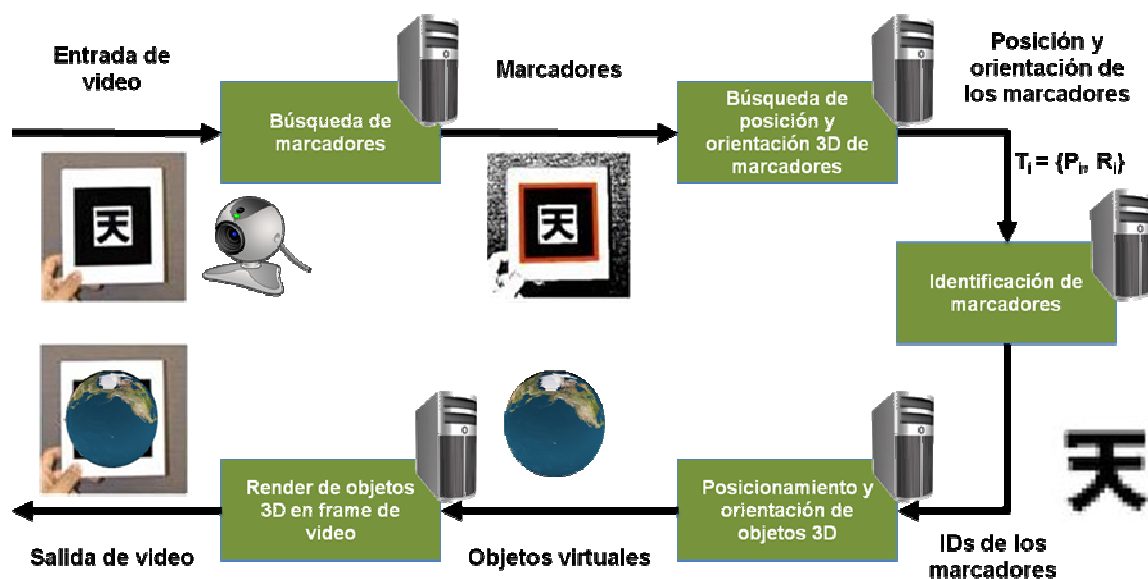


**Figura 4: Marcador**

El tracking de ARToolKit funciona de la siguiente manera:

1. La cámara captura el video del mundo real y lo envía al computador.
2. El software en el computador revisa cada cuadro de imagen del video en busca de una figura con forma de cuadrado.
3. Si se encuentra el cuadrado, el software usa algoritmos matemáticos para calcular la posición de la cámara relativa al cuadrado.
4. Una vez que la posición de la cámara se conoce, se dibuja un modelo gráfico computacional desde la misma posición.
5. El modelo es dibujado sobre el cuadro de video del mundo real y así parece estar sobre el marcador cuadrado.
6. El resultado final se muestra en el dispositivo de video (monitor, proyector, etc.), así, cuando el usuario mira en este, ve el modelo gráfico superpuesto en el mundo real.

La librería es capaz de realizar el tracking de la posición de la cámara relativa al marcador en tiempo real, asegurando así que los elementos virtuales siempre aparezcan superpuestos en el marcador. La Figura 5 resume los pasos explicados anteriormente.



**Figura 5: Diagrama paso a paso de la creación de un cuadro de video de Realidad Aumentada usando ARToolKit [7]**

ARToolKit sólo tiene capacidad para hacer tracking de la posición/orientación de una cámara. Además, dado que usa sólo visión computacional, los objetos virtuales aparecen sólo cuando los marcadores a los que se les hace tracking están en el ángulo de visión de la cámara. Esto puede limitar el tamaño y movilidad de los objetos virtuales. También significa que si los usuarios cubren parte de los marcadores, con sus manos u otros objetos, los elementos virtuales desaparecen.

También existen limitantes de rango. Mientras más grande es el marcador físico usado, de más lejos puede ser detectado y por tanto mayor el volumen en que el usuario puede ser rastreado. La tabla en la Figura 6 muestra algunos rangos máximos típicos para marcadores cuadrados de distintos tamaños según se presentan en la documentación de la librería. Estos resultados fueron obtenidos haciendo patrones de marcadores de un rango de tamaños distintos, ubicándolos de forma perpendicular a la cámara y moviendo la cámara hacia atrás (alejándose del marcador) hasta que el elemento virtual en el marcador desapareciera.

| <b>Tamaño del<br/>marcador (pulgadas)</b> | <b>Rango de<br/>uso (pulgadas)</b> |
|-------------------------------------------|------------------------------------|
| <b>2.75</b>                               | 16                                 |
| <b>3.50</b>                               | 25                                 |
| <b>4.25</b>                               | 34                                 |
| <b>7.37</b>                               | 50                                 |

**Figura 6: Tabla de información de tamaño de marcadores y su rango de uso**

La complejidad del patrón en el marcador también puede afectar el rango en el tracking. Mientras más simple sea el patrón mejor será el tracking de este. El tracking también se ve afectado por la orientación de la cámara relativa al marcador, mientras mayor es el ángulo que se produce el tracking se vuelve menos confiable. Finalmente, hay que considerar que las condiciones de

iluminación también afectan el tracking del marcador ya que la luz crea reflexión y puntos de brillo en la superficie del marcador haciéndolo así más difícil de encontrar para el algoritmo de visión computacional, sin embargo, esto puede ser minimizado mediante el uso de materiales no reflectivos.

### ***FLARToolKit***

Esta es una versión portada de ARToolKit a Adobe Flash ActionScript 3 [20]. Funciona de la misma forma que ARToolKit pero es posible ver las aplicaciones a través de la web.

Al trabajar con esta herramienta se pudo observar que su principal ventaja es la facilidad que entrega y el poco tiempo necesario para la creación de una aplicación de Realidad Aumentada. Esto se acrecienta aún más mediante el uso de FLARManager [19], que estructura las aplicaciones creadas de forma que quien las programa no deba preocuparse de nada más que la interacción del usuario con los marcadores. Puede ser usado con motores gráficos como Papervision3D, Away3D, Sandy y Alternativa3D.

Además fue posible notar que está pensado para ser usado en aplicaciones web por diseñadores y prácticamente no requiere conocimientos previos de programación.

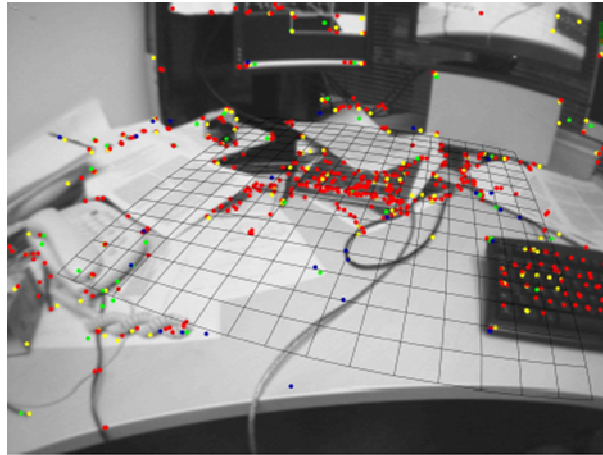
Existen una serie de librerías portadas de ARToolKit que no se describirán en este trabajo. Todas ellas comparten características muy similares y casi las mismas capacidades y ventajas que FLARToolKit y pueden o no estar dirigidas a la creación de aplicaciones web. Algunas de estas librerías son NyARToolkit [50] (portada a Java) y ARMedia Plugin [4] (para trabajar con Google SketchUp).

### ***PTAM***

PTAM fue desarrollada y es mantenida hoy en día por Active Vision Group en el Departamento de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad de Oxford [54].

La librería utiliza odometría visual. Al trabajar con ella se pudo observar que provee la capacidad de hacer tracking de la escena sin la necesidad de un mapa previo o marcador. Específicamente, hace tracking de una cámara en una escena de la que no se tiene conocimiento previo, sin objetos conocidos o inicialización de objetivos, mientras crea un mapa del entorno. Una vez que se ha construido un mapa rudimentario, se utiliza para insertar objetos virtuales en la escena, y estos se posicionan de forma precisa en relación con los objetos reales del entorno.

Dado que no se utiliza un mapa previo, el sistema no tiene una comprensión profunda del entorno del usuario y esto excluye muchas aplicaciones de Realidad Aumentada basadas en tareas. El método utilizado para proveer al usuario con una aumentación significativa es tratar el mapa generado como un campo de juego en el cual se pueden crear simulaciones virtuales. En particular, estima cual es el plano dominante (un plano virtual) a partir de los puntos mapeados – un ejemplo de esto se muestra en la Figura 7 – y permite que en este se agreguen elementos virtuales. En esencia, transforma cualquier superficie plana (y razonablemente texturizada) en un campo de juego para simulaciones de realidad aumentada.



**Figura 7: Tracking de una nueva escena usando PTAM [34]**

Para proveer al usuario de una mayor libertad de interacción con la simulación, requiere de un tracking de la cámara que sea rápido, preciso y robusto, mientras se refina el mapa y se expande si nuevas regiones son exploradas. Este es un problema difícil, y por tanto para simplificar la tarea existen algunas restricciones impuestas a la escena sobre la cual se realiza el tracking: debe ser estática, es decir, no deformable, y debe ser pequeña. Por pequeña se quiere decir que el usuario está la mayor parte del tiempo en el mismo lugar: por ejemplo, en un escritorio, en la esquina de una habitación, o frente a un edificio en particular. Esto es compatible con un gran número de espacios de trabajos relacionados con aplicaciones de Realidad Aumentada, donde el usuario de todas formas está comúnmente ligado a un computador; sin embargo limita sus aplicaciones. Tareas exploratorias como correr por una ciudad no están soportadas. [54]

Una ventaja de PTAM es que el sistema puede hacer tracking a muchas escalas. En la Figura 8, el mapa está inicializado en la escala superior derecha; el usuario se mueve más cerca y coloca una etiqueta que aún es posicionado de forma precisa en la escena cuando es vista desde una distancia mayor [34].



**Figura 8: Escena aumentada usando PTAM vista en distintas escalas [[34].**

### ***Layar***

Layar es un proyecto privado realizado por Raimo van der Klein, Claire Boonstra y Maarten Lens-FitzGerald en Holanda [37].

Está diseñado para trabajar con dispositivos móviles y hace uso de sensores distintos de la cámara, como GPS, compas, giroscopio y acelerómetro, para obtener la posición absoluta y orientación del dispositivo y luego ubicar ciertos puntos de referencia cercanos obtenidos de una base de datos [37]. Este método hace que estas aplicaciones sean más similares a aplicaciones que son conscientes de su posición basándose en mapas que a las aplicaciones que usan los métodos presentados anteriormente.

Al analizar la forma en que Layar funciona, es posible observar que tiene ventajas claves que se deben al uso de sensores para determinar la posición y orientación. La primera es que funciona en un mayor número de entornos. Si bien el GPS comúnmente tiene problemas dentro de edificaciones, funciona muy bien de noche, en el mar y en la mayor parte del planeta.

Al trabajar con PTAM se pudo observar que la odometría visual tiene un buen funcionamiento relativo a un punto de inicio, donde se inicializa el sistema de tracking, pero no relativo a un sistema de coordenadas absoluto.

Los entornos del mundo real son muy dinámicos con personas, autos y objetos moviéndose por todos lados y que pueden interrumpir los sistemas de tracking basados en visión (como PTAM y ARToolkit), sin embargo el GPS no se ve afectado por estos objetos en movimiento ya que obtiene su información mediante ondas electromagnéticas.

Los sensores de movimiento como acelerómetros y giroscopios son sensores bastante buenos para obtener los valores de inclinación y balanceo. Los compases son un poco menos confiables dada su susceptibilidad a ser afectados por campos magnéticos cercanos y grandes objetos metálicos, sin embargo, son capaces de dar aproximaciones de hacia dónde apunta el dispositivo. Todos estos sensores funcionan bien tanto dentro de edificaciones como en entornos abiertos.

A pesar de estas ventajas, los sistemas de GPS actuales tienen importantes problemas de precisión; la mejor precisión que se puede lograr con un receptor de GPS es de 1 metro [39]. Esto significa que los sistemas de Realidad Aumentada basados en GPS no funcionan con objetos que están a menos de 10 metros de distancia.

Layar permite a los desarrolladores definir capas de contenido que son el equivalente a páginas web en navegadores de internet. Estas capas de contenido tienen información y triggers de acción que serán vistos por el usuario. Los desarrolladores pueden definir el look and feel de la capas de contenido que son mostradas al usuario usando Realidad Aumentada. Se pueden configurar múltiples parámetros como la marca, esquema de colores, título e indicadores de puntos de interés (POI, del inglés Point of Interest). Adicionalmente, se pueden agregar filtros que el usuario podrá usar para disminuir o ampliar la búsqueda de POIs. [37]



**Figura 9: Aplicación hecha usando Layar**

Al utilizar una aplicación basada en Layar se puede visualizar una capa de información en la vista aumentada. Se despliega una lista de POIs y su posición, que se obtiene a partir de un servidor. El desarrollador puede elegir qué puntos son relevantes en el contexto actual del usuario, por ejemplo, dependiendo de la hora del día y los filtros aplicados por el usuario. Cada POI tiene información que se muestra en la pantalla apenas el POI entra en foco. Para cada POI se pueden definir acciones, como por ejemplo, ir a una URL o hacer una llamada telefónica [36]. La Figura 9 muestra un ejemplo de una aplicación hecha usando Layar.

Los POIs son pedidos al servidor en base a la posición actual entregada por el GPS. El servidor entrega un documento JSON con los POIs correspondientes y su información es desplegada en la vista de Realidad Aumentada en la aplicación. La Figura 10 muestra parte de la arquitectura de Layar [37].



**Figura 10:** Sección de la arquitectura de Layar que muestra la interacción entre la aplicación cliente y el servidor donde se almacena la información de los POIs [37].

---

### **3. Capítulo - DISEÑO DE ARSOLARSYSTEM**

---

### 3.1.Descripción General

ARSolarSystem es un videojuego educativo que busca enseñar de forma entretenida e interactiva a alumnos de 8 y 9 años de edad que cursan tercer año de educación general básica sobre las distintas partes del Sistema Solar, permitiéndoles interactuar con los distintos elementos de una forma natural y divertida mediante elementos tangibles y utilizando la tecnología de Realidad Aumentada.

Como se mencionó en el subapítulo 2.2, “Realidad Aumentada”, existen una serie de formas de implementar esta tecnología. ARSolarSystem es una aplicación *standalone* diseñada para ser ejecutada en PC y que utiliza un monitor para desplegar la información al jugador. Para jugarlo, se hace necesario el uso de una cámara web y de un computador, que puede ser tanto de escritorio como un notebook o netbook.

El sistema consta de un software y fichas físicas que son utilizadas para interactuar. Se juega con 13 fichas, una que representa al Sol, ocho que representan cada uno de los planetas, una ficha de pregunta para consultar sobre los distintos elementos presentes en el videojuego y tres fichas de alternativas que son utilizadas para responder a las preguntas que el sistema hace a los jugadores. La Figura 11 muestra algunas de las fichas usadas.



**Figura 11: Subconjunto de las fichas usadas por ARSolarSystem.**

ARSolarSystem está compuesto de 3 etapas, cada una con distintas actividades, las cuales se presentan de forma incremental y deben ser realizadas en orden por los alumnos. En la primera parte, los alumnos trabajan con los elementos del Sistema Solar intentando descubrir cuál es la identidad de cada uno de los elementos. Para ello utilizan la ficha de pregunta para conseguir pistas sobre los elementos y las fichas de alternativa para indicar al sistema cual es la identidad del elemento con el que están trabajando.

En la segunda etapa, los jugadores deben lograr encontrar el orden de los planetas en torno al Sol. Aquí sólo se usan las fichas que representan a los elementos del Sistema Solar. Finalmente, en la tercera etapa, los alumnos deben observar una animación en 3D del Sistema Solar, que se presenta usando Realidad Aumentada, y responder acertadamente a preguntas que se les hacen respecto del movimiento de los elementos.

La aplicación fue diseñada para ser jugado tanto de forma individual como en parejas, también puede ser jugado por más jugadores, sin embargo, esto puede producir que algunos de los alumnos tengan un papel menos activo en el videojuego, por lo que no se recomienda. La Figura 12 muestra a dos alumnos trabajando con la aplicación.



**Figura 12: Dos alumnos trabajando con el primer prototipo de ARSolarSystem.**

### **3.2.Contenidos**

El contenido que se trabaja en ARSolarSystem es el Sistema Solar. Este contenido está presente en el programa de estudios del subsector Comprensión del Medio de tercer año de Enseñanza General Básica [44]. El contenido presentado fue elaborado y revisado con ayuda de profesionales del área.

Los contenidos abordados por el videojuego son específicamente:

- Número de planetas en el Sistema Solar.
- Nombre de cada uno de los planetas del Sistema Solar y del Sol
- La apariencia y colores de los planetas del Sistema Solar y del Sol
- Tamaños relativos de los planetas del Sistema Solar y del Sol
- Información sobre los planetas del Sistema Solar, número y nombre de satélites naturales, temperatura, etc.

- Movimiento de rotación de los planetas del Sistema Solar y del Sol, incluyendo su dirección
- Movimiento de traslación de los planetas del Sistema Solar, forma de las órbitas, velocidades relativas y planos de traslación.

Para definir la forma en que se presentan cada uno de los contenidos fue necesario recurrir a profesores. A continuación se presentan las pistas auditivas entregadas por cada uno de los elementos del Sistema Solar, las cuales entregan información al alumno para que identifique a que elemento corresponde. Cada una de estas pistas fue formulada a partir de un conjunto de conceptos y sentencias entregados por los profesores. Las sentencias originales debieron, sin embargo, ser modificadas para lograr una caracterización de los distintos elementos.

#### **Sol:**

- Estoy compuesto de dos gases, helio e hidrógeno
- La tierra y los otros siete planetas giran a mí alrededor.
- Soy la estrella más cercana a la tierra.

#### **Mercurio:**

- Al estar tan cerca del sol mi superficie tiene temperaturas muy altas.
- Soy el más pequeño de los planetas interiores.
- Mi superficie es parecida a la lunar por la gran cantidad de cráteres que tengo.

#### **Venus:**

- Auch auch, me quemo!! Mi temperatura es más alta que la de cualquier otro planeta.
- Giro en el sentido apuesto al resto de los planetas del sistema solar.
- Me puedes ver desde la tierra como una estrella luminosa.

#### **Tierra:**

- Soy el más grande de los planetas interiores!!
- Dos tercios de mi están cubiertos de agua en estado líquido.
- Soy el único que puede tener vida!!

#### **Marte:**

- Soy el planeta rojo.
- Tengo dos pequeños satélites naturales, miedo y temor.
- Soy el planeta interior más alejado del sol.

#### **Júpiter:**

- Tengo cuatro satélites principales.
- Soy un planeta con mucho brillo a lo largo del año.

- Soy el quinto planeta del sistema solar.

#### **Saturno:**

- Soy un planeta achatado en los polos.
- Tengo un sistema de anillo visible desde la tierra.
- Soy el sexto planeta del sistema solar.

#### **Urano**

- Tengo una superficie muy uniforme a diferencia del resto de los planetas
- Mi color es azul verdoso producido por la combinación de gases de mi atmósfera
- Giro en el sentido apuesto del resto de los planetas exteriores.

#### **Neptuno**

- Soy un planeta muy azulado, muy parecido a Urano.
- Soy el planeta más lejano de los planetas gigantes.
- Soy el octavo y último planeta del sistema solar.

Para la tercera y última etapa del videojuego, se definieron dos preguntas, las cuales requieren que los alumnos observen la animación del Sistema Solar que les presenta el videojuego. Las preguntas son las siguientes:

- ¿A qué figuras se parecen más las órbitas de los planetas?
- Un año es el tiempo que demora un planeta en dar una vuelta alrededor del Sol. ¿Qué planeta tiene años más largos?

### 3.3.Casos de Uso

A continuación se presentan los requisitos funcionales del videojuego en forma de casos de uso y diagramas de flujo.

#### Caso de uso “Identificar Elemento”

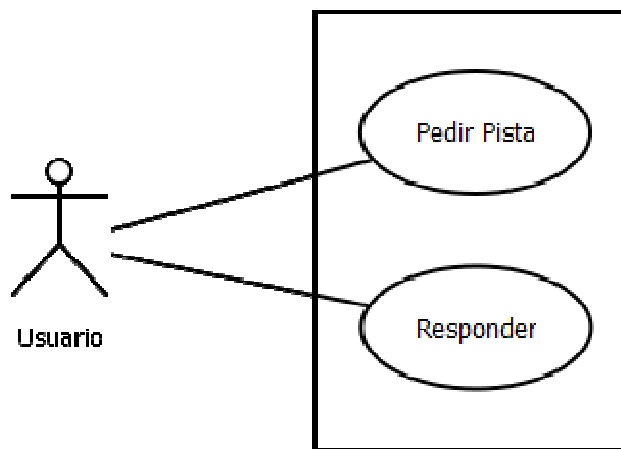
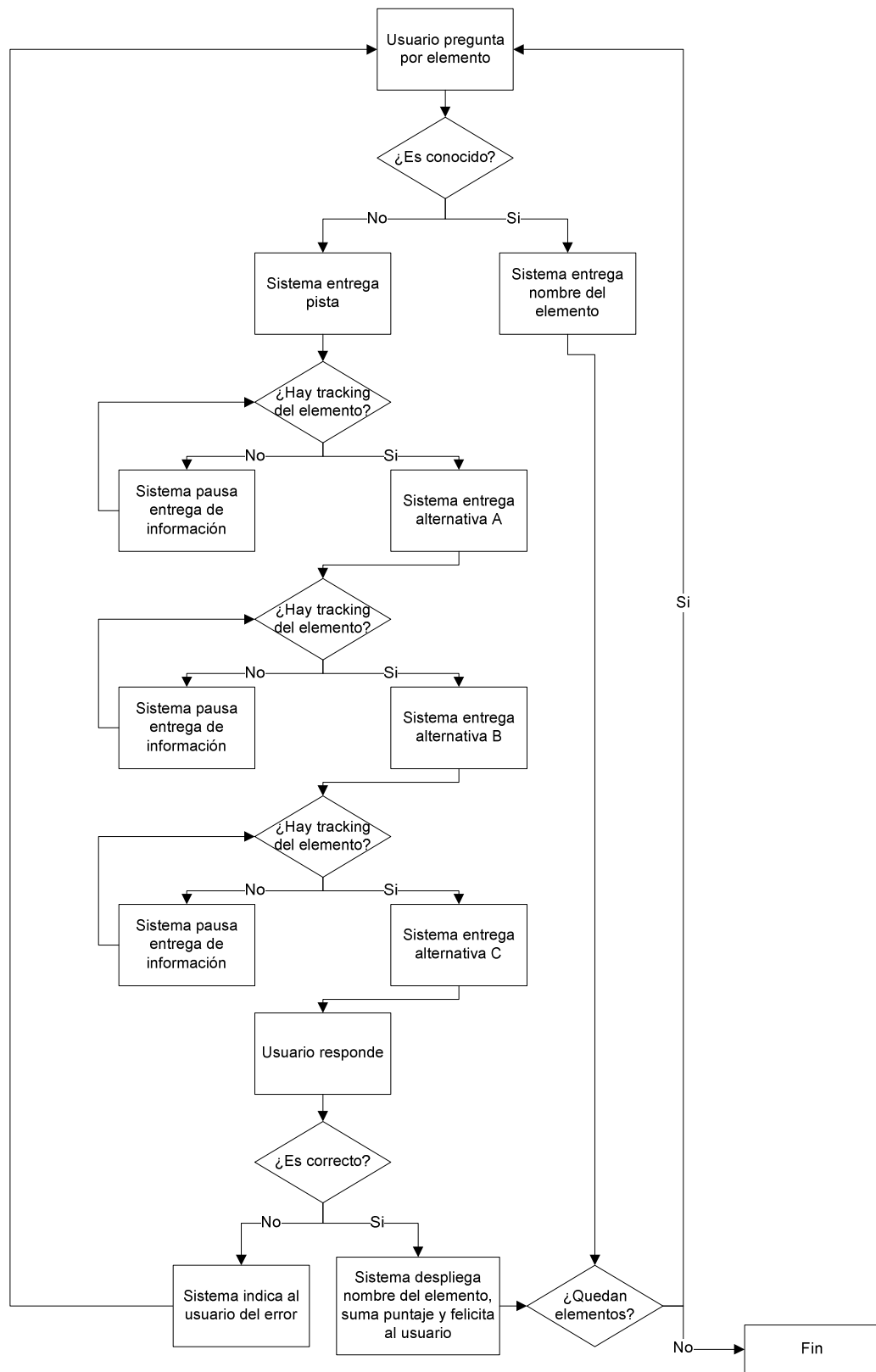


Figura 13: Caso de uso “Identificar Elemento”.

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombre            | Identificar Elemento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Descripción       | Permite identificar el nombre de un elemento del Sistema Solar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Actores           | Jugador                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Precondiciones    | El jugador ha ingresado al videojuego.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Flujo Normal      | El usuario pone la ficha de pregunta junto a la ficha de un elemento del Sistema Solar. El sistema le responde entregándole una pista sobre la identidad del elemento y 3 alternativas. Finalmente, el usuario pone la ficha de pregunta junto a una de las fichas de alternativas. Si la respuesta es correcta, el sistema suma una cantidad al puntaje del jugador, pone el nombre del elemento sobre este y felicita al usuario. Si la respuesta es incorrecta, el sistema se lo indica al usuario y el juego continúa. |
| Flujo Alternativo | Si el sistema pierde el tracking del marcador en la ficha del elemento junto al cual el usuario pone la ficha de pregunta, el sistema pausa la entrega de información (pista y alternativas). Cuando el sistema retoma el tracking del marcador en la ficha el sistema entrega la información faltante y el flujo continúa normalmente.                                                                                                                                                                                    |
| Postcondiciones   | La información que entrega el elemento junto al cual se puso la ficha de pregunta cambia y el puntaje del jugador ha variado o no según la respuesta entregada.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

La Figura 14 muestra el diagrama de flujo para este caso de uso.



**Figura 14: Diagrama de flujo de “Identificar Elemento”.**

### Caso de uso “Ordenar Sistema Solar”

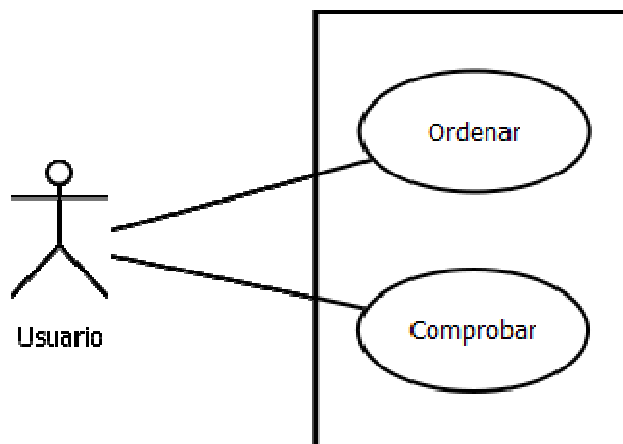
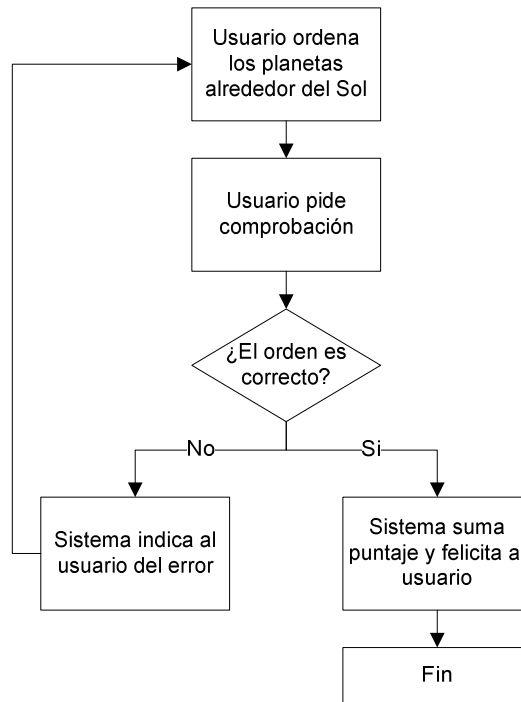


Figura 15: Caso de uso “Ordenar Sistema Solar”.

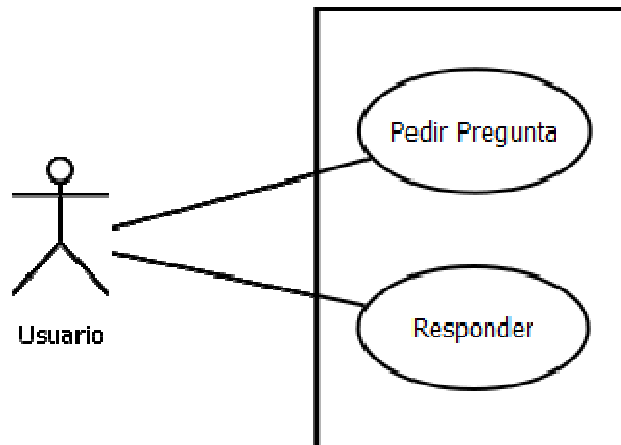
|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombre            | Ordenar Sistema Solar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Descripción       | Permite ordenar los elementos del Sistema Solar en cualquier orden y comprobar si es el orden correcto.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Actores           | Jugador                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Precondiciones    | El jugador ha identificado correctamente todos los elementos del Sistema Solar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Flujo Normal      | El jugador mueve las fichas y las ordena según como creo que están alineados los planetas del Sistema Solar respecto del Sol y luego pone la ficha de pregunta junto a la ficha que representa al Sol. El sistema comprueba si el orden es correcto, le suma una cantidad al puntaje del jugador y lo felicita. Si el orden es incorrecto le pide al usuario que vuelva a intentarlo y se reinicia el caso de uso. |
| Flujo Alternativo | El sistema pierde el tracking del marcador en una o más fichas del juego. En este caso, el usuario debe mover las fichas para que el sistema recobre el tracking sobre los marcadores. Una vez hecho esto el flujo continúa normalmente.                                                                                                                                                                           |
| Postcondiciones   | Si el orden es correcto, el puntaje del usuario se ha incrementado y se ha habilitado la etapa de exploración del Sistema Solar. De lo contrario se vuelve a la precondición.                                                                                                                                                                                                                                      |

La Figura 16 muestra el diagrama de flujo para este caso de uso.



**Figura 16: Diagrama de flujo de “Ordenar Sistema Solar”.**

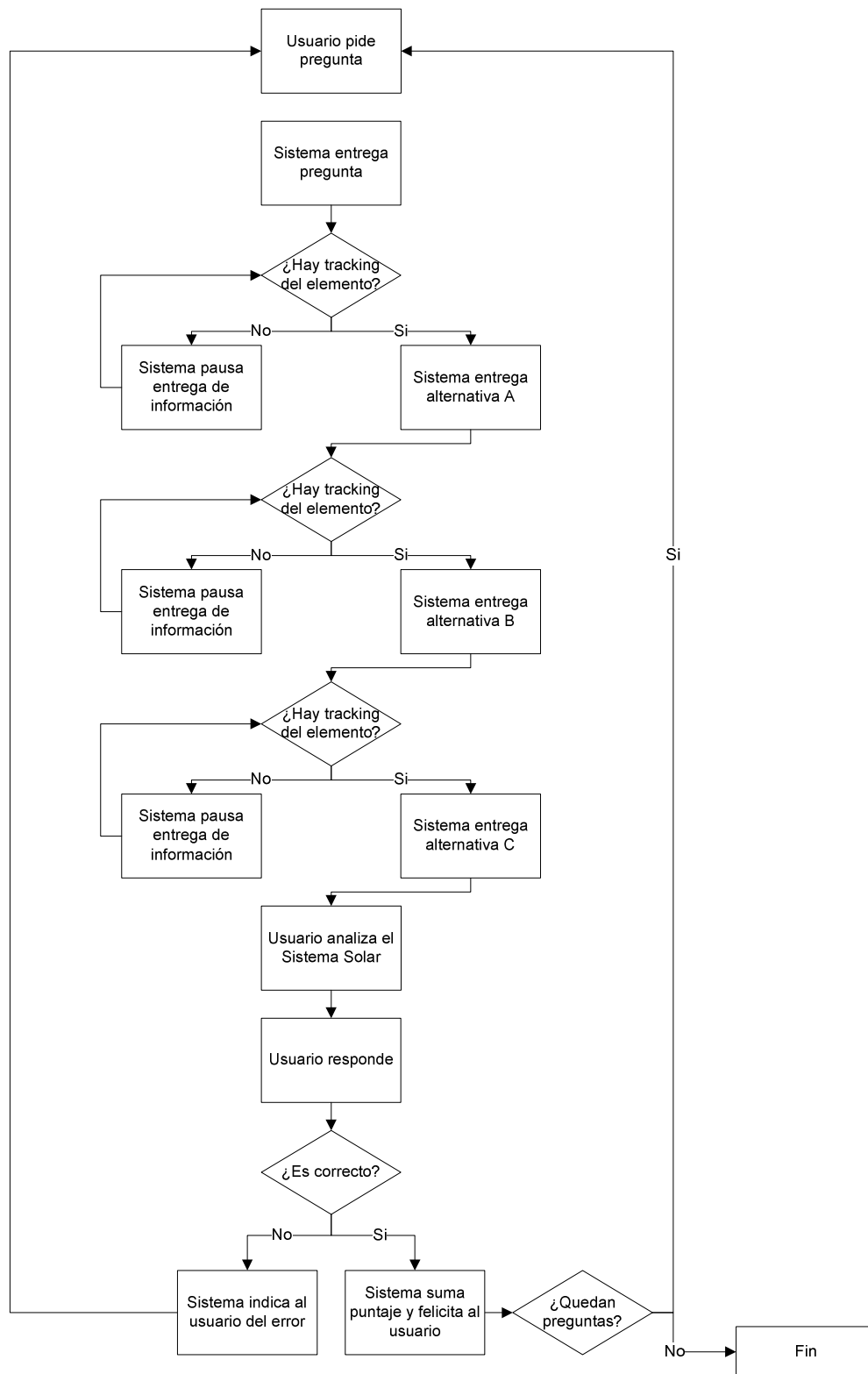
#### **Caso de uso “Explorar Sistema Solar”**



**Figura 17: Caso de uso “Explorar Sistema Solar”.**

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombre            | Explorar Sistema Solar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Descripción       | Permite pedir una pregunta sobre el Sistema Solar para luego observarlo en busca de una respuesta y responder a la pregunta.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Actores           | Jugador                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Precondiciones    | El jugador ha ordenado correctamente los planetas en torno al Sol y se encuentra observando a una animación del Sistema Solar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Flujo Normal      | El jugador pone la ficha de pregunta junto a la ficha que representa al Sol. El videojuego le hace una pregunta y entrega tres alternativas. El usuario observa el Sistema Solar en busca de la respuesta y luego responde poniendo la ficha de pregunta junto a la alternativa que cree correcta. Si la respuesta es correcta, el sistema incrementa el puntaje del jugador y lo felicita. Si la respuesta es incorrecta, el sistema se lo indica al jugador. |
| Flujo Alternativo | El sistema pierde el tracking del marcador en la ficha que representa al Sol. Se pausa la pregunta y las alternativas restantes. El usuario mueve la ficha hasta que el sistema recobra el tracking del marcador y el flujo continúa normalmente.                                                                                                                                                                                                              |
| Postcondiciones   | Si la respuesta es correcta, el puntaje del jugador se ha incrementado. De lo contrario permanece igual.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

La Figura 18 muestra el diagrama de flujo para este caso de uso.

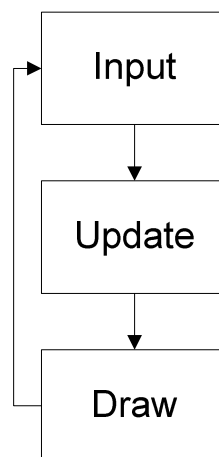


**Figura 18: Diagrama de flujo “Explorar el Sistema Solar”.**

### 3.4.Arquitectura

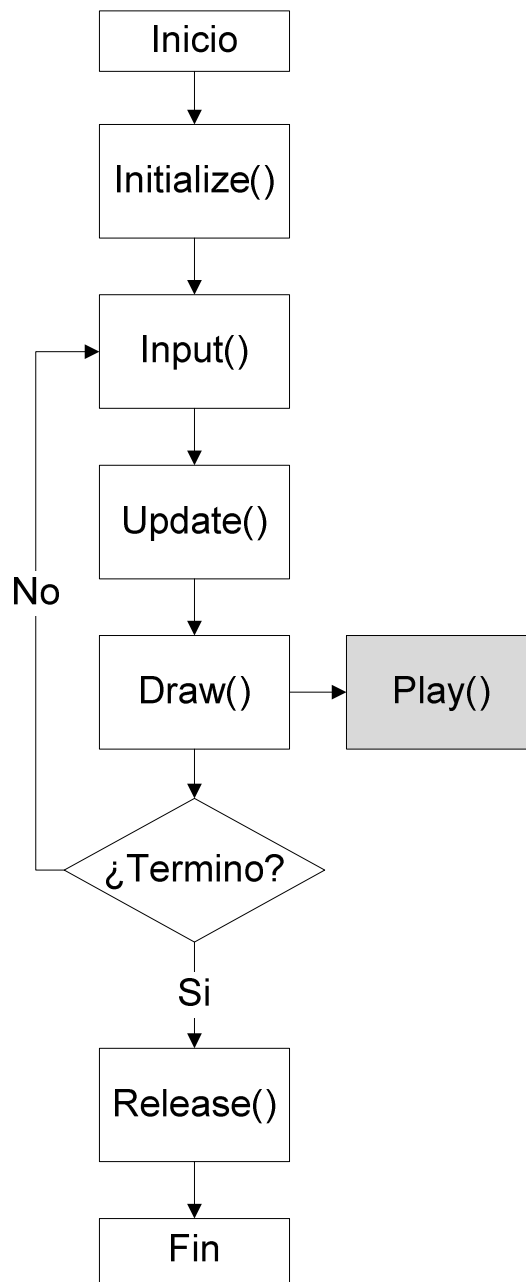
ARSolarSystem funciona mediante un ciclo de juego. Esta decisión de diseño fue tomada debido a la necesidad de permitir a la aplicación estar constantemente llevando a cabo operaciones, independiente de si el usuario realiza o no alguna acción [58]. Para detectar las acciones del jugador se usan operaciones de “polling”, esto significa que el sistema está constantemente preguntando a los distintos dispositivos de I/O (Entrada y Salida, del inglés Input and Output) sobre su estado [52].

Este concepto difiere de muchas aplicaciones que están diseñadas para operar a partir, únicamente, de eventos realizados por los usuarios. Un ejemplo de este tipo de aplicaciones son aquellas basadas en formularios. Cuando una aplicación presenta un formulario al usuario, le pide que escriba ciertos datos o información y que luego presione un botón para saber si ha terminado. Aquí la aplicación reacciona únicamente cuando el usuario presiona una tecla para escribir (dibuja una letra en pantalla) y cuando el usuario presiona el botón que indica que se terminó de llenar el formulario. Si el usuario no realiza ninguna de estas acciones, entonces la aplicación no realiza acción alguna. Este diseño no es adecuado para ARSolarSystem ni para la mayoría de los videojuegos en general, pues entre otras cosas, es necesario actualizar constantemente la información desplegada en pantalla.



**Figura 19: Ciclo de juego.**

El ciclo de juego utilizado por ARSolarSystem se puede ver en la Figura 19. El flujo consta de 3 funciones que son invocadas de forma iterativa y en una secuencia definida durante la ejecución de la aplicación. El ciclo comienza al invocar a la función `Input()`, la cual comprueba el estado de los dispositivos de I/O ocupados por la aplicación, como mouse y teclado. Posteriormente se invoca a la función `Update()`, también comúnmente denominada `Idle()`. Aquí la aplicación realiza todas las operaciones lógicas. Finalmente se invoca la función `Draw()`, también comúnmente denominada `Render()`, la cual se encarga de realizar las operaciones de dibujo de la pantalla. En el caso de ARSolarSystem, se decidió entregar adicionalmente la responsabilidad de desplegar el audio a la función `Draw()`.



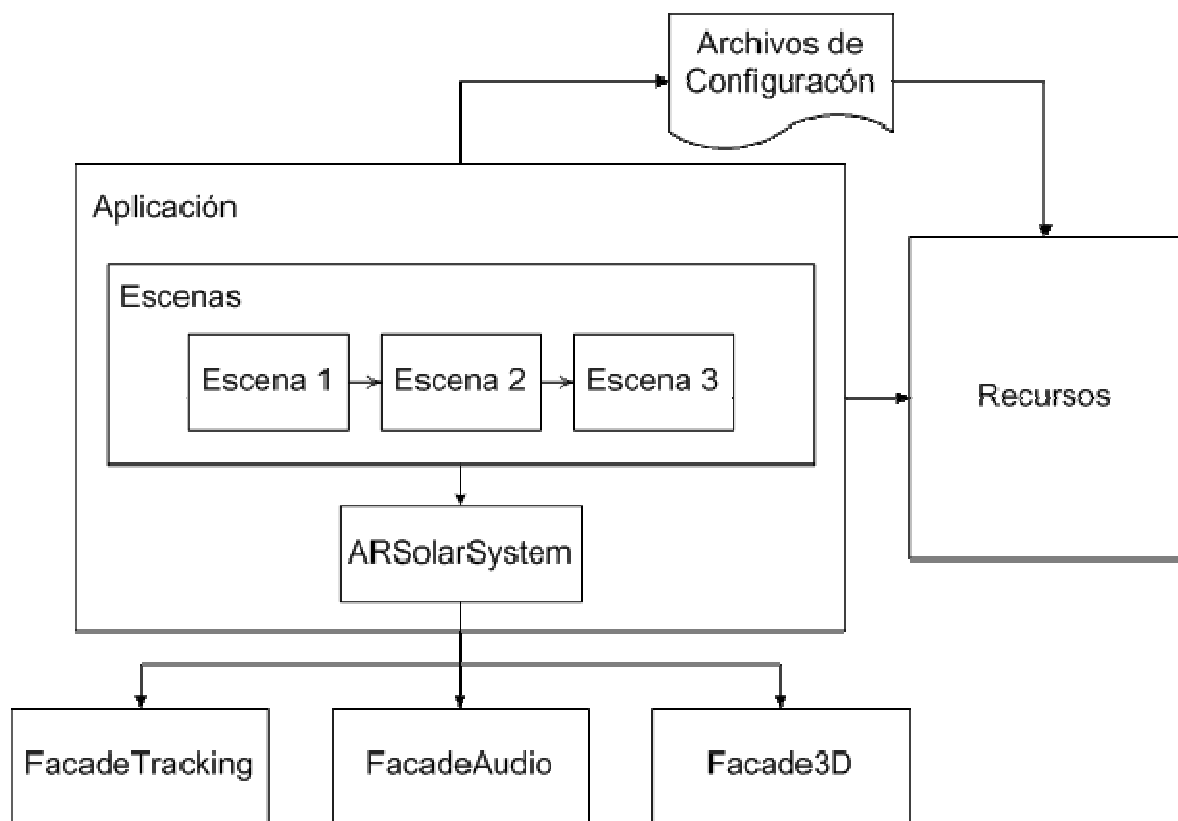
**Figura 20: Flujo de ARSolarSystem.**

El flujo completo de ARSolarSystem se presenta en la Figura 20. A continuación se describen las acciones concretas realizadas por la aplicación en cada una de las funciones del flujo:

- `Initialize()`: En esta función se realiza la inicialización y asignación de variables, instancias o estructuras necesarias para que el programa funcione. Aquí se cargan en memoria todos los elementos necesarios para la ejecución del sistema. Se realiza la inicialización y configuración de la cámara para comenzar la captura de imagen y se cargan los marcadores y los contenidos asociados a cada uno de ellos, modelos 3D e imágenes. Se inicializa la primera escena y se cargan los contenidos utilizados de forma transversal por todas las escenas del videojuego.

- `Input()`: El usuario puede interactuar con el sistema a través del teclado. Sin embargo, esto sólo se hace para navegar a través de las etapas y para configurar parámetros de captura de la cámara. Cuando se presiona alguna tecla se va ingresando información sobre esta acción a una estructura que indica qué botón se presionó. Esta estructura es analizada en este punto del flujo, por lo cual toda acción de input quedará encolada y todas impactarán en la aplicación al ejecutarse esta función.
- `Update()`: En este método se encapsulan la mayoría de las tareas de la aplicación. Inicialmente se toma el cuadro actual de la captura de video, que es provisto por la cámara web, y se extrae información sobre la existencia o ausencia de marcadores en la imagen y cuál es su posición en relación al campo visual del dispositivo. Si en este proceso se detecta una de las interacciones predefinidas en el juego, se realizan las operaciones que tiene asociadas. Esto puede ser desplegar una pregunta y sus alternativas, chequear el orden de los elementos, revisar si una respuesta es correcta, etc.
- `Draw()`: Esta es la función encargada del dibujo. Es responsable de presentar los elementos del juego en pantalla. En particular, aquí se encuentran todas las acciones que tienen relación con la interfaz de salida, la cual será utilizada por el usuario del sistema. En ARSolarSystem esta interfaz considera tanto el video como el audio. Se tomó la decisión de diseño de incorporar, además del render (o dibujo) de la pantalla, la lógica de reproducción de pistas de audio. Si bien esto podría haberse realizado también en `Update()`, pareció más natural ejecutarlo aquí. Sin embargo, se generó una separación adecuada entre ambos tipos de elementos. Todo lo relacionado con la reproducción de audio se encapsuló en una función por separado llamada `Play()`, la cual es invocada por la función `Draw()`.
- `Release()`: Si la ejecución del programa termina, es decir, se han completado todos los niveles del videojuego, todo recurso cargado en memoria es liberado por esta función. Si bien esto no es obligatorio para una aplicación, debería considerarse en cualquier flujo de programa ya que es considerado una buena práctica.

En el diseño del videojuego se consideró de gran importancia la escalabilidad del sistema. Es por esto que se diseñó una arquitectura basada en escenas o niveles, que permitiera incorporar de forma rápida y sencilla nuevos niveles al videojuego. La Figura 21 muestra la arquitectura del sistema, en ella se puede ver cómo están consideradas las escenas en la aplicación.



**Figura 21: Diagrama de Arquitectura.**

El programa principal contiene la instancia de un videojuego particular, ARSolarSystem, el cual contiene todas las variables y funciones fundamentales que lo caracterizan y son propias de él. Aquí se mantienen variables como el puntaje, los marcadores, las rutas de sonidos comunes a cada una de las etapas, contantes del videojuego como la distancia de colisión entre marcadores, instancias de comunicación con componentes externos, etc.

Por otro lado, el programa principal también contiene una definición de escenas, las cuales corresponden a los distintos niveles del videojuego. Cada escena es capaz de ejecutarse por sí sola pues posee su propia lógica. El programa principal entrega el control a cada una de estas escenas de forma secuencial. Este diseño permite simplificar la incorporación de nuevas etapas y eliminación de aquellas que no se consideran que continúen siendo útiles, ya que no existe una dependencia entre ellas.

Las escenas se mantienen en una estructura que indica el orden en que deben ser invocadas. Generalmente, la estructura utilizada es un grafo en que cada escena corresponde a un nodo. Sin embargo, ARSolarSystem es un videojuego lineal en que no es necesario tomar decisiones respecto del flujo del juego. Es por esto que se decidió utilizar un arreglo para disponer de las escenas.

Una de las ventajas principales de este diseño, además de la escalabilidad, es la facilidad con que se puede pasar de una escena o etapa a otra, ya que cada una es responsable de su inicialización (`Initialize()`), actualización (`Update()`), render (`Draw()` y `Play()`) y limpieza

(Release()). El manejo del input (Input()), sin embargo, se dejó a cargo de la aplicación principal, ya que en el caso de ARSolarSystem, no existe un manejo diferenciado por escenas del uso del teclado.

Los recursos son accedidos por la aplicación de dos formas distintas. Los marcadores y todos los elementos relacionados a estos (modelos 3D, sonidos y textos) son accedidos a través de archivos de configuración cuyas rutas están definidas en el componente ARSolarSystem. Esto hace que sean fácilmente editables. Por otro lado, los sonidos que no están asociados a un marcador en particular tienen sus rutas definidas directamente en el código, lo cual hace que sea más difícil su edición, sin embargo, son los menos.

Finalmente, se pueden identificar tres componentes esenciales para el funcionamiento de la aplicación, estos elementos son accedidos a través del componente ARSolarSystem y se describen a continuación:

- Sistema de Tracking: Corresponde al sistema que es capaz mediante el procesamiento de un cuadro de video, de obtener información que permite identificar ciertos objetos de interés y hacerles seguimiento, detectando su posición, orientación y escala relativa a la cámara en todo momento. Esto es la base para realizar aplicaciones de Realidad Aumentada.
- Sistema de Rendering: La interfaz gráfica es de vital importancia en el sistema. Los elementos gráficos son modelos en 3D que deben ser cargados y dibujados por la aplicación en la pantalla. El uso de elementos gráficos es vital para la aplicación desarrollada.
- Sistema de Sonido: Ya que los usuarios obtendrán parte de la información utilizando una interfaz basada en audio, se hace necesario tener un sistema que facilite su uso e integración con la aplicación desarrollada.

Existen numerosas librerías para implementar las funcionalidades asociadas a los distintos sistemas mencionados. Algunos ejemplos son ARToolkit [6], y OpenCV [51] para implementar el tracking, DirectX [41] y OpenAL [28] para la reproducción de sonido y formatos como VRML [67] y COLLADA [13] para los modelos 3D. Esto hace que en el futuro sea necesario modificar alguno de estos sistemas, ya sea cambiando el formato de archivos de audio, cambiando el tipo de objetos sobre el cual se realiza el tracking, o modificando el formato de los modelos a desplegar.

La arquitectura del sistema fue diseñada pensando en esto, por lo que se crearon componentes para abstraer estas funcionalidades. La aplicación se comunica con tres componentes llamados FacadeTracker, FacadeAudio y Facade3D, los cuales encapsulan las librerías ARToolkit, OpenAL y ARVRML respectivamente. Estos componentes corresponden a una capa de abstracción. Se siguió el patrón denominado Facade, el cual busca proveer una interfaz unificada a un conjunto de interfaces en un subsistema, definiendo una interfaz de alto nivel fácil de utilizar [23].

---

## **4. Capítulo - DESARROLLO DE ARSOLARSYSTEM**

---

#### 4.1.Interfaces

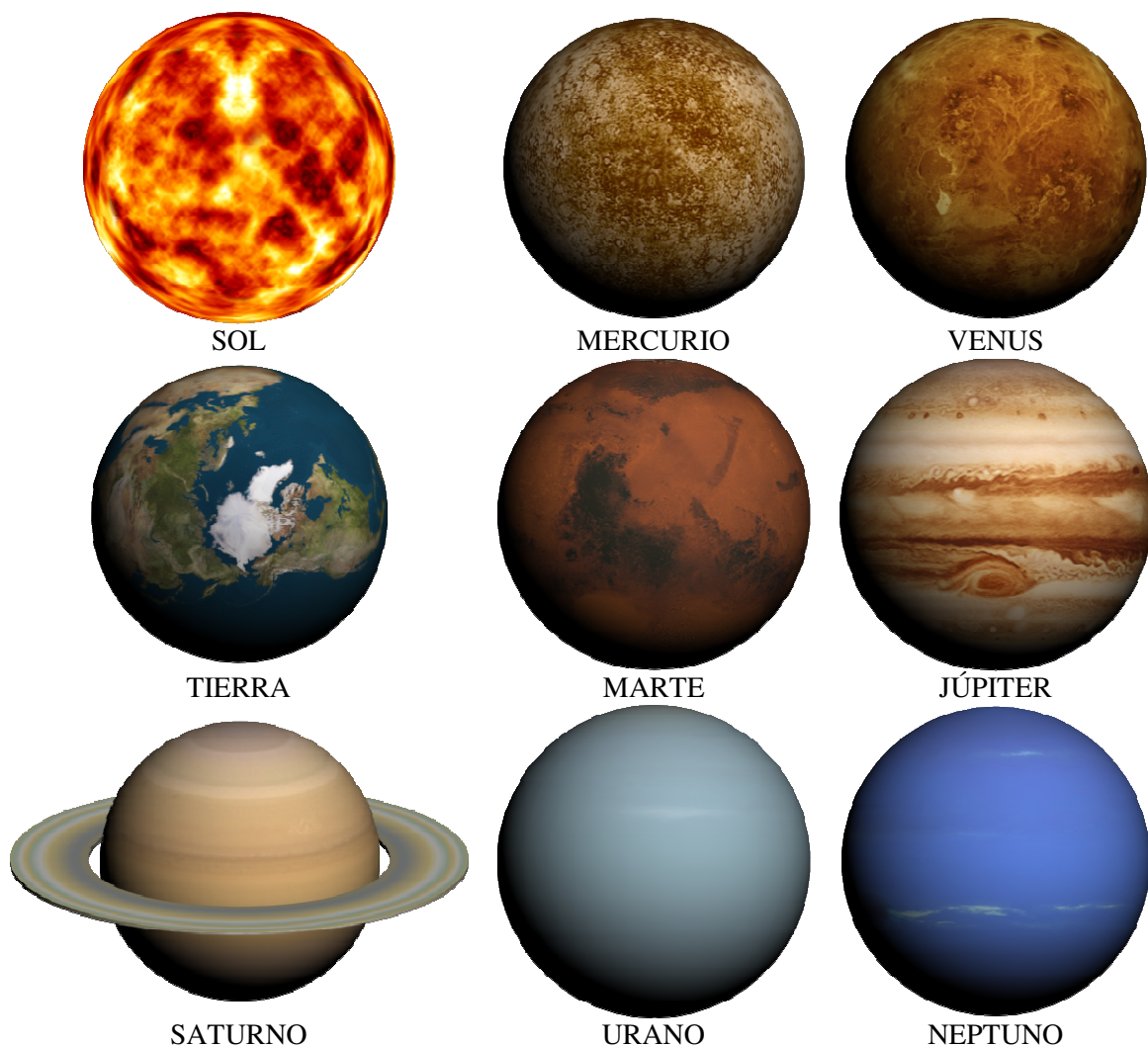
La interfaz de ARSolarSystem consiste en una ventana con un cuadro de video capturado a través de una cámara de video. En este cuadro de video puede haber una o más fichas con marcadores impresos que son reconocidos por el sistema. De ser así, se agregan modelos 3D que el jugador ve, a través del monitor, como si estuvieran presentes en el mundo real.

Sólo hay un elemento adicional que se despliega en la pantalla y es el puntaje del jugador en el videojuego, este se despliega en la esquina superior derecha de la pantalla, ver Figura 22.



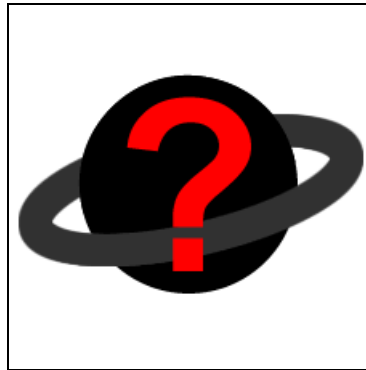
**Figura 22: Captura de pantalla del videojuego. El puntaje se despliega en la esquina superior derecha.**

En la Figura 23 se presentan las imágenes de cada uno de los elementos del Sistema Solar que el usuario puede ver en el videojuego.

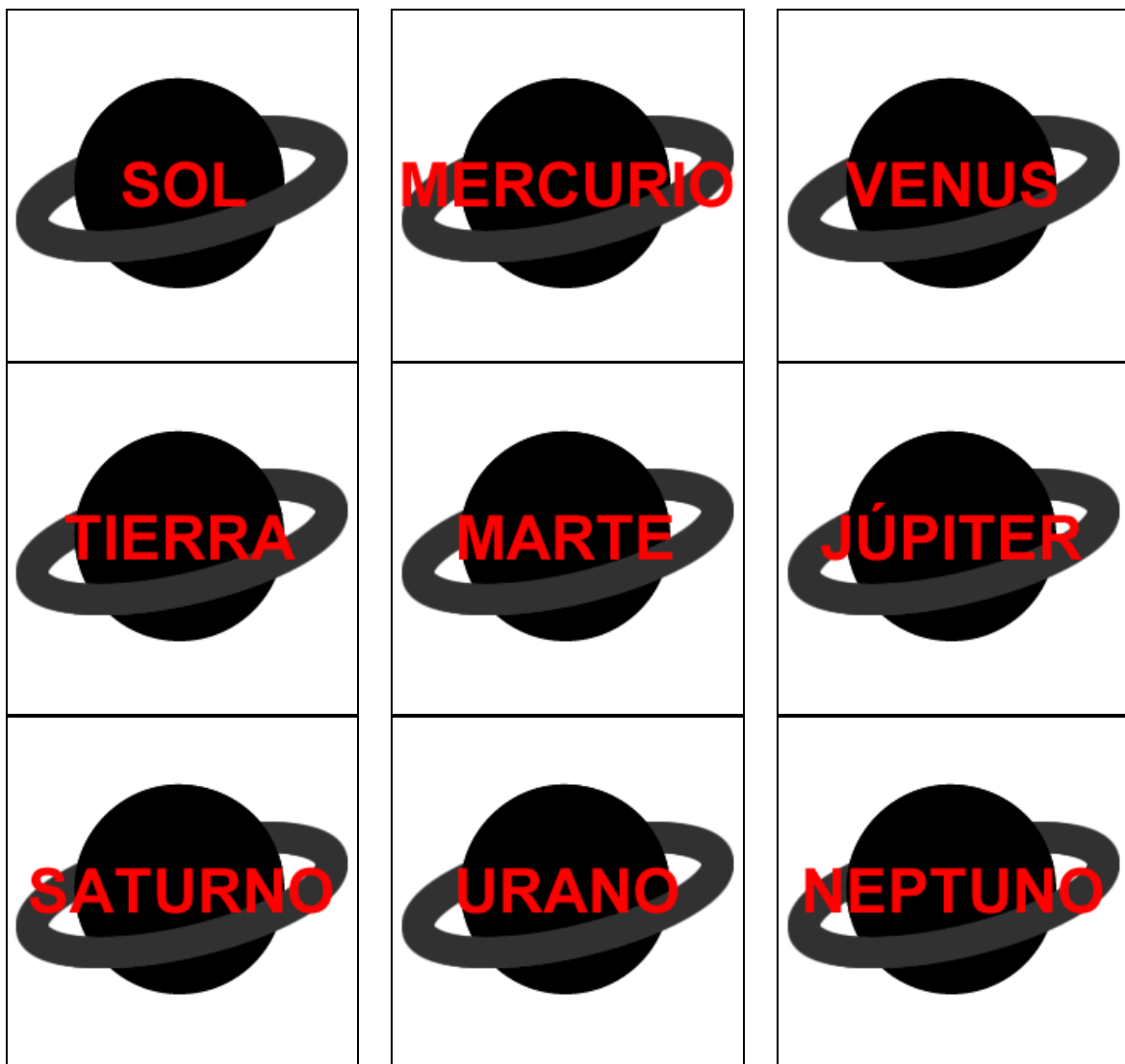


**Figura 23. Imágenes de los modelos 3D de cada planeta.**

Además de estos elementos, el usuario puede ver texturas en 2D que son desplegadas sobre las fichas de pregunta y alternativas. La Figura 24 muestra la textura que se despliega sobre la ficha de pregunta, mientras que la Figura 25 muestra las posibles opciones de textura que pueden desplegarse sobre las fichas de alternativa.



**Figura 24: Textura de la ficha de pregunta.**



**Figura 25: Texturas posibles para las fichas de alternativa.**

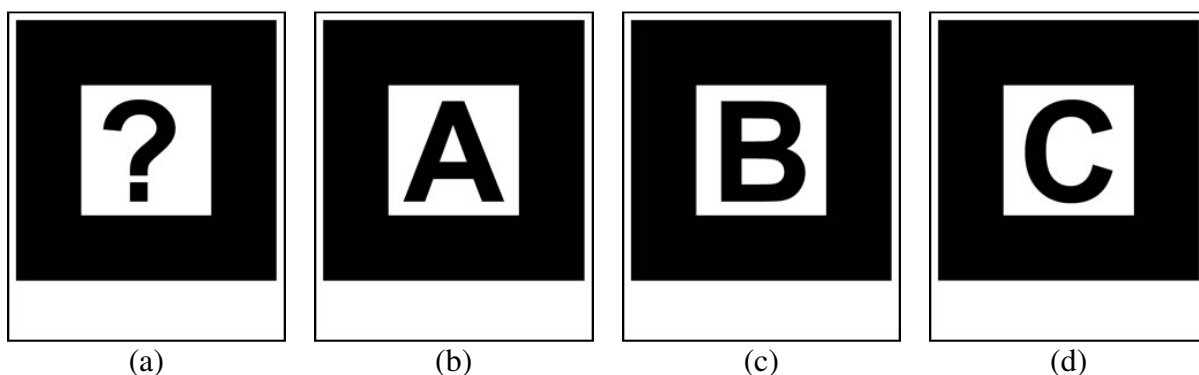
## 4.2. Interacción

La interacción de los jugadores con el videojuego es realizada en su totalidad a través de las fichas físicas del juego. La interacción se realiza moviendo las fichas y poniéndolas unas junto a otras. Se busca mantener la consistencia y mantener las interacciones lo más simples posible para evitar confundir al usuario, es por esto que todas las interacciones entre elementos se realizan sólo con la ficha de pregunta.

Para mover un elemento virtual en el videojuego (Sol, planetas, pregunta, alternativas) el jugador mueve la ficha física que representa a ese elemento. Este movimiento se hace tal y cual uno movería una carta o una ficha de un juego de tablero, pero evitando tapar el marcador en la ficha si se desea que se siga desplegando el modelo 3D en la pantalla (no es necesario para el videojuego que el elemento se despliegue en todo momento).

Si se desea que un elemento virtual no aparezca en la pantalla, ya sea porque estorba o porque no es necesario para la actividad que se está realizando, basta con tapar el marcador de la ficha que representa el elemento en cuestión o sacar la ficha del ángulo de visión de la cámara que está capturando la escena.

Cuando un jugador desea pedir una pista sobre un elemento del Sistema Solar, para luego intentar identificarlo, debe poner la ficha de pregunta junto a la ficha del elemento. Esto hace que el sistema le entregue información en forma de audio al jugador. Cuando el alumno quiere identificar el elemento con el que está interactuando, debe poner las fichas de pregunta y de la alternativa que desea seleccionar una junto a la otra (de la misma forma en que hizo con la ficha del elemento del Sistema Solar y la ficha de pregunta anteriormente). La Figura 26 (a) muestra la forma de la ficha de preguntas, mientras que la Figura 26 (b), (c) y (d) muestra las fichas de alternativa.



**Figura 26: Fichas de pregunta y respuesta.**

*(a) Ficha de pregunta. (b) Ficha de alternativa “A”. (c) Ficha de alternativa “B”. (d) Ficha de alternativa “C”.*

Si el jugador ya ha identificado un elemento del Sistema Solar, puede ver su nombre escrito sobre el elemento. Adicionalmente puede que el alumno desee que el juego le diga el nombre del elemento a través de audio, para esto, basta con acercar la ficha de pregunta a la ficha que representa al elemento, tal cual lo hizo para pedir una pista del elemento con anterioridad.

Estas interacciones que se realizan poniendo la ficha de pregunta junto a otra ficha tienen dos restricciones. No se pueden realizar las acciones juntando las fichas por el canto inferior de una o ambas fichas. Esto se debe a que el sistema calcula la distancia entre los marcadores de las fichas para detectar la interacción y en la parte inferior de las fichas hay un borde blanco que hace que la distancia entre los marcadores de dos fichas sea mayor a la que está especificada en el videojuego. Además, es necesario que los elementos virtuales de cada ficha con las que se está interactuando estén visibles en el monitor. Es decir, que los marcadores de ambas fichas estén siendo leídos adecuadamente por el sistema.

En la segunda etapa del videojuego es necesario ordenar los planetas en relación al Sol. Para esto, los planetas se mueven a través de sus fichas físicas correspondientes hasta ser colocados en la posición deseada. Para comprobar si el orden es correcto, el jugador pone la ficha de pregunta junto a la ficha que representa al Sol. Si la posición de los elementos es correcta, el videojuego despliega una animación del Sistema Solar completo sobre la ficha que antes representaba al Sol.

Finalmente, el usuario puede mover de posición la animación del Sistema Solar, y así puede observar de distintos ángulos el movimiento de los distintos elementos. La animación es manejada por la ficha que representa al Sol y en relación a este se mueven los distintos planetas. Por tanto, para interactuar con la animación, basta con mover, trasladando y rotando sobre cualquiera de los 3 ejes de rotación, la ficha con la animación.

### **4.3. Diagrama de Clases**

La Figura 27 y la Figura 28 presentan el diagrama de clases de ARSolarSystem. Por simpleza se separaron las clases que definen las distintas escenas del videojuego en un segundo diagrama de clases. Además, se suprimieron los atributos de las clases, con excepción de aquellos que ayudan a la comprensión del diseño. Se incluyen las clases de FacadeAudio, FacadeTracker y Facade3D.

En las subsecciones siguientes se presentan las clases más importantes que permiten entender el funcionamiento del sistema. La presentación es realizada de lo particular a lo general, partiendo por la clase “Scene”, continuando con la clase “ARSolarSystem”, y finalmente se presenta la clase principal “main”. Algunas partes del código han sido eliminadas de estas clases para que sean más claras y fáciles de comprender. Se ha comentado usando “/\* descripción del código borrado \*/” en cada lugar donde se ha suprimido código.

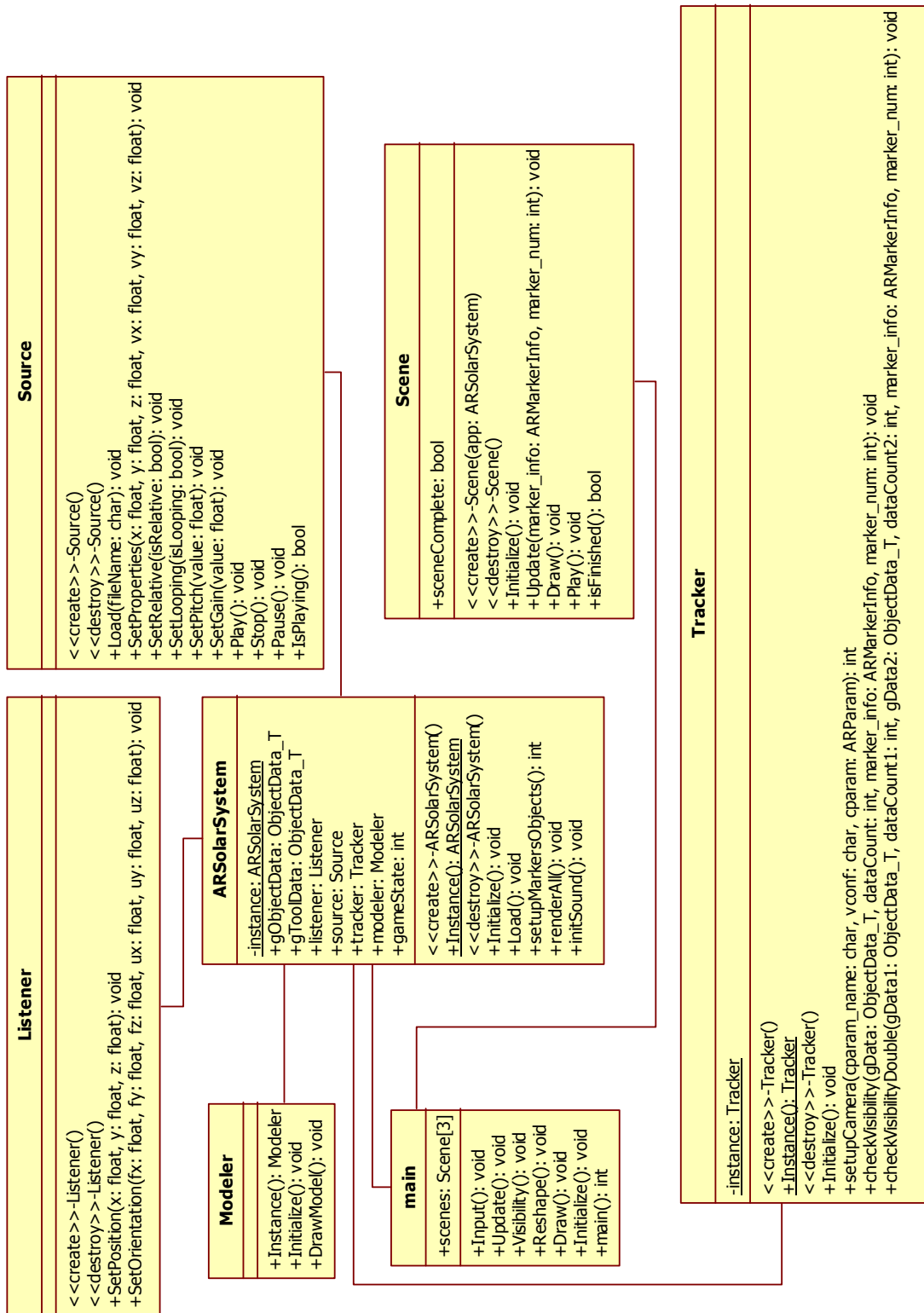


Figura 27: Diagrama de Clases, primera parte.

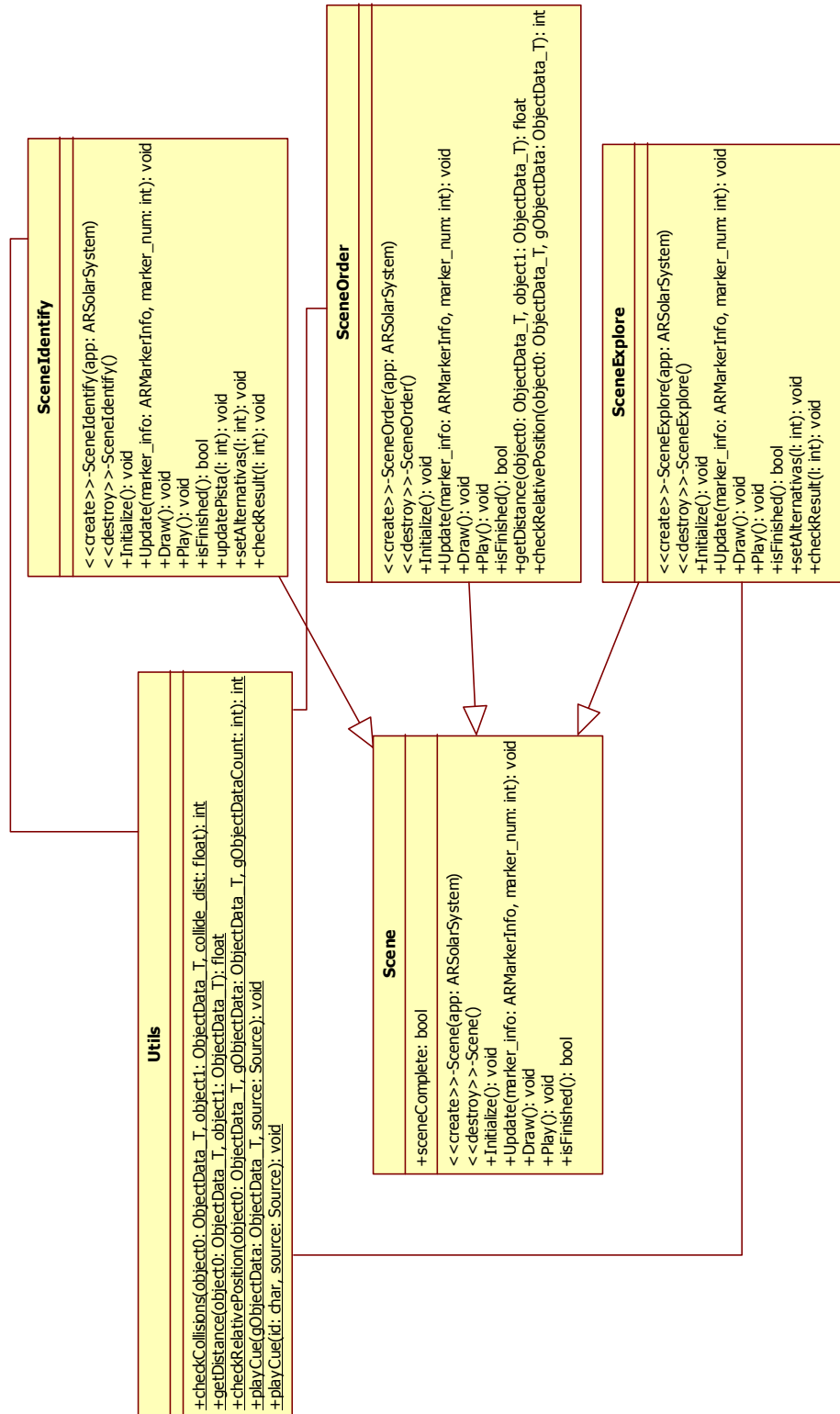


Figura 28: Diagrama de Clases, segunda parte.

## 4.4. Clases Importantes

### “object.h”

La clase “*object*” define la estructura `ObjectData_T` la cual es la encargada de mantener en memoria la información de cada uno de los marcadores y los respectivos elementos virtuales (3D y audio) asociados a estos. Algunos atributos importantes son, nombre del elemento, modelo 3D primario y secundario, e información geométrica del marcador, como su escala, traslación y rotación.

```
#ifndef __object_h__
#define __object_h__

#define OBJECT_MAX 30

#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif

typedef struct {
    char        name[256];
    int         id;
    int         visible;
    int         collide;
    double      marker_coord[4][2];
    double      trans[3][4];
    double      scale;
    int         vrml_id;
    int         vrml_id_orig;
    double      marker_width;
    double      marker_center[2];
    char        pista[3][256];
    char        pistaCue[3][256];
    int         pistaActual;
    char        nombreElemento[64];
    char        nombreElementoCue[32];
    char        namePost[256];
    int         vrml_idPost;
    int         vrml_id_origPost;
    bool        conocido;
    int         vrml_idTool;
} ObjectData_T;

ObjectData_T *read_VRMLdata (char *name, int *objectnum);
ObjectData_T *read_VRMLdataPlus (char *name, int *objectnum);

#ifdef __cplusplus
}
#endif

#endif // __object_h__
```

Esta clase es además responsable de cargar cada uno de los atributos de esta estructura a partir de un archivo de texto plano mediante las funciones `read_VRMLdata` y `read_VRMLdataPlus`. La estructura de este archivo es como sigue:

|     |                                                                        |
|-----|------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | #Número de patrones                                                    |
| 2.  | 1                                                                      |
| 3.  | #Patrón i                                                              |
| 4.  | VRML2      “ruta/objetoPrimarioWRL.dat” “ruta/objetoSecundarioWRL.dat” |
| 5.  | VRML      “ruta/toolWRL.dat”                                           |
| 6.  | “ruta/marcador.patt”                                                   |
| 7.  | 80.0      #Ancho del Marcador                                          |
| 8.  | 0.0 0.0      #Centro del Marcador                                      |
| 9.  | 2.5      #Escala                                                       |
| 10. | “NOMBRE” “ruta/pistaNombre.wav”                                        |
| 11. | “ruta/pista1.wav”                                                      |
| 12. | “ruta/pista2.wav”                                                      |
| 13. | “ruta/pista3.wav”                                                      |

Las líneas comenzadas con “#” corresponden a comentarios y no son leídas. La línea 2 indica el número de marcadores a ser leídos. En el caso de este ejemplo sólo hay un marcador.

VRML y VRML2 indican si se asociarán uno o dos modelos al marcador respectivamente. En el segundo caso, el primer modelo leído corresponde al modelo primario que será visualizado inicialmente en el marcador, mientras que el segundo corresponde al modelo secundario que puede ser intercambiado por el primario para ser visualizado si el programa así lo especifica. En el videojuego esta funcionalidad es utilizada para desplegar la animación del Sistema Solar completo sobre la ficha que originalmente representa al Sol cuando los jugadores posicionan los elementos en el orden correcto.

La línea 4 especifica el o los modelos que serán desplegados en el marcador en sí, mientras que la línea 5 indica un modelo auxiliar que sirve para ser desplegado por otro marcador. En el caso particular del videojuego, en la primera de estas líneas se especifica un elemento del Sistema Solar, mientras que como modelo auxiliar se especifica un modelo con el nombre del elemento, el cual es utilizado por los marcadores de alternativas.

La línea 6 indica la ruta del archivo con la especificación del marcador y las líneas 7, 8 y 9 especifican información específica de la instancia del marcador, ancho (los marcadores son cuadrados por lo que sólo basta especificar el tamaño de una dimensión), centro y escala.

Finalmente, las líneas 10, 11, 12 y 13, especifican archivos de audio que serán asociados a este marcador. La línea 10 especifica el nombre del elemento como cadena de caracteres y el archivo con la misma información en forma de audio, mientras que las otras tres indican los archivos con las pistas que entregará el elemento.

Como se puede observar en las líneas 4 y 5, los archivos especificados no corresponden a archivos “.wrl” (archivos de modelos 3D en formato VRML), sino a archivos “.dat”. Estos archivos se encargan de especificar la ruta del modelo 3D (en formato WRML) y sus transformaciones geométricas iniciales. La estructura de estos archivos se presenta a continuación.

|    |                   |                        |
|----|-------------------|------------------------|
| 1. | “ruta/nombre.wrl” |                        |
| 2. | 0.0 0.0 0.0       | # Translación en X Y Z |
| 3. | 0.0 0.0 0.0 0.0   | # Rotación en X Y Z    |
| 4. | 1 1 1             | # Escala en X Y Z      |

### Scene.h

La clase “*Scene*” corresponde a la clase base de donde heredan todas las escenas del videojuego. Esta clase define la estructura básica que debe tener cada escena y que incluye, como se mencionó anteriormente, cada uno de los elementos principales del ciclo de juego, `Initialize()`, `Update(...)` y `Play()`.

Cada clase que hereda de “*Scene*” es independientemente responsable de toda la lógica de la escena que define. Una escena puede ser invocada en cualquier momento por el programa principal, por lo que debe ser capaz de mantener la integridad de la aplicación. Esto hace que la función `Initialize()` y el destructor de la clase tengan una relevancia primordial en las clases heredadas, ya que son las encargadas de inicializar, liberar y asignar el valor requerido a las variables que son utilizadas por la escena.

Además se incorpora la función `isFinished()`, la cual permite evaluar si la escena se ha completado. Esta función es invocada en cada ciclo de juego y modifica la variable `sceneComplete`. El programa principal, que se encarga de administrar las escenas, consulta esta variable constantemente para saber si la escena ha sido o no completada.

La clase incluye a `ARSolarSystem.h`. Esta clase, que se presenta a continuación, es usada para acceder a variables del programa y realizar diversas funcionalidades comunes del videojuego. Es importante mencionar que la clase “*ARSolarSystem*” es un Singleton, por lo que sólo existe una instancia de ella en el videojuego y no es necesario almacenarla localmente en una variable.

```

#ifndef __SCENE_H
#define __SCENE_H

#include "ARSolarSystem.h"

using namespace FacadeAudio;

class Scene
{
public:
    bool sceneComplete;

    Scene();
    ~Scene();
    virtual void Initialize();
    virtual void Update(ARMarkerInfo *marker_info, int marker_num);
    virtual void Draw();
    virtual void Play();
    virtual bool isFinished();
};

#endif

```

### ARSolarSystem.h

La clase “*ARSolarSystem*” define al videojuego en sí. Fue diseñada utilizando el patrón de diseño Singleton para evitar que se generen dos o más instancias de ella en la aplicación, ya que esto llevaría a inconsistencia y errores en el videojuego.

Los principales elementos que componen esta clase son el estado del juego, *gameState*, que permite a la aplicación saber en todo momento en qué estado se encuentra. Dos elementos de tipo *ObjectData\_T*, *gObjectData* y *gToolData*, con la información relativa a todos los marcadores usados en el videojuego y una instancia de cada una de las clases necesarias para el uso de sonido, *listener* y *source*, para el tracking de marcadores, *tracker*, y para el despliegue de los modelos 3D, *modeler*.

Al forzar el acceso a estas clases a través de la clase “*ARSolarSystem*” se busca facilitar la modificación de estas componentes, de ser necesario en el futuro. Sólo se requiere modificar la instancia correspondiente en esta clase y no es necesario realizar cambios en cada una de las escenas.

La clase “*ARSolarSystem*” es inicializada por el programa principal, “*main.cpp*”, que se define a continuación.

```

class ARSolarSystem
{
    private:
        static ARSolarSystem* instance;
        ARSolarSystem();

    public:
        // CONSTANTES DE JUEGO
        static const int GAME_STATE_IDENTIFYING = 0;
        static const int GAME_STATE_ORDERING = 1;
        static const int GAME_STATE_EXPLORING = 2;
        static const int GAME_STATE_END = 3;

        int gameState;
        int puntaje;

        // Rutas de archivos de datos
        char* objectDataFilename;
        char* toolDataFilename;
        char* astrosDataFilename;

        // Object Data.
        ObjectData_T      *gObjectData;
        int                gObjectDataCount;
        ObjectData_T      *gToolData;
        int                gToolDataCount;

        // Sonido
        Listener           *listener;
        Source             *source;
        // Tracker
        Tracker            *tracker;
        // Modelamiento 3D
        Modeler            *modeler;

        // Log
        ofstream myfile;

        /* Variables de sonido básicas */

        int    paletteHasInfon;
        int    paletteHasInfonPrev;

        char* opciones[3];
        char* astros[9];

        static ARSolarSystem* Instance();
        ~ARSolarSystem();
        void Initialize();
        int  setupMarkersObjects();
        void renderAll();
        void initSound();
};

#endif

```

## main.cpp

“main.cpp” es la aplicación principal, encargada de implementar el ciclo de juego. Para esto se utilizó GLUT, dada la sencillez de su implementación. Sin embargo, la lógica del videojuego se encuentra separada en la clase “ARSolarSystem” y en las distintas escenas, lo que permite la rápida modificación de la implementación del ciclo de juego sin la necesidad de alterar el videojuego en sí.

“main.cpp” tiene como responsabilidad inicializar la instancia del objeto ARSolarSystem, mantener el ciclo de juego y controlar las escenas del videojuego. Como se ha mencionado anteriormente, la lógica de cada escena es controlada por la escena misma. La función Update() es la encargada de saber cuál es la escena actual en que se encuentra el videojuego e invocar la lógica de la escena correspondiente. La función Draw() por su parte tiene como única función invocar a la función Draw() de la escena correspondiente. El input y el tamaño de la ventana también son controlados por esta clase.

```
/* Includes */

// Preferencias de pantalla
static int prefWindowed = TRUE;
static int prefWidth = 640;
static int prefHeight = 480;
static int prefDepth = 32;
static int prefRefresh = 0;

ARSolarSystem* appARSS;
Scene *scene[3];
int actualScene = 0;
int totalScenes = 3;

static void Input(unsigned char key, int x, int y) {
    /* Código para la captura del teclado */
}

static void Update(void) {
    if(actualScene < totalScenes) {
        if(scene[actualScene]->isFinished()) {
            if(!appARSS->source->IsPlaying()) {
                ++actualScene;
                if(actualScene < totalScenes) {
                    scene[actualScene]->Initialize();
                }
            }
        } else {
            scene[actualScene]->Update(marker_info, marker_num);
        }
    } else if(appARSS->gameState != appARSS->GAME_STATE_END) {
        if(!appARSS->source->IsPlaying()) {
            Utils::playCue("Audio/final.wav", appARSS->source);
            appARSS->gameState = appARSS->GAME_STATE_END;
        }
    }
}
```

```

void Initialize()
{
    glutInit(&argc, argv);

    glutInitDisplayMode(GLUT_DOUBLE | GLUT_RGBA | GLUT_DEPTH);
    if (!prefWindowed) {
        if (prefRefresh) sprintf(glutGamemode, "%ix%i:%i@%i",
                                prefWidth, prefHeight, prefDepth,
                                prefRefresh);
        else sprintf(glutGamemode, "%ix%i:%i", prefWidth,
                    prefHeight, prefDepth);
        glutGameModeString(glutGamemode);
        glutEnterGameMode();
    } else {
        glutInitWindowSize(gARTCparam.xsize, gARTCparam.ysize);
        glutCreateWindow(argv[0]);
    }

    appARSS = ARSolarSystem::Instance();
    appARSS->Initialize();
    scene[0] = new SceneIdentify(appARSS);
    scene[1] = new SceneOrder(appARSS);
    scene[2] = new SceneExplore(appARSS);
    scene[0]->Initialize();
}

int main(int argc, char** argv) {
    Initialize();

    glutDisplayFunc(Display);
    glutReshapeFunc(Reshape);
    glutVisibilityFunc(Visibility);
    glutKeyboardFunc(Input);

    glutMainLoop();

    return (0);
}

static void Visibility(int visible) {
    if (visible == GLUT_VISIBLE) {
        glutIdleFunc(Update);
    } else {
        glutIdleFunc(NULL);
    }
}

static void Reshape(int w, int h) {
    /* Código para el redimensionado de pantalla */
}

static void Display(void) {
    scene[actualScene]->Draw();
}

```

## 4.5.Herramientas de Desarrollo

### Hardware

Para el desarrollo de la aplicación se utilizó un notebook Dell Studio XPS M1340 con las siguientes especificaciones:

- S.O.: Windows 7 Professional de 64bits
- Procesador: Intel(R) Core(TM) 2 Duo P8600 @ 2.40GHz 2.40GHz
- Memoria RAM: 3 GB (2.75 utilizable)
- Disco Duro: 200 GB
- Monitor: LED 13.3 pulgadas
- Tarjeta Gráfica: Nvidia GeForce 9400M G (Integrada)

Además se utilizó una cámara Microsoft LifeCam Cinema(TM) con resolución máxima de video de 1280×720.

### Software

ARSolarSystem fue desarrollado en el lenguaje de programación C++. Para su desarrollo se utilizó el siguiente software.

- Microsoft Visual Studio 2008 Professional Edition con Microsoft Visual C++ y Microsoft .Net Framework 3.5 SP1: Entorno de desarrollo para la generación de programas en C++ en Windows.
- Autodesk 3DStudioMax 2010: Herramienta para la modelación de objetos y animaciones en 3D.
- Adobe Fireworks CS3: Herramienta para la creación y edición de imágenes.
- Adobe Photoshop CS3: Herramienta para la creación y edición de imágenes.
- Syntrillium Software Cool Edit Pro 2.0: Herramienta para la edición de pistas de audio.
- SPSS v.15 para Windows: Herramienta para el análisis estadístico de datos.

La aplicación hace uso de las siguientes librerías:

- OpenGL: Librería multiplataforma para la creación de gráficos en 2D y 3D.
- OpenAL: Librería multiplataforma para el uso de pistas de audio.
- ARToolKit: Librería que permite la creación de aplicaciones de Realidad Aumentada. Su descripción detallada se encuentra en la sección 3.3.1 “ARToolKit”.

---

## **5. Capítulo - EVALUACIÓN DE USABILIDAD**

---

## **5.1.Evaluación de Usabilidad**

Con el objetivo de evaluar la usabilidad de ARSolarSystem, se aplicaron dos evaluaciones. Estas fueron realizadas en dos momentos distintos del proceso de desarrollo del videojuego. La primera se aplicó sobre el primer prototipo de la aplicación, se realizó con un grupo reducido de usuarios y tuvo un carácter más cualitativo que cuantitativo. Posteriormente, y luego de realizar mejoras basadas en los resultados obtenidos, se realizó una segunda evaluación de usabilidad de carácter cuantitativo y con un mayor número de usuarios.

La primera evaluación tuvo como objetivo principal observar la forma en que los alumnos trabajaban con la aplicación y así detectar los principales problemas de interacción que podían ocurrir. También se aplicó un cuestionario de satisfacción para conocer la impresión de los usuarios respecto de ARSolarSystem. La segunda evaluación corresponde a una evaluación con más usuarios, donde se utilizaron pruebas estadísticas sobre los resultados obtenidos.

Se buscó estructurar ambas evaluaciones de forma similar en términos de su contexto, tareas y procedimiento. A continuación se presentan en detalle cada una de las evaluaciones.

## **5.2.Participantes**

Ambas evaluaciones fueron realizadas con alumnos de tercer año de educación general básica de la Escuela Básica Municipal José Joaquín Prieto Vial.

Para la primera evaluación se contó con 8 usuarios finales. La distribución por géneros de la muestra fue de 3 hombres y 5 mujeres. La distribución etaria fue de 5 usuarios de 8 años y 3 de 9 años. Los usuarios nunca antes habían usado, visto o recibido comentarios de la aplicación y sólo uno de ellos afirmó haber visto una aplicación de Realidad Aumentada con anterioridad.

El número de usuarios es adecuado para aplicar la metodología planteada para la primera evaluación de usabilidad ya que, según explica Nielsen [49], 5 usuarios pueden detectar el 85% de los errores de usabilidad de la interfaz de un software.

Los facilitadores para la aplicación de la evaluación fueron tres alumnos de último año del Departamento de Ciencias de la Computación (DCC) de la Universidad de Chile, dos de ellos con amplia experiencia en usabilidad.

Para la segunda evaluación se contó con 24 usuarios finales. La distribución por géneros de la muestra fue de 12 hombres y 12 mujeres. La distribución etaria fue de 18 usuarios de 8 años y 6 de 9 años. Los usuarios nunca antes habían usado, visto o recibido comentarios de la aplicación y ninguno de ellos afirmó haber visto una aplicación de Realidad Aumentada con anterioridad.

El tamaño de la muestra de la segunda evaluación de usabilidad es considerablemente mayor al de la primera evaluación. Esto se debe a que se plantea realizar un análisis cuantitativo y aplicar pruebas estadísticas sobre los resultados.

Los facilitadores para la aplicación de la segunda evaluación fueron dos de los facilitadores que participaron en la aplicación de la primera evaluación de usabilidad.

### **5.3.Métodos e Instrumentos**

#### **Observación**

Este método consiste en observar a un usuario interactuar con el sistema que se desea evaluar en su ambiente de trabajo. Esto es de suma importancia para la usabilidad, ya que permite determinar información sobre el contexto real de uso de la aplicación [14].

Por otro lado, observar la forma en que los usuarios realizan ciertas tareas entrega una gran cantidad de información respecto de sus modelos de trabajo mental, estrategias individuales de resolución de problemas y decisiones subyacentes a la tarea en particular [56].

La observación debe hacerse sin interferir el trabajo del usuario, el facilitador debe intentar ser invisible para él. Si el facilitador no entiende alguna acción que realiza el usuario, entonces debe anotarla e intentar deducirla posteriormente, quizá con la ayuda del usuario, pero luego de que este haya terminado de realizar la evaluación. Es por esto que se hace necesario el diseño y aplicación de una pauta de observación que sea adecuada a la aplicación y el contexto de la evaluación que se está llevando a cabo.

En la primera evaluación de usabilidad se utilizó el método de observación. Los facilitadores utilizaron una pauta que se diseñó para permitir tomar notas de la evaluación de forma rápida. Para esto, se identificaron los posibles problemas que podían suscitarse durante el trabajo.

Se identificaron los siguientes puntos como claves para la interacción:

- Falla la interacción del sistema, el sistema no responde con la acción deseada.
- N° de veces que el usuario tapa accidentalmente el marcador con el que trabaja.
- N° de veces que el sistema falla en detectar el marcador en una ficha.
- ¿Cómo es la manipulación de los elementos?
- El usuario daña las fichas.

Adicionalmente se tomó la precaución de dejar suficiente espacio para permitir al observador tomar nota de cualquier otro aspecto que considerara pertinente. La pauta de observación se puede ver en el Anexo 2.

Una técnica que es comúnmente usada en el método de observación es la de grabar en video la sesión de trabajo, lo que permite revisar posteriormente la interacción y obtener detalles que no fueron captados por el facilitador en el momento de la evaluación. Durante la evaluación realizada se grabó a los usuarios y su interacción a través de un grabador de pantalla. Los videos grabados quedaron disponibles para su posterior análisis.

## **Cuestionario**

Una gran cantidad de aspectos de la usabilidad de un sistema pueden ser estudiados simplemente preguntándole por ellos a los usuarios. Esto es particularmente verdad cuando se busca medir la satisfacción subjetiva del usuario, sus impresiones y ansiedades acerca de la interfaz de la aplicación. Una forma de consultar a los usuarios sobre estos aspectos son los cuestionarios. [48]

Un cuestionario es una herramienta que debe ser construida de forma adecuada y debe ser validado. Comúnmente se utilizan cuestionarios para realizar evaluaciones sumativas de interfaces usuarias. Sin embargo, hay que tener en cuenta que esta herramienta provee una evaluación subjetiva de las interfaces, la cual puede verse influenciada por el tipo de preguntas realizadas y la forma en que están formuladas [40]. Existen una serie de cuestionarios que han sido validados y se encuentran disponibles para evaluar la satisfacción de los usuarios respecto a interfaces de software.

Algunos ejemplos de cuestionarios son SUS (System Usability Scale) el cual consiste en 10 preguntas y fue desarrollado por Digital Equipment Corp. QUIS (Questionnaire for User Interface Satisfaction) es un ejemplo de un cuestionario más extensor, fue desarrollado en la University of Maryland y consta de 27 preguntas. Otro ejemplo es CSUQ (Computer System Usability Questionnaire) el cual fue desarrollado por IBM y consta de 19 preguntas. Estos 3 cuestionarios fueron comparados por Tullis y Stetson [65].

En ambas evaluaciones de usabilidad se realizó una evaluación de satisfacción de usuario final. Para esto se adaptó el “Cuestionario de Evaluación de Usabilidad de Usuario Final” del Dr. Jaime Sánchez I. Las modificaciones fueron realizadas con el apoyo de una socióloga con experiencia en la creación y adaptación de cuestionarios para mantener, dentro de lo posible, la validez del instrumento. Los cambios realizados se presentan a continuación.

Se modificó la escala de valoración, la cual originalmente es de 1 a 10, convirtiéndose a una escala de 1 a 7. Este cambio fue llevado a cabo con el fin de hacer más cercana y natural la evaluación para los usuarios finales, quienes están acostumbrados a recibir calificaciones de 1 a 7 en el colegio.

Se agregaron tres sentencias para la evaluación de los modelos 3D que se presentan en el videojuego. Las sentencias agregadas fueron:

- Me gustan los modelos 3D del software
- Los modelos 3D del software son claramente identificables
- Los modelos 3D del software me transmiten información

Finalmente se agregaron tres preguntas abiertas a las ya existentes,

- ¿Entendiste como se utiliza?,
- ¿Qué dificultades encontraste?
- ¿Qué te pareció utilizar esta tecnología?

Estas preguntas tienen como fin ver la impresión de los usuarios respecto al uso de la Realidad Aumentada. La pauta completa se presenta en el Anexo 1.

#### 5.4.Tareas

Con el fin de homogenizar la prueba y de evaluar todos los aspectos posibles del sistema se definió de antemano las tareas que debían realizar los usuarios durante la evaluación.

Se definieron tres tareas, las primeras dos comunes en ambas evaluaciones mientras que la tercera sólo se realizó en la segunda evaluación de usabilidad, en concreto, se midieron 3 labores,

- Identificar
- Ordenar
- Explorar



**Figura 29: Dos alumnos llevando a cabo la tarea de identificar durante la segunda evaluación de usabilidad.**

En la primera, los usuarios debían identificar el nombre de cada uno de los elementos presentados por el prototipo, Sol y planetas. Para realizar esta tarea los usuarios debieron utilizar la ficha de pregunta para consultar pistas de los distintos elementos presentados y así poder deducir a que planeta (o Sol) correspondían. La Figura 29 muestra a dos alumnos trabajando en la primera tarea, identificar, durante la segunda evaluación de usabilidad.

La segunda tarea consistió en ordenar los planetas de forma que cada uno estuviera en su posición relativa al Sol. Aquí sólo se consideró el orden y no la proporción de distancia. En el desarrollo de la tarea los usuarios debían posicionar las distintas fichas en una línea ordenada y confirmar el orden seleccionado usando la ficha de pregunta. La Figura 30 muestra a los mismos alumnos de la figura anterior mientras realizaban la segunda tarea, ordenar.



**Figura 30: Dos alumnos llevando a cabo la tarea de ordenar durante la segunda evaluación de usabilidad.**

Se definió una tercera tarea, la cual sólo se llevó a cabo en la segunda evaluación de usabilidad. La tarea consistía en responder dos preguntas mediante la observación de una animación del Sistema Solar en Realidad Aumentada. Para responder a las preguntas los alumnos debieron hacer uso de las fichas de pregunta y alternativas. La Figura 31 muestra nuevamente a los alumnos realizando la tercera tarea, explorar, durante la segunda evaluación de usabilidad.



**Figura 31: Dos alumnos llevando a cabo la tarea de explorar durante la segunda evaluación de usabilidad.**

### 5.5.Contexto

En ambas evaluaciones de usabilidad se trabajó en el colegio de los alumnos que realizaron la prueba. Se contó con un ambiente controlado, sin demasiado ruido ni distracciones para los usuarios y con poca luz para mejorar el funcionamiento de la aplicación. Se trabajó sobre un mesón con espacio suficiente para interactuar con todos los elementos necesarios y la configuración del entorno de trabajo contó de un notebook, una cámara web montada en la parte superior de la pantalla del notebook y 9 marcadores impresos sobre un material rígido y durable.

El notebook utilizado fue un Dell Studio XPS 1340 con pantalla de 13.3 pulgadas y con las siguientes especificaciones:

- S.O.: Windows 7 Professional de 64bits
- Procesador: Intel(R) Core(TM) 2 Duo P8600 @ 2.40GHz 2.40GHz
- Memoria RAM: 3 GB (2.75 utilizable)
- Tarjeta Gráfica: Nvidia GeForce 9400M G (Integrada)

La webcam usada fue una Microsoft LifeCam Cinema(TM) a una resolución de 960x544 y la imagen fue desplegada en modo de pantalla completa.

La Figura 32 muestra a dos alumnos en el contexto de trabajo durante la segunda evaluación de usabilidad.



**Figura 32: Usuarios trabajando con el segundo prototipo durante la segunda evaluación de usabilidad.**

## **5.6.Procedimiento**

Con el fin de disminuir el tiempo de las evaluaciones, se modificó el videojuego excluyendo a los cuatro planetas más alejados del Sol. Cada pareja sólo trabajó con el sistema durante una sesión. El tiempo de trabajo no fue limitado y en promedio las sesiones tuvieron una duración de 21 minutos.

Se contactó a los alumnos y se les llevó de a 2 a la sala donde se realizó la evaluación. Los usuarios se sentaron uno al lado del otro y frente a la pantalla del notebook. La cámara web se colocó de tal forma que apuntara toda el área de trabajo y se evitó apuntar la cara de los usuarios cuando fue posible, sin embargo, en muchos casos los alumnos preferían verse a sí mismos en la pantalla.

Se les indicó que ellos no serían evaluados en forma alguna y se les explicó el objetivo del trabajo. A continuación se les mostró el notebook y la cámara web y se encendió el sistema para que pudieran verse ellos mismos en la pantalla.

Posteriormente se introdujo la ficha con el planeta tierra en el ángulo de visión de la cámara, esto produjo en todos los casos un grado de asombro en los usuarios. Se les preguntó si reconocían que elemento era y a continuación se les pidió que movieran la ficha a voluntad a cada uno de los miembros de la pareja. Se les dieron instrucciones de cómo interactuar con las fichas para pedir pistas y responder preguntas. También se les hizo ver que si tapaban la ficha el planeta

desaparecía y se les mostró como dejando la ficha visible para la cámara este volvía a aparecer. Finalmente se les explicó que debían trabajar tomando turnos y se les indicó que era un trabajo de equipo por lo que debían ayudarse para realizar las tareas.

En la primera evaluación uno de los facilitadores les dió instrucciones sobre cómo comenzar, mientras que en la segunda evaluación todas las instrucciones fueron entregadas a través del software.

Se anotó la hora de inicio de la tarea y se pidió a los usuarios que comenzaran con el trabajo. El tiempo de trabajo de cada evaluación fue dado por el tiempo que demoraron los usuarios en terminar las tareas indicadas y no se limitó de forma alguna.

En la primera evaluación los tres facilitadores tomaron notas sobre el trabajo en sus respectivas pautas de observación y se usó un grabador de pantalla para la posterior revisión del video.

En ambas evaluaciones los facilitadores no intervinieron en el trabajo a menos que fuera absolutamente necesario para la continuidad de la evaluación. A pesar de esto, se permitió entregar información conceptual sobre el Sistema Solar si los alumnos mostraban no saberla de forma reiterada.

Una vez finalizado el trabajo con el sistema, se anotó la hora de término y se pidió a los usuarios que completaran la pauta de usuario final. Dada la corta edad de los usuarios, la pauta fue leída y rellenada por uno de los facilitadores.

El momento en que se aplican los cuestionarios a los usuarios es relevante. En su estudio, Root y Draper observaron que los usuarios entregan respuestas más útiles si se aplica el cuestionario poco después de que haber trabajado con el sistema [59].

Para la obtención de los resultados cualitativos obtenido en la primera evaluación de usabilidad se revisaron las anotaciones independientes de cada uno de los facilitadores y las grabaciones. Además se conversó con cada uno de ellos para obtener cualquier información que no hubieran anotado clara o adecuadamente y para conocer su opinión personal de lo observado.

---

## **6. Capítulo - RESULTADOS Y ANÁLISIS**

---

## **6.1.Resultados de la Evaluación de Usabilidad del Primer Prototipo**

### **Observación**

Los resultados obtenidos a través de la observación fueron de gran ayuda para mejorar el prototipo inicial del sistema. Los problemas que se pensó podían ser de mayor relevancia no resultaron ser los que afectaron en mayor grado a la usabilidad del sistema y se observaron nuevos problemas que no se habían tenido en consideración anteriormente.

### ***Problemas anticipados***

La manipulación de las fichas durante el juego fue evaluada por los tres facilitadores de forma independiente en un nivel medio o alto. Este valor varió entre las distintas parejas de alumnos. El resultado es positivo ya que en ningún caso se evaluó como bajo, lo que hace pensar que el uso de fichas con marcadores es lo suficientemente intuitivo o fácil de aprender por parte de los usuarios. El principal problema que se detectó respecto de este punto tuvo que ver con que algunos usuarios tenían excesivo cuidado al mover las fichas para evitar que los modelos 3D desaparecieran de la pantalla. Esta preocupación, sin embargo, disminuía a medida que los alumnos tomaban más confianza y se percataban de que no era necesario que los modelos se desplegaran en todo momento, sino que sólo cuando deseaban realizar una acción que los involucraba.

En todos los casos, se observó que los usuarios tapaban accidentalmente las fichas, ya fuera la ficha que movían, tapándola con el dedo o la mano, o una ficha con la que no estaban interactuando, tapándola con el brazo al mover otra ficha. Si bien esto fue una complicación para los usuarios durante los primeros minutos de trabajo, al igual que en el caso anterior, los alumnos rápidamente se daban cuenta de que no era necesario mantener las fichas visibles en todo momento y dejaban de preocuparse por este tema. Durante el resto del tiempo de trabajo tapaban sin cuidado los marcadores que no eran necesarios para la interacción. Lo que demuestra un aprendizaje y adaptación al sistema.

Los casos en que los usuarios tapaban el marcador de la ficha que estaban manipulando fueron numerosos y los más importantes en términos de disminuir la experiencia usuaria ya que los alumnos tenían la atención puesta en la ficha que estaban moviendo. Este problema se puede atribuir a la forma en que fueron diseñadas las fichas y por tanto se deduce que se hace necesario un rediseño que sea más intuitivo, y que por sí solo pueda disminuir la tasa con que ocurre esta situación en la versión final del sistema.

Las fichas fueron producidas en un material rígido durable, esto hace que sean resistentes a la manipulación intensiva y despreocupada a la que pueden estar sujetas. Gracias a esto ninguna ficha fue dañada durante la prueba. Por otro lado, se observó que, a pesar de haber sido impresas con tinta opaca, el material y los colores propios de las fichas (blanco y negro), hacen que estas sean demasiado reflectantes para trabajar con ellas en un ambiente bien iluminado. Este factor debe también ser considerado en el diseño de la versión final del sistema, ya que el reflejo de la luz en las fichas hace que el software falle en su detección y no se desplieguen los modelos 3D en ellas, lo cual, al igual que en el caso anterior, produce problemas en la interacción de los usuarios.

A pesar de esto, el hecho de que el sistema perdiera la posición de los marcadores en las fichas no fue un problema crítico. Esto se debió a que los usuarios rápidamente se percataban que moviendo las fichas de posición o modificando su ángulo de rotación, podían hacer que el sistema volviera a posicionar los elementos 3D sobre ellas. En ningún momento los usuarios manifestaron que fuera algo irritante, ni en la actitud con que enfrentaban esta situación ni en sus comentarios durante la evaluación o al completar la pauta de usuario final.

La interacción entre elementos en el sistema es gatillada por los usuarios al posicionar la ficha de pregunta junto a la ficha con la que se desea interactuar. Un punto que se observó durante la evaluación, es que en ocasiones los usuarios colocaban correctamente la ficha de pregunta junto a otra y sin embargo, el sistema no realizaba la acción esperada. A pesar de esto, los usuarios no presentaron problemas significativos con esto ya que rápidamente se daban cuenta de que podían intentar juntando las fichas por otros cantos y que con esto la acción esperada era ejecutada por el sistema. Independiente de esto último, se hace necesario evaluar la forma de mejorar la interacción entre las fichas.

### ***Problemas no anticipados***

Los problemas mencionados anteriormente fueron los previstos al elaborar la pauta de observación usada en la evaluación. Sin embargo, durante la evaluación se encontró que estos no fueron problemas críticos para el desarrollo del trabajo. En los siguientes párrafos se presentan problemas encontrados durante la observación y que constituyen o pueden constituir un deterioro más significativo de la experiencia del usuario. Estos problemas no fueron previstos al momento de elaborar la pauta de observación.

Quizá el problema más importante que se observó, pues afecta directamente el desempeño de los usuarios es que luego de escuchar las alternativas los alumnos olvidaban reiteradamente la letra que estaba asociada a cada respuesta. Se puede conjeturar que la capacidad de los alumnos para retener información al estar envueltos en una actividad lúdica no es suficiente. Se hace necesario, por tanto, mantener toda la información relevante para realizar una actividad visible en todo momento y no asumir que el usuario será capaz de retener información relevante para el desarrollo del videojuego.

Una vez que los alumnos han descubierto el nombre de uno de los elementos del sistema solar, pueden acercar la ficha de pregunta a este para escuchar su nombre. Se pudo ver durante la evaluación que los usuarios tendían a dejar la ficha de pregunta junto al elemento al que consultaban, lo que producía que el sistema quedara repitiendo de forma cíclica el nombre del elemento. Esto fue molesto y desesperante para los usuarios.

Como se mencionó anteriormente, la interacción de elementos en el sistema es gatillada por los usuarios al posicionar la ficha de pregunta junto a la ficha con la que desean interactuar. El sistema detecta la acción calculando la distancia entre los marcadores de las fichas. Las fichas fueron diseñadas con una forma alargada y con un espacio blanco en la parte inferior, de forma que los usuarios pudieran tener un espacio por donde tomarlas y moverlas. Sin embargo, en ocasiones, se observó que juntaban las fichas por este borde inferior. Al hacerlo no obtenían

respuesta alguna del sistema y en general los usuarios no fueron capaces de darse cuenta del problema y uno de los facilitadores debió indicárselos.

Con respecto a este mismo método de cálculo de distancias usado para reconocer las interacciones, en una ocasión se observó que un usuario marcó una alternativa mientras movía la ficha de pregunta hacia otra alternativa, causando que respondiera equivocadamente a una pregunta. Esta situación sólo ocurrió una vez durante todas las evaluaciones realizadas, sin embargo, es necesario tenerla en consideración para la construcción de futuros prototipos.

Otro problema que encontrar fue la falta de feedback a los usuarios en ciertas acciones. Se observó que los usuarios intentaban responder nuevamente para identificar un elemento luego de haberse equivocado en la respuesta inicial. Similarmente, en otras ocasiones intentaban pedir una pista al mismo elemento con el que habían estado trabajando y se habían equivocado al responder. El sistema no permite ninguna de las acciones anteriores, sin embargo, tampoco entrega información que le permita al usuario percatarse de esto, lo que hace que sigan intentando realizar la acción sin saber que no está permitida.

Otros puntos importantes a mencionar, tienen que ver directamente con la tecnología utilizada y las decisiones de su implementación. Se observó que los usuarios tenían problemas para distinguir hacia donde debían arrastrar un elemento que estaba sobre la mesa para que subiera o bajara en la pantalla. Tendían a confundir esto moviendo una ficha hacia la cámara (alejándola de ellos) para que subiera y alejándola de la cámara (hacia ellos) para que bajara. Los movimientos requeridos son los opuestos ya que el sistema funciona como un espejo.

Además se observó que algunos alumnos tendían a trabajar mirando directamente las fichas y no a través de la pantalla, lo que tenía como consecuencia que perdieran la noción de lo que ocurría, ya que no veían los modelos 3D, sólo las fichas con sus marcadores. Durante la etapa de diseño se intuyó que esto podría suceder, por lo que se seleccionaron símbolos que no fueran representativos para cada planeta con el fin de forzar la vista de los usuarios al monitor (y para evitar que la ficha fuera una ayuda para identificar un elemento). Si bien esto ayudó, en algunos casos no fue suficiente.

Los dos puntos mencionados anteriormente tuvieron como consecuencias adicionales, que los usuarios en ocasiones intentaran trabajar con las fichas colocándolas fuera del ángulo capturado por la cámara y no se percataran de ello, o que no se dieran cuenta de que estaban tapando el marcador de una ficha con la que estaban trabajando, ya que no miraban la pantalla. Cuando esto ocurrió, fue necesario que uno de los facilitadores se lo indicara al usuario para evitar que se frustrara y para poder continuar con la evaluación. En general, se observó que los alumnos aprendían rápidamente de su error una vez que se les hacía notar.

Estos últimos puntos mencionados no tienen una solución clara que evite su ocurrencia. Sin embargo, dado que es una tecnología nueva a la que los usuarios no están acostumbrados y dada la reacción de los usuarios cuando se les explicó lo que estaba ocurriendo, se puede intuir que hay un factor de aprendizaje que influye considerablemente en solucionar estos errores de interacción.

Dado el diseño del sistema en que se ocupa un monitor para proyectar la imagen, no es posible solucionar estos problemas modificando la aplicación en sí. Este problema podría ser solucionado, por ejemplo, utilizando lentes de realidad aumentada. Sin embargo esto aumentaría sustancialmente el costo de uso de esta tecnología, haciéndola inviable para su implementación en la gran mayoría de las instituciones educativas. Es necesario por tanto hacer un trade-off en este punto y sacrificar un nivel de intuición más alto por un costo sustancialmente menor.

Finalmente, es interesante mencionar que el trabajo en parejas con la aplicación funcionó adecuadamente. Los alumnos trabajaron colaborando entre ellos y no tuvieron problemas para intercambiarse las fichas. No se presentaron situaciones en que los alumnos discutieran sobre quien realizaría la acción ni tampoco hubieron alumnos que simplemente dejaran que su compañero hiciera todo el trabajo.

Se observó, sin embargo, que en cada pareja uno de los integrantes era más activo que el otro. El usuario dominante correspondía al alumno que mostraba tener más conocimientos del tema. Por lo general se pudo observar que este era un alumno de género femenino.

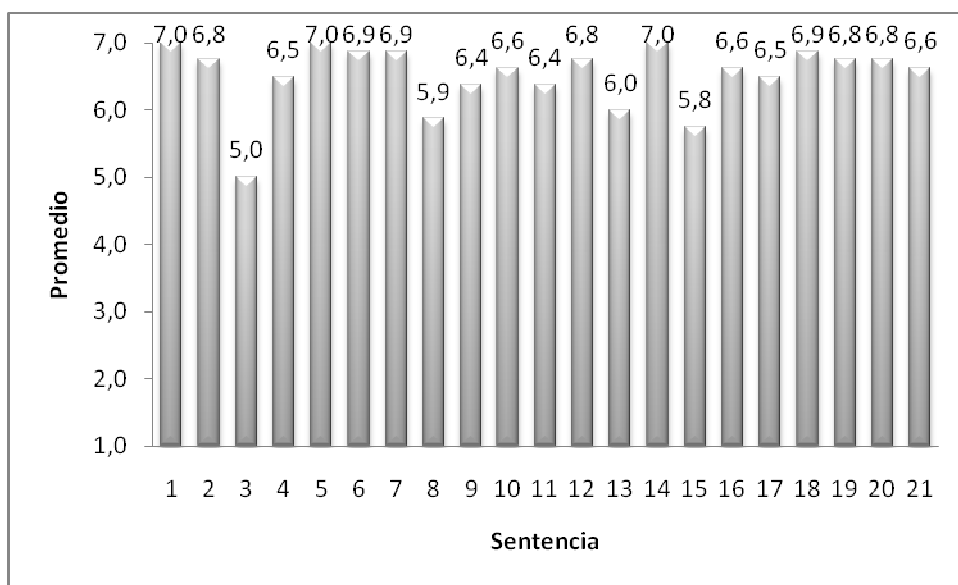
### **Cuestionario**

A continuación se presentan los resultados obtenidos a través del “Cuestionario de Evaluación de Usabilidad de Usuario Final” que fue completado por los usuarios finales que evaluaron el sistema luego de completar todas las tareas definidas. Si bien no es posible hacer un análisis estadístico completo de los resultados obtenidos, dado que el tamaño de la muestra en cuestión es de sólo 8 usuarios, se presenta un análisis de medias que permite tener una referencia de la percepción de los usuarios respecto del sistema.

La Figura 33 muestra los datos obtenidos a través de la aplicación del Cuestionario de Evaluación de Usabilidad de Usuario Final mientras que la Figura 34 muestra un gráfico con las medias de los resultados obtenidos en cada uno de los puntos evaluados por los usuarios finales que trabajaron con el videojuego.

| USUARIO<br>GENERO                                                        | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | PRM. |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|                                                                          | M   | F   | F   | F   | M   | F   | M   | F   |      |
| Me gusta el software (juego)                                             | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7,0  |
| El software es entretenido                                               | 7   | 7   | 6   | 7   | 6   | 7   | 7   | 7   | 6,8  |
| El software es desafiante                                                | 3   | 1   | 7   | 7   | 2   | 7   | 6   | 7   | 5,0  |
| El software me hace estar activo                                         | 7   | 6   | 7   | 7   | 6   | 7   | 6   | 6   | 6,5  |
| Volvería a jugar con el software                                         | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7,0  |
| Recomendaría este software a otros niños/jóvenes                         | 7   | 6   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 6,9  |
| Aprendí con este software                                                | 6   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 6,9  |
| El software tiene distintos niveles de dificultad                        | 4   | 5   | 6   | 7   | 6   | 7   | 6   | 6   | 5,9  |
| Me sentí controlando las situaciones del software                        | 6   | 5   | 7   | 7   | 7   | 6   | 6   | 7   | 6,4  |
| El software es interactivo                                               | 5   | 7   | 7   | 7   | 6   | 7   | 7   | 7   | 6,6  |
| El software es fácil de utilizar                                         | 7   | 6   | 7   | 6   | 5   | 7   | 6   | 7   | 6,4  |
| El software es motivador                                                 | 7   | 7   | 6   | 7   | 6   | 7   | 7   | 7   | 6,8  |
| El software se adapta a mi ritmo                                         | 4   | 7   | 7   | 7   | 6   | 5   | 6   | 6   | 6,0  |
| El software me permitió entender nuevas cosas                            | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7,0  |
| Me gustan los sonidos del software                                       | 1   | 6   | 7   | 7   | 5   | 7   | 6   | 7   | 5,8  |
| Los sonidos del software son claramente identificables                   | 7   | 6   | 7   | 7   | 5   | 7   | 7   | 7   | 6,6  |
| Los sonidos del software me transmiten información                       | 6   | 7   | 7   | 7   | 5   | 7   | 6   | 7   | 6,5  |
| Las imágenes, colores y brillos de la pantalla me transmiten información | 7   | 6   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 6,9  |
| Me gustan los modelos 3D del software                                    | 7   | 7   | 7   | 7   | 6   | 7   | 6   | 7   | 6,8  |
| Los modelos 3D del software son claramente identificables                | 7   | 6   | 7   | 7   | 6   | 7   | 7   | 7   | 6,8  |
| Los modelos 3D del software me transmiten información                    | 7   | 7   | 7   | 7   | 5   | 7   | 6   | 7   | 6,6  |
| PROMEDIO POR USUARIO                                                     | 6,0 | 6,2 | 6,9 | 7,0 | 5,9 | 6,9 | 6,5 | 6,9 | 6,5  |

**Figura 33: Tabla de resultados obtenidos a través del “Cuestionario de Evaluación de Usabilidad de Usuario Final”.**



**Figura 34: Gráfico de resultados obtenidos a través del “Cuestionario de Evaluación de Usabilidad de Usuario Final”.**

(1) *Me gusta el software (juego).* (2) *El software es entretenido.* (3) *El software es desafiante.* (4) *El software me hace estar activo.* (5) *Volvería a jugar con el software.* (6) *Recomendaría este software a otros niños/jóvenes.* (7) *Aprendí con este software.* (8) *El software tiene distintos niveles de dificultad.* (9) *Me sentí controlando las situaciones del software.* (10) *El software es interactivo.* (11) *El software es fácil de utilizar.* (12) *El software es motivador.* (13) *El software se adapta a mi ritmo.* (14) *El software me permitió entender nuevas cosas.* (15) *Me gustan los sonidos del software.* (16) *Los sonidos del software son claramente identificables.* (17) *Los sonidos del software me transmiten información.* (18) *Las imágenes, colores y brillos de la pantalla me transmiten información.* (19) *Me gustan los modelos 3D del software.* (20) *Los modelos 3D del software son claramente identificables.* (21) *Los modelos 3D del software me transmiten información.*

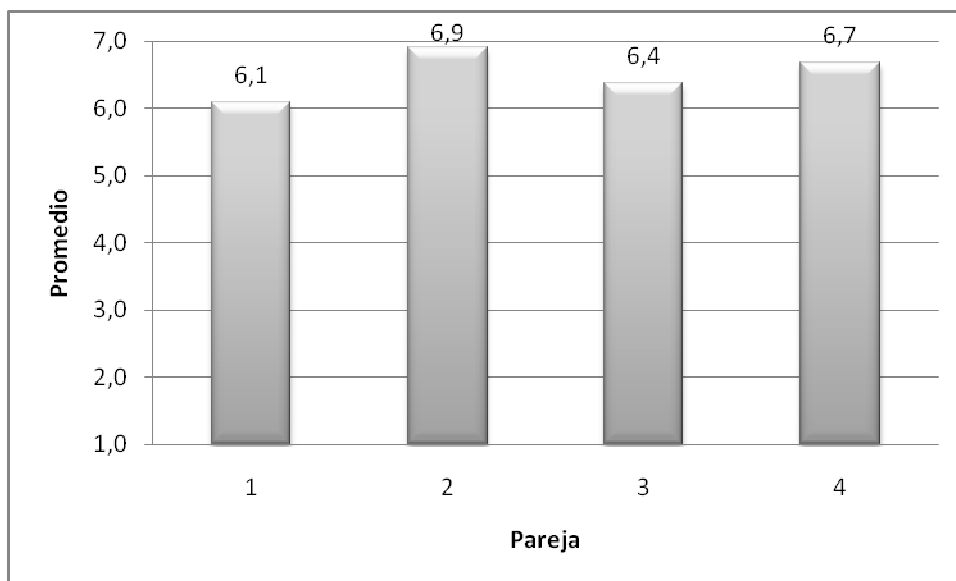
Del gráfico se puede observar que diez y ocho de las veintiún afirmaciones evaluados obtuvieron puntajes sobre 6.0 de un total de 7.0, lo cual indica que la satisfacción y aceptación del software es alta entre los usuarios.

La afirmación 3 (*El software es desafiante*) fue el que obtuvo la peor calificación, 5.0. Si bien este resultado sigue siendo positivo, significa que se pueden realizar mejoras sobre la dificultad del videojuego. La afirmación 8 (*El software tiene distintos niveles de dificultad*) obtuvo una media de 5.8 corroborando el resultado anterior.

Se obtuvo el promedio general entregado a la aplicación por cada usuario mediante el cálculo del promedio simple de los puntajes asignados por el alumno a cada una de las afirmaciones.

Usando este valor se calculó el promedio general entregado a la aplicación por parejas de trabajo. Es interesante observar que todas evaluaron el sistema con nota superior a 6,0 y dos de ellas lo

hicieron con nota superior a 6,5 de un máximo de 7,0. Estos resultados muestran que el videojuego resulta agradable para los usuarios lo cual es alentador.



**Figura 35: Gráfico del promedio general del sistema por parejas.**

Por medio de las preguntas abiertas del “Cuestionario de Evaluación de Usabilidad de Usuarios Finales”, se puede concluir que los usuarios encontraron divertida la aplicación y que les gustó ver los planetas en la pantalla y poder moverlos. En la pregunta “¿Qué te gustó del software?” algunas respuestas hicieron alusión a los planetas y sus colores, a jugar y a “hacer aparecer los planetas”. Incluso hubo menciones al aprendizaje, algunas de las respuestas fueron “Aprender”, “...el aprendizaje moviendo el signo de interrogación” y “Los planetas y como hablaban y así aprendía cosas”.

Seis de los ocho usuarios comentaron que les gustaría que se agregaran los planetas faltantes cuando se les preguntó “¿Qué agregarías al software?” Un alumno respondió que le gustaría que hubiera más preguntas en el videojuego mientras que otro dijo que le gustaría que hubiera “*más interacción y actividades con los planetas, moverlos, etc.*”.

También se mencionó que les gustaría que los sonidos fueran más divertidos. Lo cual significa que es necesario utilizar voces caracterizadas en cada uno de los elemento del sistema solar.

En la pregunta “¿Entendiste como se utiliza y que dificultades encontraste?” Todos los usuarios dijeron haber entendido como se utiliza el software y cinco de ellos expresaron que lo encontraron fácil de usar, mientras que dos indicaron que era difícil de usar “*porque [las fichas] no prendían bien cuando se toman*”.

En adición a lo indicado por los alumnos en la pregunta anterior, un alumno respondió que no le gustaba “*cundo se apagan las imágenes*” al preguntarle “¿Qué no te gustó del software?” Esto muestra que si bien el hecho de que los objetos 3D no se desplegaran en todo momento no afectó

de forma crítica el trabajo, según la observación realizada por los facilitadores, esto si fue notado por los usuarios quienes comentaron como algo negativo que los objetos 3D desaparecieran.

Todas las respuestas asociadas a la pregunta “¿Qué te pareció utilizar esta tecnología?” fueron positivas, un alumno respondió “*Nunca lo había usado y me gustó, es entretenido y puedo mover lo que se ve en la pantalla*” mientras que otro sólo dijo “*Genial!*”.

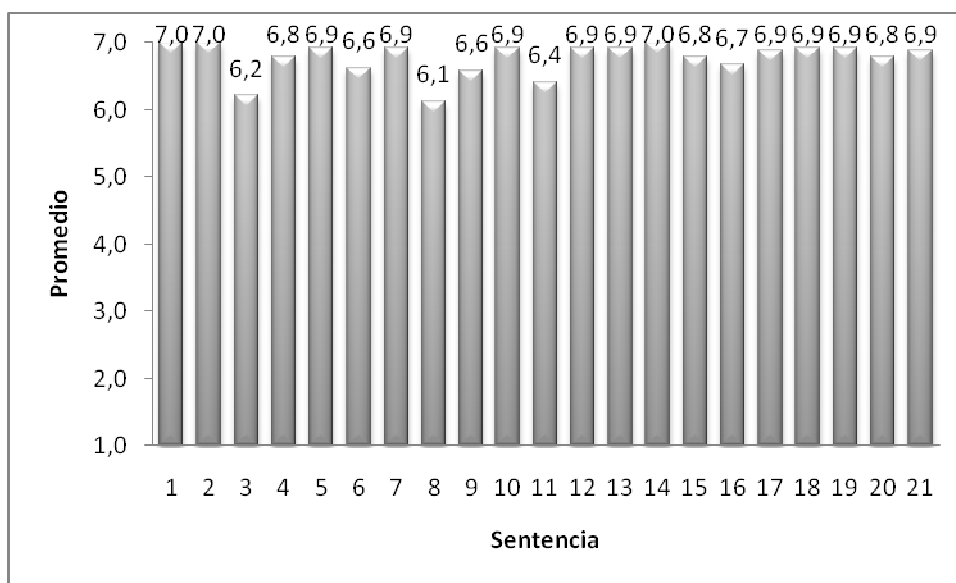
Finalmente es interesante notar que algunos alumnos comentaron sobre la dificultad teórica del videojuego. Este fue un factor variable entre los usuarios, ya que algunos comentaron que las pistas eran fáciles mientras que otros expresaron que les costó identificar algunos de los elementos u ordenarlos. De aquí que se puede deducir que, para aprovechar de mejor forma esta aplicación, sería recomendable que su uso se realizará inmediatamente después de que el profesor enseñe la unidad del Sistema Solar como una forma de reforzamiento. Algunos alumno comentaron que era una forma entretenida de aprender o de recordar cosas que habían aprendido, “*...a pesar de que se olvidan las cosas, se vuelven a recordar*”.

## **6.2.Resultados de la Segunda Evaluación de Usabilidad**

A partir de los resultados cuantitativos de la pauta de usabilidad es posible observar que ARSolarSystem es altamente usable y entendible por los usuarios finales. En la Figura 36 se presenta el gráfico con los puntajes obtenidos en la aplicación del “Cuestionario de Evaluación de Usabilidad de Usuario Final” en la evaluación de usabilidad del segundo prototipo.

Se observaron mejoras considerables respecto del primer prototipo. Si consideramos las sentencias que obtuvieron las mayores diferencias en su media podemos observar que en la afirmación 3, (*El software es desafiante*) hubo una diferencia de 1,2 puntos, de 5,0 a 6,2. Este incremento puede ser atribuible a que se agregó una nueva etapa al videojuego y a que todas las instrucciones fueron entregadas por el software mismo y no por el facilitador como en el caso del primer prototipo, lo cual requirió que los alumnos prestaran mayor atención al videojuego.

El punto 15 (*Me gustan los sonidos del software*) por su parte, también mostro un incremento importante en la evaluación, su aumento fue de 1,0 puntos, de 5,8 a 6,8. Esto se puede atribuir a que se modificaron las voces de los planetas para darles una caracterización mayor en relación al primer prototipo.



**Figura 36: Gráfico de resultados obtenidos a través del “Cuestionario de Evaluación de Usabilidad de Usuario Final”.**

(1) *Me gusta el software (juego).* (2) *El software es entretenido.* (3) *El software es desafiante.* (4) *El software me hace estar activo.* (5) *Volvería a jugar con el software.* (6) *Recomendaría este software a otros niños/jóvenes.* (7) *Aprendí con este software.* (8) *El software tiene distintos niveles de dificultad.* (9) *Me sentí controlando las situaciones del software.* (10) *El software es interactivo.* (11) *El software es fácil de utilizar.* (12) *El software es motivador.* (13) *El software se adapta a mi ritmo.* (14) *El software me permitió entender nuevas cosas.* (15) *Me gustan los sonidos del software.* (16) *Los sonidos del software son claramente identificables.* (17) *Los sonidos del software me transmiten información.* (18) *Las imágenes, colores y brillos de la pantalla me transmiten información.* (19) *Me gustan los modelos 3D del software.* (20) *Los modelos 3D del software son claramente identificables.* (21) *Los modelos 3D del software me transmiten información.*

Finalmente, el punto 13 (*El software se adapta a mi ritmo*) presentó un incremento de 0,9 putos, obteniendo un puntaje de 6,0 en la primera evaluación y de 6,9 en la segunda. No es clara la razón de esta variación en los puntajes, ya que no es posible atribuirla a un cambio puntual en el videojuego, sin embargo, es posible que la incorporación de todas las instrucciones al sistema haya influido en la percepción de los usuarios.

A partir del “Cuestionario de Evaluación de Usabilidad de Usuario Final” modificado utilizado en la evaluación, es estadísticamente posible considerar 4 índices, Satisfacción, Control y Uso, Sonidos y Gráficas. A continuación se especifica el subconjunto de afirmaciones que están asociadas a cada uno de estos índices.

**Control y Uso:**

- El software tiene distintos niveles de dificultad
- Me sentí controlando las situaciones del software
- El software es interactivo
- El software es fácil de utilizar
- El software se adapta a mi ritmo

**Satisfacción:**

- Me gusta el software (juego)
- El software es entretenido
- El software es desafiante
- El software me hace estar activo
- Volvería a jugar con el software
- Recomendaría este software a otros niños/jóvenes
- Aprendí con este software
- El software es motivador
- El software me permitió entender nuevas cosas

**Sonidos:**

- Me gustan los sonidos del software
- Los sonidos del software son claramente identificables
- Los sonidos del software me transmiten información

**Gráficas:**

- Las imágenes, colores y brillos de la pantalla me transmiten información
- Me gustan los modelos 3D del software
- Los modelos 3D del software son claramente identificables
- Los modelos 3D del software me transmiten información

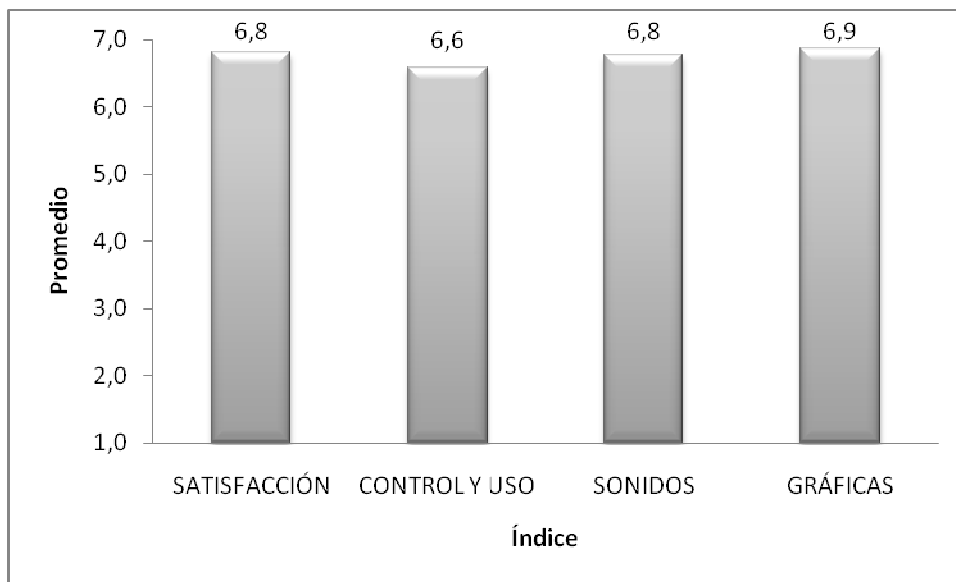
Los tres primeros índices son propios de la pauta original mientras que el cuarto índice, Gráficas, fue obtenido a partir de las sentencias agregadas. Para validar este índice se realizó una prueba de correlación entre las cuatro sentencias que lo componen encontrándose una correlación mayor al 95% entre cada par de afirmaciones, los resultados de esta prueba se presentan en la Figura 37.

|                                                                          |                        | Las imágenes, colores y brillos de la pantalla me transmiten información | Me gustan los modelos 3D del software | Los modelos 3D del software son claramente identificables | Los modelos 3D del software me transmiten información |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Las imágenes, colores y brillos de la pantalla me transmiten información | Correlación de Pearson | 1                                                                        | ,455(*)                               | ,479(*)                                                   | ,601(**)                                              |
|                                                                          | Sig. (bilateral)       |                                                                          | ,026                                  | ,018                                                      | ,002                                                  |
|                                                                          | N                      | 24                                                                       | 24                                    | 24                                                        | 24                                                    |
| Me gustan los modelos 3D del software                                    | Correlación de Pearson | ,455(*)                                                                  | 1                                     | ,479(*)                                                   | ,944(**)                                              |
|                                                                          | Sig. (bilateral)       | ,026                                                                     |                                       | ,018                                                      | ,000                                                  |
|                                                                          | N                      | 24                                                                       | 24                                    | 24                                                        | 24                                                    |
| Los modelos 3D del software son claramente identificables                | Correlación de Pearson | ,479(*)                                                                  | ,479(*)                               | 1                                                         | ,643(**)                                              |
|                                                                          | Sig. (bilateral)       | ,018                                                                     | ,018                                  |                                                           | ,001                                                  |
|                                                                          | N                      | 24                                                                       | 24                                    | 24                                                        | 24                                                    |
| Los modelos 3D del software me transmiten información                    | Correlación de Pearson | ,601(**)                                                                 | ,944(**)                              | ,643(**)                                                  | 1                                                     |
|                                                                          | Sig. (bilateral)       | ,002                                                                     | ,000                                  | ,001                                                      |                                                       |
|                                                                          | N                      | 24                                                                       | 24                                    | 24                                                        | 24                                                    |

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

**Figura 37: Resultados del test de correlación.**



**Figura 38: Gráfico de resultados por índice.**

Al analizar los cuatro índices podemos observar que los puntajes obtenidos en cada uno de ellos son altos. En todos los casos el puntaje asignado fue superior a 6,5 de un máximo de 7,0 puntos. La Figura 38 muestra los resultados obtenidos gráficamente.

También es posible observar que no existe una diferencia significativa en el puntaje obtenido por la aplicación entre hombres y mujeres. La Figura 39 y la Figura 40 muestran los resultados obtenidos al realizar una prueba T para muestras independientes, siendo la variable de agrupación el género de los usuarios.

Al igual que en la primera evaluación de usabilidad, se obtuvo el promedio general entregado a la aplicación por cada usuario mediante el cálculo del promedio simple de los puntajes asignados por el alumno a cada una de las afirmaciones.

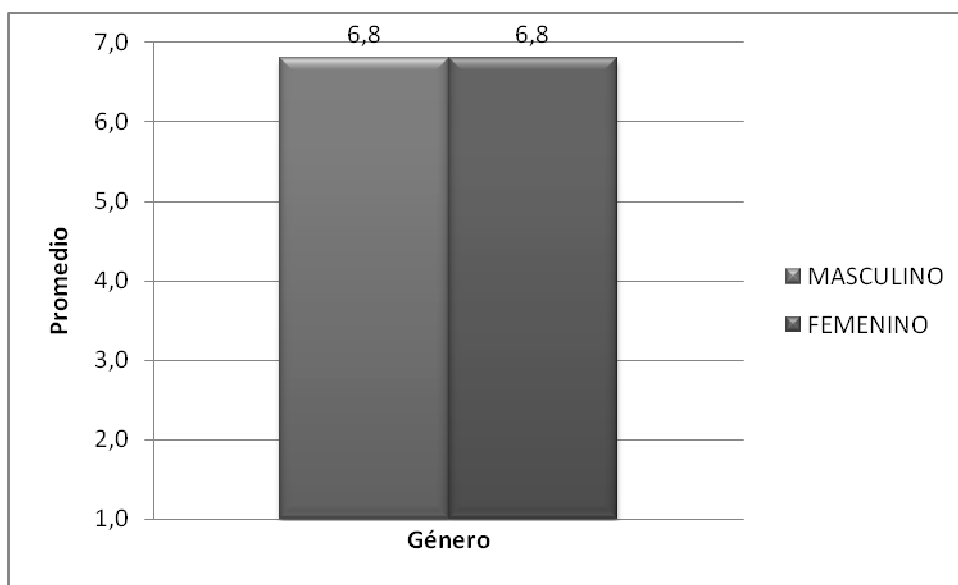
Usando este valor es posible calcular el promedio general entregado a la aplicación por género. Se puede observar que ambos géneros dieron un promedio general de 6,8 a la aplicación. Este resultado junto al anterior muestran que la aplicación no tiene una tendencia hacia uno u otro tipo de usuario. Esto es atribuible a que durante el diseño del videojuego se intentó crear una aplicación que fuera neutra, en el sentido de no incorporar elementos que pudieran ser más llamativos para un género que para otro, como son muñecas para niñas o peleas para niños. La Figura 41 muestra el gráfico del promedio entregado a la aplicación por género.

|               | GÉNERO | N  | Media | Desviación<br>típ. | Error típ. de<br>la media |
|---------------|--------|----|-------|--------------------|---------------------------|
| SATISFACCIÓN  | M      | 12 | 6,861 | ,1431              | ,0413                     |
|               | F      | 12 | 6,778 | ,2462              | ,0711                     |
| CONTROL Y USO | M      | 12 | 6,583 | ,3664              | ,1058                     |
|               | F      | 12 | 6,600 | ,3908              | ,1128                     |
| SONIDOS       | M      | 12 | 6,750 | ,3518              | ,1015                     |
|               | F      | 12 | 6,806 | ,2643              | ,0763                     |
| GRÁFICAS      | M      | 12 | 6,833 | ,4438              | ,1281                     |
|               | F      | 12 | 6,917 | ,1231              | ,0355                     |

**Figura 39: Estadísticos de grupo por género.**

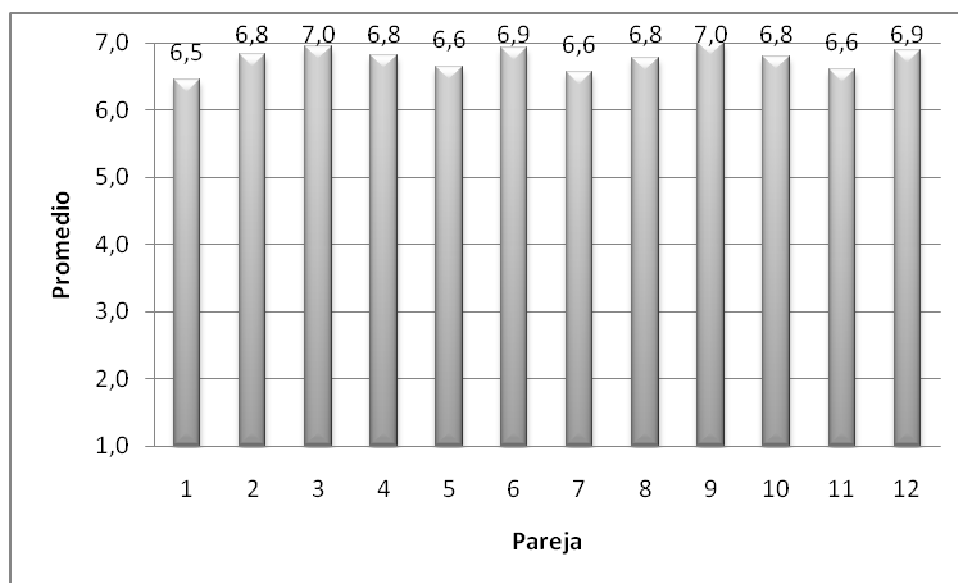
|               |                                     | Prueba T para la igualdad de medias |          |                  |                      |                             |                                               |          |
|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|----------|
|               |                                     | t                                   | gl       | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Error típ. de la diferencia | 95% Intervalo de confianza para la diferencia |          |
|               |                                     | Inferior                            | Superior | Inferior         | Superior             | Inferior                    | Superior                                      | Inferior |
| SATISFACCIÓN  | Se han asumido varianzas iguales    | 1,014                               | 22       | ,322             | ,0833                | ,0822                       | -,0871                                        | ,2538    |
| CONTROL Y USO | No se han asumido varianzas iguales | 1,014                               | 17,673   | ,324             | ,0833                | ,0822                       | -,0896                                        | ,2563    |
|               | Se han asumido varianzas iguales    | -,108                               | 22       | ,915             | -,0167               | ,1546                       | -,3374                                        | ,3040    |
|               | No se han asumido varianzas iguales | -,108                               | 21,909   | ,915             | -,0167               | ,1546                       | -,3375                                        | ,3041    |
|               | Se han asumido varianzas iguales    | -,437                               | 22       | ,666             | -,0556               | ,1270                       | -,3190                                        | ,2079    |
| SONIDOS       | No se han asumido varianzas iguales | -,437                               | 20,419   | ,666             | -,0556               | ,1270                       | -,3202                                        | ,2091    |
| GRÁFICAS      | Se han asumido varianzas iguales    | -,627                               | 22       | ,537             | -,0833               | ,1330                       | -,3591                                        | ,1924    |
|               | No se han asumido varianzas iguales | -,627                               | 12,682   | ,542             | -,0833               | ,1330                       | -,3713                                        | ,2046    |

**Figura 40: Prueba de muestras independientes.**



**Figura 41: Gráfico del promedio final por género obtenido de la “Pauta de usuarios final”.**

Finalmente, se presenta el promedio general entregado a la aplicación por parejas de trabajo. Se puede observar que todas las parejas que trabajaron con la aplicación evaluaron el sistema, en conjunto, con nota superior a 6,5 de un máximo de 7,0 puntos. Este puntaje es muy positivo. Se puede observar además que de las 12 parejas, 2 evaluaron el sistema con nota 7,0 y 6 parejas evaluaron el sistema con nota igual o superior a 6,8. La Figura 42 muestra los resultados obtenidos por pareja. Si bien no es posible realizar una comparación estadística válida con los resultados obtenidos en la primera evaluación de usabilidad, al comparar las medias de ambas evaluaciones se puede observar que los puntajes son muy superiores a los obtenidos por el primer prototipo, en que 2 de las cuatro parejas evaluadas dieron como promedio una nota inferior a 6,5 al videojuego.



**Figura 42: Gráfico del promedio general del sistema por parejas.**

---

## **7. Capítulo - CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO**

---

## **7.1.Discusión y Conclusiones**

Durante este trabajo de memoria se diseñó, desarrolló y evaluó una aplicación basada en Realidad Aumentada para apoyar el proceso de aprendizaje del Sistema Solar en alumnos de tercer año de educación general básica. El trabajo involucró además una evaluación preliminar de usabilidad y una segunda evaluación de usabilidad con la que fue posible obtener datos estadísticos. Se realizaron análisis tanto cuantitativos como cualitativos de las evaluaciones realizadas.

El diseño de la aplicación fue primordial para lograr un software que es escalable y rápidamente extensible. El desarrollo de la aplicación mediante el uso de escenas, permitió desacoplar el código y agregar rápidamente nuevas escenas o niveles al videojuego. El uso de este diseño fue primordial para el desarrollo exitoso de la aplicación.

Por otro lado, el uso del patrón de diseño Facade permite a la aplicación una mayor separación entre la lógica del videojuego y los distintos componentes y librerías externas usadas para realizar funciones básicas que son necesarias para la aplicación. El uso de este patrón permite modificar fácilmente las formas en que la aplicación realiza el tracking y despliega la información, tanto de forma visual como auditiva.

Respecto de las evaluaciones realizadas, cada una de ellas arrojó una serie de datos que guiaron las modificaciones esenciales realizadas al videojuego desarrollado. Por una parte la evaluación del primer prototipo permitió identificar problemas directamente ligados al perfil de los usuarios finales, como los sonidos, los cuales no eran lo suficientemente atractivos para los alumnos.

También reveló que el principal problema asociado a la implementación de aplicaciones de Realidad Aumentada mediante el uso de marcadores, problemas de tracking, no representaba un problema fundamental para los usuarios al trabajar con la aplicación. Más importante aún, permitió identificar que los principales problemas de interacción se producían debido al diseño poco intuitivo de las fichas físicas usadas en el videojuego.

Se observó un rápido aprendizaje por parte de los alumnos respecto de cómo utilizar el videojuego y cómo lidiar con los problemas de tracking, inherentes a la tecnología usada. Rápidamente se daban cuenta que no era necesario mantener todos los objetos virtuales visibles para poder trabajar.

Por su parte, la evaluación del segundo prototipo permitió identificar una mejora sustancial en la aplicación respecto de la primera evaluación, indicando que los cambios realizados después de la primera usabilidad ayudaron positiva y efectivamente a la percepción de los usuarios respecto de su interacción con el videojuego. Los altos resultados obtenidos fueron un indicativo para mantener lo realizado y no continuar realizando cambios significativos al sistema.

Dados los buenos resultados obtenidos por ARSolarSystem, es posible deducir que es factible generar una aplicación basada en Realidad Aumentada que sea atractiva para niños de entre 8 y 9 años y que les permita trabajar sin agregar un nivel de dificultad adicional a su aprendizaje. Más aún, se puede afirmar que el uso de la Realidad Aumentada representa un elemento motivador

para los alumnos, quienes encontraron el videojuego entretenido y afirmaron que volverían a trabajar con el software e incluso lo recomendarían a sus compañeros.

La tecnología por si misma fue capaz de capturar la atención de los alumnos durante el trabajo. Sin embargo, no se debe descartar el efecto que tuvo el hecho de que la aplicación fuera presentada como un videojuego. Los videojuegos son una herramienta altamente motivacional. Es posible que el efecto motivador de la Realidad Aumentada sólo haya sido producto de la novedad, ya que los usuarios nunca antes habían tenido contacto con esta tecnología, y puede que disminuya a medida que los usuarios se familiarizan con ella. El presentar una aplicación como un videojuego introduce un factor motivador más duradero en el tiempo.

El trabajo en parejas con la aplicación funcionó adecuadamente. Los alumnos trabajaron colaborando entre ellos y no tuvieron problemas para intercambiarse las fichas. Se pudo observar que en cada pareja uno de los integrantes era más activo en el trabajo. El usuario dominante correspondía al alumno que mostraba tener más conocimientos del tema. Por lo general se pudo observar que este era el alumno de género femenino.

ARSolarSystem permite interactuar con contenidos abstractos mediante una interfaz tangible y natural para los usuarios. Permite el trabajo en grupo de forma sencilla y entrega representaciones fieles de los elementos con los que se trabaja. Contar con una herramienta capaz de reunir todos estos atributos es claramente una ventaja en el contexto educacional. Dentro de los actuales métodos de enseñanza del Sistema Solar no existe una herramienta computacional, multimedia o actividad educativa que permitan reunir todas estas características. Más aún, se pudo ver en las evaluaciones que los alumnos disfrutaban aprendiendo con ARSolarSystem.

Finalmente, es posible intuir que ARSolarSystem es una herramienta que puede tener un impacto en el proceso de aprendizaje del Sistema Solar. A partir de lo observado se puede afirmar que su aplicación es más provechosa si se realiza una vez que se ha enseñado la materia a los alumnos, como método de repaso o reforzamiento de los conocimientos adquiridos. Sin embargo, es necesario realizar una evaluación cognitiva adecuada que permita establecer con seguridad esta afirmación.

## **7.2.Trabajo Futuro**

ARSolarSystem es una aplicación que fue diseñada para poder evaluar el uso de la Realidad Aumentada en la enseñanza de conceptos abstractos que pueden involucrar una complejidad mayor para los estudiantes de cursos de educación general básica.

Durante el desarrollo de esta memoria se evaluó satisfactoriamente que el uso de esta tecnología en una aplicación con interacciones simples fuera adecuado y no representara un factor de complejidad adicional al alumno.

Con esta base, se hace necesario realizar una evaluación cognitiva que permita ver el verdadero impacto que el uso de este tipo de herramientas puede tener en el aprendizaje. Es además

necesario reconocer, en base a resultados, en qué momento del proceso de aprendizaje tiene mayor impacto cognitivo el uso de este tipo de herramientas.

Así mismo, es posible incrementar la complejidad de las interacciones permitidas a los usuarios para investigar hasta que nivel son capaces de manejarlas fácilmente y sin agregar una dificultad adicional al aprendizaje. La importancia de estos resultados radica en que una mayor capacidad de interacción puede significar, en muchos casos, una experiencia más rica para los usuarios.

# Referencias

- [1] Acerca de la integración de las tic al currículo escolar. Eduteka. <http://www.eduteka.org/DefinicionIntegracion.php>. Último acceso 12/12/2010.
- [2] Aprendizaje Visible, Tecnología Invisible, Jaime Sánchez I., Dolmen Ediciones, 2001, Santiago, Chile, pp. 394, ISBN 956-201-473-8
- [3] Arhrrrr. <http://www.augmentedenvironments.org/lab/research/handheld-ar/arhrrrr>.
- [4] AR-media. <http://www.inglobetechnologies.com/>. Último acceso 12/12/2010.
- [5] ARQuake. <http://wearables.unisa.edu.au/projects/arquake>. Último acceso 12/12/2010.
- [6] ARToolKit Homepage <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>. Último acceso 12/12/2010.
- [7] ARToolKit, Documentación. <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/userarwork.htm>. Último acceso 12/12/2010.
- [8] Bevan, N. (1995). Measuring usability as quality of use. *Softw. Quality J.* 4, 2, 115-130.
- [9] Billinghurst, M. and Kato, H. 2002. Collaborative augmented reality. *Commun. ACM* 45, 7 (Jul. 2002), 64-70.
- [10] Billinghurst, M., Kato, H., Kiyokawa, K., Belcher, D. & Poupyrev, I. (2002). Experiments with Face-To-Face Collaborative AR Interfaces. *Virtual Reality* 6, pp. 107–121, Springer-Verlag London.
- [11] Bimber O. and Raskar R. (2005). Spatial augmented reality: Merging real and virtual worlds. Wellesley, Mass: A K Peters.
- [12] Brunner, J.J. (2001) “Globalización y el Futuro de la Educación: Tendencias, desafíos, estrategias”, en UNESCO (2001).
- [13] COLLADA. <http://www.khronos.org/collada/>. Último acceso 12/12/2010.
- [14] Diaper D. (1989b). Task observation for human-computer interaction. In Diaper D. (Ed.). *Task Analysis for Human-Computer Interaction*. Ellis Horwood, Chichester, UK. 210-237.
- [15] Doritos Sweet Chili. <http://www.doritos.com.br/sweetchili/site>. Último acceso 12/12/2010.
- [16] EducarChile. <http://www.educarchile.cl>. Último acceso 12/12/2010.
- [17] El porqué de las tic en educación. Eduteka. <http://www.eduteka.org/PorQueTIC.php>. Último acceso 12/12/2010.
- [18] Enlaces. <http://www.enlaces.cl/index.php?t=44&i=2&cc=1273&tm=2>. Último acceso 12/12/2010.
- [19] FLARManager. <http://words.transmote.com/wp/flaremanager/>. Último acceso 12/12/2010.
- [20] FLARToolKit. <http://www.libspark.org/wiki/saqoosha/FLARToolKit/en>. Último acceso 12/12/2010.

- [21] Flores, H. (2009). Videojuegos para desarrollar habilidades de representación conceptual. Memoria para optar al título de ingeniero civil en computación.
- [22] FONDEF. (2008). TICs para educación en Chile: Resultados del Programa TIC EDU de Fondef. CONICYT.
- [23] Gamma, E. (1995). Design patterns: elements of reusable object-oriented software. Addison-Wesley professional computing series. Reading, Mass: Addison-Wesley.
- [24] Goldstine, Herman H. (1972). The Computer: from Pascal to von Neumann. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- [25] Google Sky Map (beta). <http://www.google.com/mobile/skymap>.
- [26] Gross, B. (2000). El ordenador invisible, hacia la apropiación del ordenador en la enseñanza. Barcelona: Editorial Gedisa.
- [27] Holzinger, A. (January, 2005). Usability engineering for software development. Commun. ACM 48, 1, 71-74.
- [28] Home – OpenAI <http://connect.creativelabs.com/openai/default.aspx>. Último acceso 12/12/2010.
- [29] <http://www.youtube.com/watch?v=iT2ek8N0VIY>. Último acceso 12/12/2010.
- [30] ISO/IEC. 9241-14 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDT) - Part 14 Menu dialogues, ISO/IEC 9241-14: 1998 (E), 1998.
- [31] Johnson, L., Smith, R., Levine, A., Stone, S. (2010). The 2010 Horizon Report: Edición en español. (Xavier Canals, Eva Durall, Translation.) Austin, Texas: The New Media Consortium.
- [32] Kato, H. and Billinghurst, M. 1999. Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-Based Augmented Reality Conferencing System. In Proceedings of the 2nd IEEE and ACM international Workshop on Augmented Reality (October 20 - 21, 1999). IWAR. IEEE Computer Society, Washington, DC, 85.
- [33] Kirakowski, Jurek. The Use of Questionnaire Methods for Usability Assessment. <http://www.ucc.ie/hfrg/questionnaires/sumi/sumipapp.html>. Último acceso 12/12/2010.
- [34] Klein, G. and Murray, D. 2007. Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces. In Proceedings of the 2007 6th IEEE and ACM international Symposium on Mixed and Augmented Reality (November 13 - 16, 2007). Symposium on Mixed and Augmented Reality. IEEE Computer Society, Washington, DC, 1-10.
- [35] LarnGear Technology. <http://www.larngeartech.com>. Último acceso 12/12/2010.
- [36] Layar Wiki. <http://layar.pbworks.com/w/page/7783228/FrontPage>. Último acceso 12/12/2010.
- [37] Layar. <http://layar.com/>. Último acceso 12/12/2010.
- [38] M. Billinghurst, S. Weghorst, T. Furness. Shared Space: An Augmented Reality Approach for Computer Supported Cooperative Work. Virtual Reality Vol. 3(1), 1998, pp. 25-36.
- [39] Maps GPS Info.com. <http://www.maps-gps-info.com/gps-accuracy.html>. Último acceso 12/12/2010.
- [40] Mark H. Chignell. (1990). A taxonomy of user interface terminology. SIGCHI Bull. 21, 4 (April 1990), 27-34.

- [41] Microsoft DirectX <http://www.microsoft.com/games/en-us/aboutgfw/pages/directx.aspx>. Último acceso 12/12/2010.
- [42] Milgram, Paul, and Fumio Kishino. Taxonomy of Mixed Reality Virtual Displays. IEICE Transactions on Information and Systems E77-D, 9 (September 1994), 1321-1329.
- [43] Milgram, Paul, Haruo Takemura, Akira Utsumi, and Fumio Kishino. Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. SPIE Proceedings volume 2351: Telemanipulator and Telepresence Technologies (Boston, MA, 31 October - 4 November 1994), 282-292.
- [44] Ministerio de Educación. 3º Básico Estudio y Comprensión de la Naturaleza. Programa de estudio. [http://www.curriculum-mineduc.cl/docs/fichas/3b04\\_comp\\_del\\_medio\\_.pdf](http://www.curriculum-mineduc.cl/docs/fichas/3b04_comp_del_medio_.pdf). Último acceso 12/12/2010.
- [45] Ministerio de Educación. Unidades Didácticas Digitales, Comprensión del Medio.
- [46] Myers, B.A., and Rosson, M. B. (1992). Survey on user interface programming. Proc. ACM CHI'92 Con! (Monterey, CA, 3-7 May), 195-202.
- [47] Negroponte, N. (1995) Ser Digital; Buenos Aires: Editorial Atlántida.
- [48] Nielsen, J. (1993). Usability engineering. New York: Academic Press Professional.
- [49] Nielsen, Jakob, and Landauer, Thomas K. (1993). A mathematical model of the finding of usability problems. Proceedings of ACM INTERCHI'93 Conference (Amsterdam, The Netherlands, 24-29 April 1993), pp. 206-213.
- [50] NyARToolkit <http://nyatla.jp/nyartoolkit/wiki/index.php?FrontPage.en>
- [51] OpenCV Wiki <http://opencv.willowgarage.com/wiki/>. Último acceso 12/12/2010.
- [52] Polling, Wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/Polling\\_\(computer\\_science\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Polling_(computer_science)). Último acceso 12/12/2010.
- [53] Programa Fondef TIC-Edu. <http://ticedu.fondef.cl/>. Último acceso 12/12/2010.
- [54] PTAM. <http://www.robots.ox.ac.uk/~gk/PTAM/>. Último acceso 12/12/2010.
- [55] R. Azuma et al., "Recent Advances in Augmented Reality," IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 21, no. 6, Nov./Dec. 2001, pp. 34-47.
- [56] Rauterberg, M., & Fjeld, M. (January 01, 1998). Task Analysis in Human-Computer Interaction - supporting action regulation theory by simulation. Zeitschrift Fur Arbeitswissenschaft, 52, 3, 152-161.
- [57] Ray-Ban. <http://www.ray-ban.com/usa/science/virtual-mirror>.
- [58] Reed, A. (2009). Learning XNA 3.0. Farnham: O'Reilly.
- [59] Robert W. Root and Steve Draper. (1983). Questionnaires as a software evaluation tool. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '83), Ann Janda (Ed.). ACM, New York, NY, USA, 83-87.
- [60] Ronald T. Azuma. A Survey of Augmented Reality. In Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, 4 (August 1997), 355-385.
- [61] Sánchez, J. (2001) Aprendizaje Visible, Tecnología Invisible. Dolmen Ediciones, 2001, Santiago, Chile, pp. 394, ISBN 956-201-473-8.
- [62] Sánchez, J. (2001) Aprendizaje Visible, Tecnología Invisible. Dolmen Ediciones, 2001, Santiago, Chile, pp. 394, ISBN 956-201-473-8

- [63] Sánchez, J. (2003). Integración Curricular de TICs Concepto y Modelos. Revista Enfoques Educativos, 5(1), pp. 51-65
- [64] Transformers: Revenge of the fallen.  
<http://www.weareautobots.com/uk/index.php>. Último acceso 12/12/2010.
- [65] Tullis, T. S. & Stetson, J. N. (2004). A Comparison of Questionnaires for Assessing Website Usability, Usability Professionals Association (UPA) 2004 Conference, Minneapolis, USA.
- [66] Verdugo, A. & Gómez, X. (2008). Una Experiencia que Busca Innovar en la Incorporación de las TIC en la FID. En J. Sánchez (Ed.): Nuevas Ideas en Informática Educativa, Volumen 4, pp. 70-79, Santiago de Chile.
- [67] Virtual Reality Modeling Lan, VRML.  
<http://www.web3d.org/x3d/specifications/vrml/>. Último acceso 12/12/2010.

---

## **Capítulo - ANEXOS**

---



# Anexo 1

# Usabilidad de Software

## Pauta resumida usuario final.

### “Evaluación de Usabilidad de Software Para Niños Ciegos”

Dr. Jaime Sánchez I.

Universidad de Chile

La presente Pauta tiene por objetivo evaluar la usabilidad de un software para niños con discapacidad visual.

## Antecedentes

Nombre del Software

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

Nombre del niño

Edad

Sexo

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|--|--|--|

Nivel del evaluador

Resto Visual

|          |        |          |
|----------|--------|----------|
| Aprendiz | Normal | Avanzado |
|----------|--------|----------|

|    |    |
|----|----|
| SI | NO |
|----|----|

|                                                                          | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| Me gusta el software (juego)                                             |   |   |   |   |   |   |   |
| El software es entretenido                                               |   |   |   |   |   |   |   |
| El software es desafiante                                                |   |   |   |   |   |   |   |
| El software me hace estar activo                                         |   |   |   |   |   |   |   |
| Volvería a jugar con el software                                         |   |   |   |   |   |   |   |
| Recomendaría este software a otros niños/jóvenes                         |   |   |   |   |   |   |   |
| Aprendí con este software                                                |   |   |   |   |   |   |   |
| El software tiene distintos niveles de dificultad                        |   |   |   |   |   |   |   |
| Me sentí controlando las situaciones del software                        |   |   |   |   |   |   |   |
| El software es interactivo                                               |   |   |   |   |   |   |   |
| El software es fácil de utilizar                                         |   |   |   |   |   |   |   |
| El software es motivador                                                 |   |   |   |   |   |   |   |
| El software se adapta a mi ritmo                                         |   |   |   |   |   |   |   |
| El software me permitió entender nuevas cosas                            |   |   |   |   |   |   |   |
| Me gustan los sonidos del software                                       |   |   |   |   |   |   |   |
| Los sonidos del software son claramente identificables                   |   |   |   |   |   |   |   |
| Los sonidos del software me transmiten información                       |   |   |   |   |   |   |   |
| Las imágenes, colores y brillos de la pantalla me transmiten información |   |   |   |   |   |   |   |
| Me gustan los modelos 3D del software                                    |   |   |   |   |   |   |   |
| Los modelos 3D del software son claramente identificables                |   |   |   |   |   |   |   |
| Los modelos 3D del software me transmiten información                    |   |   |   |   |   |   |   |

## Cuestionario

1.- ¿Qué te gusto del software?

|  |
|--|
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |

2.-¿Qué no te gusto del software?

|  |
|--|
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |

3.- ¿Qué agregarías al software?

|  |
|--|
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |

4.- ¿Entendiste como se utiliza y que dificultades encontraste?

|  |
|--|
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |

5.- ¿ Que te pareció utilizar esta tecnología?

|  |
|--|
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |

Observaciones o comentarios

|  |
|--|
|  |
|  |
|  |
|  |

## **Anexo 2**

# OBSERVACIÓN IDENTIFICACIÓN DE NOMBRE

| INT | N° | FALLA LA INTERACCIÓN | TAPA ACCIDENTALMENTE MARCADOR | SISTEMA PIERDE MARCADOR | MANIPULACIÓN DE ELEMENTOS | DAÑA LAS TARJETAS |
|-----|----|----------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|
| 1   |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 2   |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 3   |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 4   |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 5   |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 6   |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 7   |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |

| INT | N° | FALLA LA INTERACCIÓN | TAPA ACCIDENTALMENTE MARCADOR | SISTEMA PIERDE MARCADOR | MANIPULACIÓN DE ELEMENTOS | DAÑA LAS TARJETAS |
|-----|----|----------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|
| 8   |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 9   |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 10  |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 11  |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 12  |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 13  |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 14  |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |

| INT | N° | FALLA LA INTERACCIÓN | TAPA ACCIDENTALMENTE MARCADOR | SISTEMA PIERDE MARCADOR | MANIPULACIÓN DE ELEMENTOS | DAÑA LAS TARJETAS |
|-----|----|----------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|
| 15  |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 16  |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 17  |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 18  |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 19  |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 20  |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
| 21  |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |
|     |    |                      |                               |                         |                           |                   |

**OBSERVACIÓN ORDEN SISTEMA SOLAR**

| INT | N° | TAPA ACCIDENTALMENTE<br>MARCADOR | SISTEMA PIERDE MARCADOR | MANIPULACIÓN DE<br>ELEMENTOS | DAÑA LAS<br>TARJETAS |
|-----|----|----------------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------|
| 1   |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
| 2   |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
| 3   |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
| 4   |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
| 5   |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
| 6   |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
| 7   |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |
|     |    |                                  |                         |                              |                      |

## This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.