

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA DE SISTEMAS



**FRAMEWORK PARA DISEÑO DE CONTENIDOS
EN APLICACIONES MÓVILES DE REALIDAD
AUMENTADA ORIENTADO A PERSONAL
NO-EXPERTO**

TESIS PRESENTADA POR:

YULIANA GUADALUPE APAZA YLLACHURA

PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA DE SISTEMAS

ASESOR:

ING. ALFREDO PAZ VALDERRAMA

AREQUIPA – PERÚ
2019

*Dedicado a la memoria de mi madre Julia, quien con su ejemplo y dedicación me
continúa inspirando hasta el día de hoy*

Agradecimientos

Agradezco a mis padres Víctor y Julia y a mi hermana Verónica que me incentivaron a acabar este trabajo a través de su ejemplo y perseverancia.

Agradezco a Diego, Geraldine, Gladys, Kevin, Paula y Yemi que supieron animarme, al grupo MOT S.A. y en especial a Brandon, Marielena y Zummy por turnarse regularmente para motivarme con la pregunta “¿Cómo va la tesis?”.

Agradezco a todos los colaboradores e integrantes del proyecto Zoodex que me ayudaron con las evaluaciones y la recopilación de información. Ivan, Deyby y Richard gracias por el apoyo.

Agradezco a mi asesor de tesis, Alfredo Paz Valderrama, quien me ayudó sin pedir nada a cambio desde el inicio hasta el final del desarrollo de ésta tesis.

Agradezco a la Universidad Nacional de San Agustín por el financiamiento de esta investigación a través del proyecto “ZOODEX: Enciclopedia interactiva para la enseñanza de conceptos básicos de Zoología dirigido a estudiantes de nivel inicial usando Realidad Aumentada” con contrato de subvención N° IBA-0006-2017.

Finalmente un agradecimiento cordial al “Centro de Investigación, transferencia tecnológica y Desarrollo de Software I + D + i” - CiTeSoft - UNSA por su equipamiento y facilidades para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Resumen

La realidad aumentada es una de las tecnologías que está teniendo un alto impacto en diferentes áreas como la educación, mantenimiento o desarrollo de videojuegos, medicina, arquitectura, etc. Una de sus principales desventajas, es la necesidad de que los creadores de contenidos tengan que tener ciertos conocimientos de programación. Una solución a este problema es el uso de frameworks de diseño de contenidos en alto nivel de realidad aumentada para facilitar el desarrollo de dichas aplicaciones.

El presente trabajo propone un nuevo framework de diseño de contenidos en alto nivel de realidad aumentada para personal con conocimientos básicos o nulos de programación, el framework propuesto resume la experiencia recolectada de un estudio sistemático hecho sobre frameworks similares.

Palabras clave: Realidad aumentada, aplicaciones móviles, herramienta de creación de aplicaciones de realidad aumentada.

Abstract

Augmented Reality is expected to be one of the technologies that will have a high impact on different areas such as education, maintenance or game development, medicine, architecture, etc. One of the main drawbacks of using this technology has been its requirements of programming skills for designers to create AR applications. The use of High-Level Content Design Frameworks for AR is proposed as a solution to facilitate the process of developing AR applications.

This study proposes a new high-level content-design framework for augmented reality focused on users with basic/null knowledge of programming, the proposed framework summarises the experience collected by a systematic mapping study on similar frameworks.

Keywords: Augmented reality, mobile applications, augmented reality authoring tools, usability.

Índice general

Siglas	7
Índice de figuras	8
Índice de cuadros	10
1. Introducción	11
1.1. Objetivos	11
1.1.1. Objetivo General	11
1.1.2. Objetivos Específicos	12
1.2. Contribución	12
1.3. Organización del trabajo	12
2. Estado del Arte	13
2.1. Revisión Histórica	13
2.2. Arquitectura de los Framework de diseño de contenidos en alto nivel de realidad aumentada (FDCA)	14
2.3. Interfaz de usuario del FDCA	15
2.4. Clasificación por modelos generales	16
2.5. Campo de aplicación	16
3. Conceptos fundamentales	17
3.1. Realidad Aumentada	17
3.2. Herramientas de creación de aplicaciones de RA	18
3.2.1. Frameworks de programación de RA	19
3.2.2. Frameworks de diseño de contenidos de RA	19
3.3. Usuarios involucrados con el FDCA	19
3.4. Categorías de usuarios	20
3.5. ISO 9241-11 Estándar de usabilidad	20
4. Propuesta de Framework	22
4.1. Consideraciones iniciales	22
4.1.1. Características del FDCA propuesto	22
4.1.2. Usuario objetivo	23
4.1.3. Selección de funcionalidades	23
4.2. Arquitectura del framework	25
4.2.1. Nivel 1: Contexto del sistema	26

4.2.2. Nivel 2: Contenedores del sistema	27
4.2.3. Nivel 3: Componentes del sistema	28
4.3. Implementación	30
4.3.1. SimpleAR Editor	31
4.3.2. SimpleAR Viewer	35
5. Pruebas y Resultados	37
5.1. Diseño de metodología de la prueba de usabilidad	37
5.1.1. Fase de entrenamiento	37
5.1.2. Fase de aplicación	37
5.1.3. Fase de extracción de datos	39
5.2. Resultados	39
5.2.1. Demografía	41
5.2.2. Efectividad	41
5.2.3. Eficiencia	42
5.2.4. Satisfacción del usuario	43
6. Conclusiones y Trabajos Futuros	44
Bibliografía	45
A. Protocolo del mapeo sistemático de la literatura	48
A.1. Preguntas de investigación	48
A.2. Búsqueda	49
A.3. Selección de estudio	50
A.3.1. Criterios de inclusión	50
A.3.2. Criterios de exclusión	50
A.4. Evaluación de calidad	51
A.5. Extracción de datos	51
B. Resultados de las pruebas de usabilidad por cada usuario	54

Siglas

API Interfaz de programación de aplicaciones.

DART Designer's Augmented Reality Toolkit.

FDCA Framework de diseño de contenidos en alto nivel de realidad aumentada.

HMD Gafas de realidad aumentada.

PC Computadora personal.

RA Realidad Aumentada.

Índice de figuras

2.1.	Tendencia de publicación por año	13
2.2.	Plataforma de desarrollo y de proyección de interfaz en 3 etapas	14
2.3.	Distribución por métodos de seguimiento de Realidad Aumentada (RA)	15
2.4.	Distribución por frameworks o métodos de programación de RA	15
2.5.	Mapeo que muestra el número de artículos de acuerdo al tipo de interfaz de usuario del FDCA durante 3 etapas y por plataforma de desarrollo	15
2.6.	Distribución por los modelos generales propuestos por [7]	16
2.7.	Distribución por campos de aplicación	16
3.1.	Continuidad Realidad - Virtualidad	17
3.2.	Framework tridimensional para entornos de realidad mixta	18
3.3.	Esquema de clasificación de las herramientas de creación de RA	18
3.4.	Usuarios involucrados con el FDCA	20
3.5.	Dimensiones de la experiencia del usuario	20
4.1.	Diagrama de contexto del sistema	26
4.2.	Diagrama de contenedores del sistema	27
4.3.	Diagrama de componentes del sistema enfocado en el contenedor SimpleAR Editor	29
4.4.	Diagrama de componentes del sistema enfocado en el contenedor SimpleAR Viewer	30
4.5.	Interfaz de inicio de sesión	31
4.6.	Interfaz para mostrar proyectos del usuario	32
4.7.	Interfaz para crear nuevo proyecto	32
4.8.	Interfaz general del editor	33
4.9.	Interfaz para crear marcador	33
4.10.	Interfaz para buscar y agregar un modelo 3D	34
4.11.	Interfaz para crear un componente	34
4.12.	Interfaz para editar la configuración de un componente	35
4.13.	Interfaz para previsualizar un proyecto mediante código QR	35
4.14.	Interfaz para escanear código QR	36
4.15.	Interfaz para visualizar la aplicación de RA donde se muestra un modelo 3D aumentado sobre un marcador	36
5.1.	Grado de completitud por cada tarea	41
5.2.	Tiempo de realización por tarea	42

5.3. Rangos de aceptabilidad y calificativos para una comparación con SUS	43
A.1. Visión general del proceso de selección de artículos	52

Índice de cuadros

4.1. Comparativa de interfaces de usuario entre herramientas de diseño comerciales	25
5.1. Evaluación de perfil del usuario	38
5.2. Cuestionario SEQ	39
5.3. Cuestionario SUS	40
5.4. Errores cometidos por el usuario por tarea	42
A.1. Resultados por cada base de datos académica	49
A.2. Criterios de calidad	51
A.3. Formulario de extracción de datos	53
B.1. Resultados de las métricas para el usuario N° 1	54
B.2. Resultados de las métricas para el usuario N° 2	54
B.3. Resultados de las métricas para el usuario N° 3	55
B.4. Resultados de las métricas para el usuario N° 4	55
B.5. Resultados de las métricas para el usuario N° 5	55
B.6. Resultados de las métricas para el usuario N° 6	56
B.7. Resultados de las métricas para el usuario N° 7	56
B.8. Resultados de las métricas para el usuario N° 8	56

Capítulo 1

Introducción

Aunque la RA se ha estado estudiando desde el año 1992, es sólo recientemente que, gracias a la aparición de dispositivos móviles con un alto poder de procesamiento, se ha empezado a usar exitosamente en distintos dominios como la arquitectura, medicina, entretenimiento y marketing [1]. El Perú no es ajeno a las innovaciones que usan esta tecnología, así por ejemplo en el campo de la educación se han desarrollado algunos trabajos [2]. Así tenemos que el uso de esta tecnología se está extendiendo, sin embargo el desarrollo de contenido aún es muy restringido y no es de alcance masivo.

Una causa de estos problemas, es la falta de experiencia y conocimientos para desarrollar aplicaciones de RA. Además, es importante tener en cuenta que las aplicaciones de RA son desarrolladas en base a un equipo constituido no sólo por programadores, en algunos casos poco experimentados, sino también por diseñadores cuyo conocimiento no les permite crear y probar prototipos funcionales de la aplicación [3].

Con el paso del tiempo han surgido herramientas que facilitan el desarrollo de aplicaciones de RA, donde se puede requerir desde habilidades de programación (frameworks de programación) hasta ninguna habilidad en especial (frameworks para diseño de contenidos) [4].

Los frameworks para diseño de contenidos en RA, pueden a su vez, clasificarse en bajo nivel o alto nivel. Un FDCA comúnmente incluye un editor visual, de modo que crear una aplicación de RA es mucho más sencillo. Los FDCA han sido propuestos como una solución a este problema, puesto que no requieren conocimientos de programación para su uso, sin embargo, las herramientas existentes aún no satisfacen las necesidades de los usuarios [5].

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Desarrollar un FDCA para aplicaciones móviles orientado a personal con poca o nula experiencia en programación.

1.1.2. Objetivos Específicos

1. Revisar el estado del arte sobre frameworks para el diseño de contenidos en aplicaciones de RA.
2. Proponer una arquitectura del framework para el desarrollo de aplicaciones de RA.
3. Implementar un ejemplo de aplicación, utilizando el framework, que permita el diseño de contenidos en alto nivel de RA.
4. Demostrar que personas con conocimientos básicos o nulos de programación son capaces de crear aplicaciones móviles de RA.

1.2. Contribución

En el presente trabajo se propone un FDCA a personas que tienen poca o nula experiencia en programación, el framework es extensible permitiendo un futuro desarrollo de nuevas funcionalidades.

Se han logrado los siguientes productos:

1. Un estudio teórico sobre las funcionalidades existentes en frameworks similares.
2. Arquitectura de un FDCA para aplicaciones móviles.
3. Una implementación del framework propuesto que permite el desarrollo de aplicaciones de RA a personas con poca o nula experiencia en programación.

1.3. Organización del trabajo

Este trabajo está organizado de la siguiente manera:

- En el **Capítulo 2** se hace una revisión del estado del arte sobre los FDCA y sus características obtenidas a través de un mapeo sistemático de la literatura.
- En el **Capítulo 3** se brinda el marco teórico fundamental en realidad aumentada, los FDCA y características del usuario final.
- En el **Capítulo 4** se describe las características y arquitectura del FDCA propuesto.
- En el **Capítulo 5** se presenta los resultados de las pruebas de usabilidad realizadas
- Finalmente, en el **Capítulo 6** se dan las conclusiones y se describe posibles trabajos futuros.

Capítulo 2

Estado del Arte¹

Este capítulo presenta de forma concisa los resultados del mapeo sistemático de la literatura realizado para conocer el estado del arte de los FDCA de acuerdo al protocolo descrito en el Apéndice A. A continuación, se resumen los principales trabajos relacionados encontrados, clasificados por arquitectura, interfaz de usuario, los modelos generales de [7] y campo de aplicación

2.1. Revisión Histórica

Existe un creciente interés en este tema, la figura 2.1 muestra la tendencia de publicaciones académicas por año. A pesar que la RA apareció en el año 1992, hay poca actividad académica sobre los FDCA hasta el 2007 [1]. A partir de ese año, la tendencia ha ido aumentando alcanzando un pico en el año 2016.

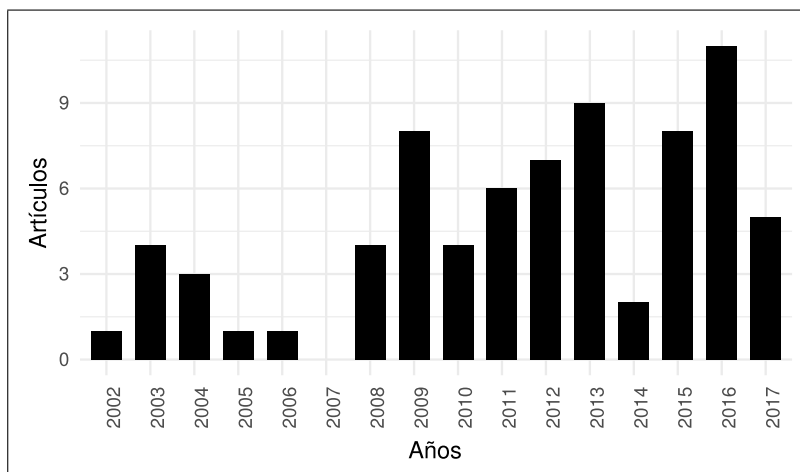


Figura 2.1: Tendencia de publicación por año

Fuente: [6]

Los FDCA han ido evolucionando de plataforma de desarrollo y de proyección de interfaz de acuerdo a las tecnologías disponibles a lo largo de la historia. De acuerdo

¹El presente capítulo está basado en mi trabajo previo publicado en [6].

a [6], se demuestra que existen 3 etapas en el tiempo respecto a ambos tipos de plataformas como se ve en la figura 2.2:

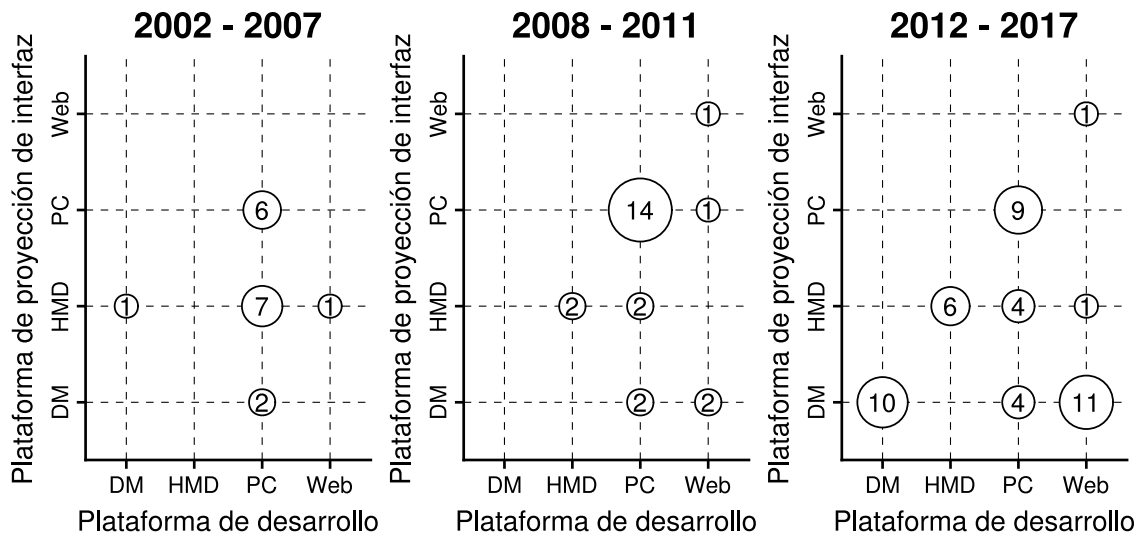


Figura 2.2: Plataforma de desarrollo y de proyección de interfaz en 3 etapas

Fuente: [6]

1. **2002 - 2007:** La aplicación de RA creada por el FDCA está orientada a ser proyectada en Gafas de realidad aumentada (HMD) o Computadora personal (PC) de escritorio, generalmente se opta que la plataforma de desarrollo sea esta última. Uno de los primeros trabajos en el área de alto impacto fue [8], que propuso Designer's Augmented Reality Toolkit (DART). DART estaba orientado hacia los diseñadores multimedia y estaba construido en base a AR-Toolkit (un framework de programación muy común en este periodo).
2. **2008 - 2011:** La PC de escritorio prevalece ampliamente como plataforma de desarrollo y proyección de interfaz. A diferencia del anterior periodo, donde la mayoría de FDCA eran de uso genérico, en esta etapa surgen FDCA con campos de aplicación más específicos (educación, juegos, mantenimiento y ensamblaje). Por ejemplo, en el ámbito educativo, aparecen herramientas para facilitar la creación de libros con RA como [9–11].
3. **2012 - 2017:** La web es la plataforma de desarrollo más usada y los dispositivos móviles cumplen lo mismo respecto a la plataforma de proyección de interfaz. Las interfaces de usuario de tipo 3D inmersivas son más comunes actualmente.

2.2. Arquitectura de los FDCA

La mayoría de FDCA permiten implementar interacciones basadas en el método de seguimiento de marcadores (ver figura 2.3). Esto se debe a la facilidad que ofrece los frameworks de programación de RA basados en marcadores (ARToolkit, Vuforia, etc.) al *desarrollador del FDCA* (ver figura 2.4).

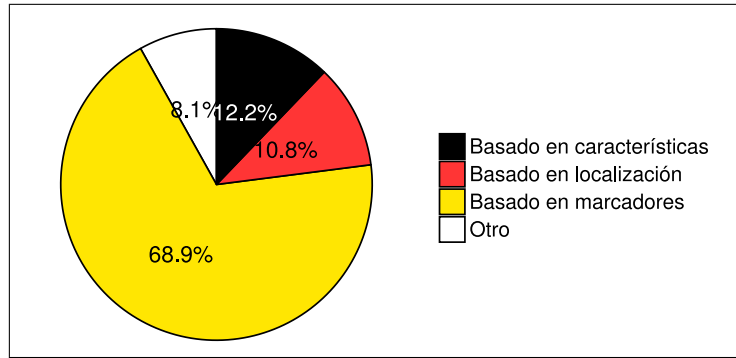


Figura 2.3: Distribución por métodos de seguimiento de RA

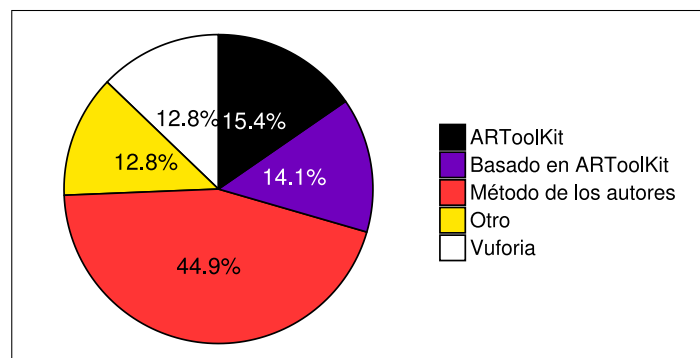


Figura 2.4: Distribución por frameworks o métodos de programación de RA

2.3. Interfaz de usuario del FDCA

Es habitual que las interfaces de usuario del FDCA sean 2D y 3D no inmersivas (ver figura 2.5). A pesar de que no hay ningún artículo durante la primera etapa respecto a las interfaces 3D inmersivas, existe un creciente interés en esta área. Para lograr tal nivel de inmersión se utilizan los HMD.

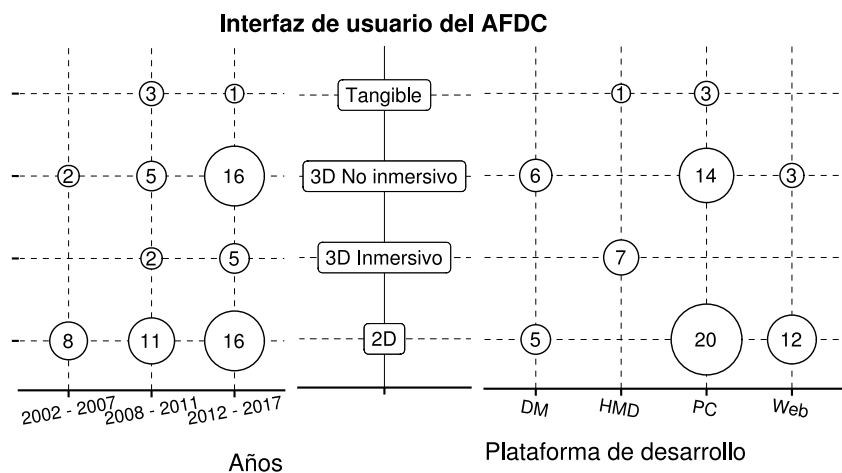


Figura 2.5: Mapeo que muestra el número de artículos de acuerdo al tipo de interfaz de usuario del FDCA durante 3 etapas y por plataforma de desarrollo

2.4. Clasificación por modelos generales

Con los resultados mostrados en la figura 2.6 se puede confirmar las conclusiones obtenidas por [7], el modelo 2: Stand-Alone + PI es el más usado. No se ha encontrado ningún FDCA que encaje con las características del modelo 1.

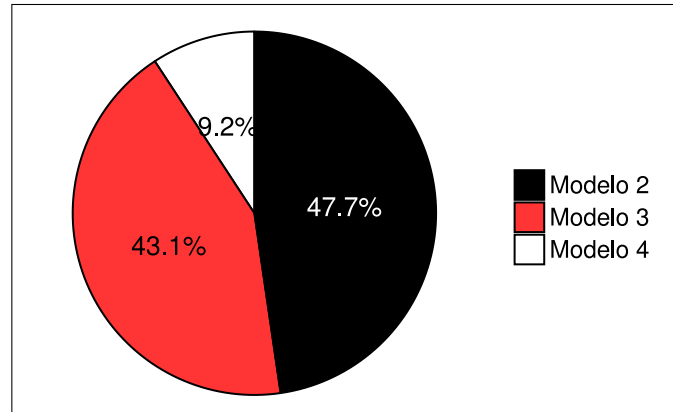


Figura 2.6: Distribución por los modelos generales propuestos por [7]

2.5. Campo de aplicación

El 59% de FDCA están orientados a un campo de aplicación en específico, siendo los campos de educación y mantenimiento los más comunes. También es posible emplear los FDCA en la creación de juegos, construcciones urbanas [12], aplicaciones militares [13, 14] o patrimonio cultural [15].

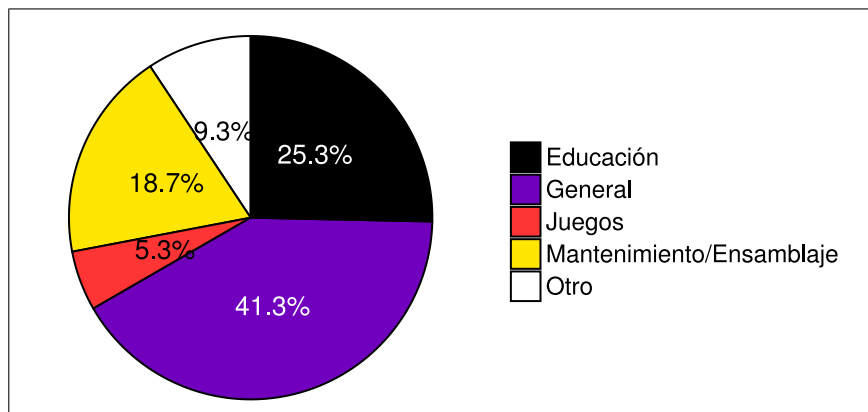


Figura 2.7: Distribución por campos de aplicación

Capítulo 3

Conceptos fundamentales

Para comprender el framework propuesto es necesario entender los conceptos teóricos de: Realidad aumentada, herramientas de creación de aplicaciones de RA y clasificación de usuarios.

3.1. Realidad Aumentada

[16] define la RA como una tecnología que cumple con 3 características:

1. Combina contenido virtual y real
2. Es interactivo en tiempo real
3. Está registrada en un ambiente 3D

La RA también puede definirse concretamente de acuerdo a dos taxonomías propuestas:

1. La continuidad realidad - virtualidad propuesta por [17] define la RA como una combinación de más contenido real y menos contenido virtual como muestra la Figura 3.1.
2. [18] Broll et al. propone un marco de referencia de 3 dimensiones como se ve en la Figura 3.2: inmersión, ubicuidad y multiplicidad, en este contexto, la RA puede ser localizado como el punto medio en cada dimensión

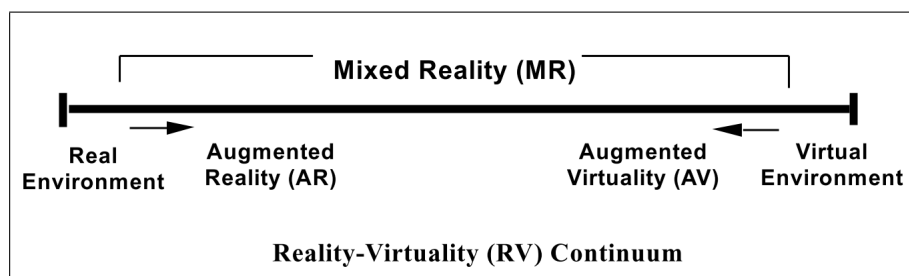


Figura 3.1: Continuidad Realidad - Virtualidad

Fuente: [17]

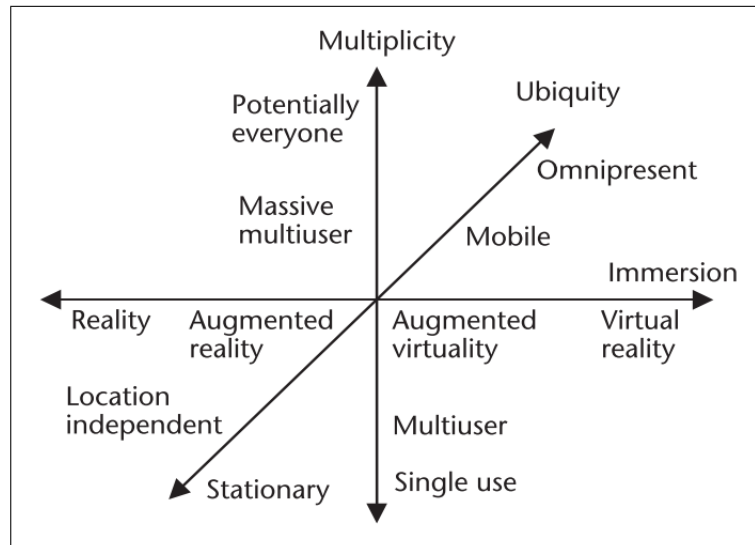


Figura 3.2: Framework tridimensional para entornos de realidad mixta
Fuente: [18]

3.2. Herramientas de creación de aplicaciones de RA

Las herramientas de creación de aplicaciones de RA (*Augmented Reality Authoring Tools*) facilitan el desarrollo de sistemas de RA y han ayudado a expandir el uso masivo de esta tecnología. De acuerdo a su nivel de abstracción pueden clasificarse en frameworks de programación y frameworks de diseño de contenidos de RA [4]. Cada uno de ellos, dependiendo de la facilidad de uso de la interfaz, puede ser de alto nivel o bajo nivel como muestra la Figura 3.3.

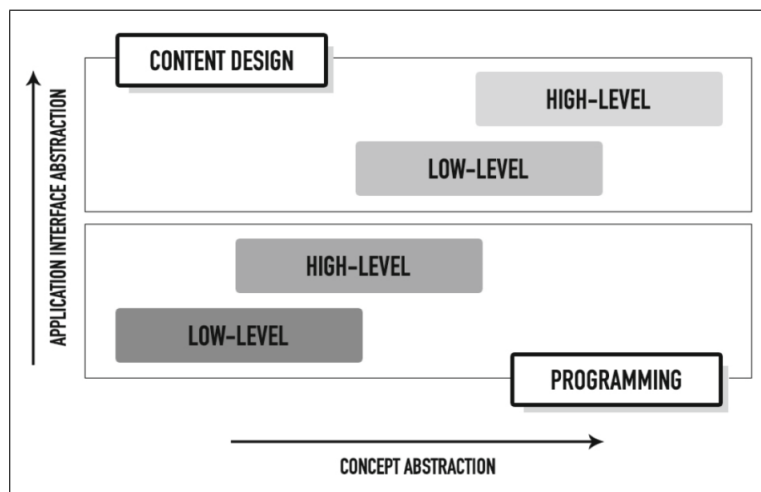


Figura 3.3: Esquema de clasificación de las herramientas de creación de RA
Fuente: [7]

3.2.1. Frameworks de programación de RA

Estas herramientas están diseñadas para programadores y comúnmente se usan a través de bibliotecas de código o una Interfaz de programación de aplicaciones (API). Como ejemplo de este tipo de frameworks tenemos:

1. **ARToolKit:** Es capaz de realizar seguimiento de marcadores fiduciales y naturales en tiempo real, actualmente es un proyecto de código abierto y renombrado como ARToolKitX.
2. **Vuforia:** Es un SDK para dispositivos móviles, además de rastrear marcadores ya sean naturales o fiduciales, puede hacer seguimiento de objetos 3D.
3. **Wikitude:** Es un SDK más avanzado y puede realizar seguimiento a través de marcadores, objetos 3D y por localización.

3.2.2. Frameworks de diseño de contenidos de RA

Poseen una interfaz de usuario amigable y está enfocada en personas con poco o nulo conocimiento de programación. En este lado encontramos ejemplos de herramientas comerciales como:

1. Wikitude Studio Editor (<http://studio.wikitude.com/>)
2. Layar Creator (<https://www.layar.com/creator/>)
3. CraftAR (<https://my.craftar.net/>)
4. Aurasma Studio (<https://studio.aurasma.com/landing>)
5. BlippBuilder (<https://web.blippar.com/blipp-builder>)
6. Augment Manager (<https://manager.augment.com>)

3.3. Usuarios involucrados con el FDCA

Se ha definido a los usuarios involucrados con el FDCA como se muestra en la figura 3.4:

- Desarrollador del FDCA: El programador del FDCA que comúnmente utiliza frameworks de programación de RA.
- Usuario del FDCA / Creador de aplicación de RA: El usuario no-programador que utiliza el FDCA para aumentar contenido personalizado.
- Usuario de aplicación de RA: El usuario objetivo del creador de aplicación de RA.

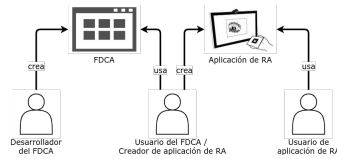


Figura 3.4: Usuarios involucrados con el FDCA

3.4. Categorías de usuarios

La Figura 3.5 muestra que el perfil de experiencia un usuario depende de 3 aspectos [19]:

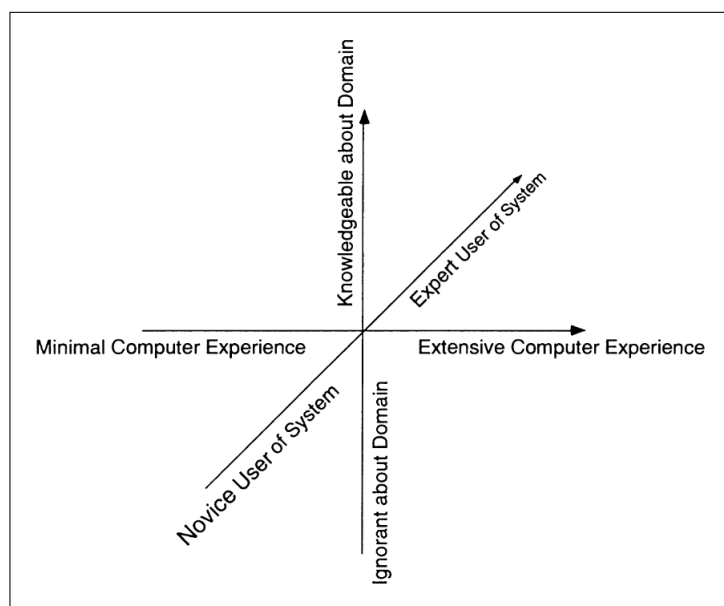


Figura 3.5: Dimensiones de la experiencia del usuario

Fuente: [19]

1. **Experiencia con sistemas similares:** Se considera si el usuario es novato o experto en el manejo de sistemas con funciones similares.
2. **Nivel de conocimiento de computación:** Implica el tiempo de experiencia en la manipulación de computadores en general.
3. **Experiencia en el dominio:** Depende del dominio del usuario en el campo de aplicación real del sistema.

3.5. ISO 9241-11 Estándar de usabilidad

El ISO 9241-11 [20] evalúa 3 áreas:

- Efectividad: El usuario logra el objetivo con precisión y completitud.

- Eficiencia: Esfuerzo y uso de recursos que le toma al usuario para lograr el objetivo.
- Satisfacción: Experiencia positiva del usuario.

Capítulo 4

Propuesta de Framework¹

Este capítulo indica las consideraciones iniciales a tener en cuenta antes de desarrollar el framework, la arquitectura detallada del framework y finalmente la implementación.

4.1. Consideraciones iniciales

4.1.1. Características del FDCA propuesto

De acuerdo a las posibles características del FDCA mostradas en el anterior capítulo, a continuación se justifica las características básicas elegidas

1. **Framework de programación:** El FDCA tiene la posibilidad de abstraer cualquier framework de programación a través de una interfaz estándar. En este trabajo se implementa sobre Vuforia, pero es extensible a cualquier otro framework.
2. **Método de seguimiento de RA:** Esto depende exclusivamente de las características de los frameworks de programación elegidos, en la implementación del framework se soporta marcadores naturales (Vuforia).
3. **Plataforma de desarrollo y de proyección de interfaz:** Considerando el contexto actual de acuerdo a lo descrito en la Sección 2.1 se propone un FDCA cuya plataforma de desarrollo sea la web y la plataforma de proyección de interfaz sea un dispositivo móvil.
4. **Interfaz de usuario:** El FDCA posee una interfaz de usuario 2D y 3D no-inmersiva de acuerdo a las plataformas escogidas.
5. **Modelo de flujo de datos general:** El FDCA se clasifica dentro del Modelo 2: Stand-Alone + PI.
6. **Campo de aplicación:** El uso del FDCA está orientado a personal con conocimientos básicos de programación, pudiendo abarcar cualquier área, por lo que el campo de aplicación es genérico.

¹El presente capítulo está basado en mi trabajo publicado en [21]

4.1.2. Usuario objetivo

Considerando las dimensiones de la experiencia del usuario propuesto por [19], se define el usuario objetivo con el siguiente rango de habilidades:

1. **Experiencia con sistemas similares:** Usuario principiante en el uso del framework.
 - a) Nunca ha utilizado un framework similar
 - b) Nunca ha utilizado el framework que se está desarrollando y se evaluará
2. **Nivel de conocimiento de computación:** Experiencia mínima del usuario con computadoras.
 - a) Conocimientos básicos de informática
 - b) Conocimientos básicos de programación
3. **Experiencia en el dominio:** Conocimiento básico sobre el dominio
 - a) Desconoce el concepto de REALIDAD AUMENTADA
 - b) Conoce el significado de MARCADOR NATURAL dentro del área de PROCESAMIENTO DE IMÁGENES, así como conceptos básicos de REALIDAD AUMENTADA, creación y manipulación de OBJETOS 3D.

4.1.3. Selección de funcionalidades

Se ha recolectado las características (acciones y eventos) de 6 herramientas comerciales como se ve en la Tabla 4.1 para poder obtener las funcionalidades más comunes y adecuarlas en el framework propuesto.

Acciones	Eventos	WS	LC	CA	AS	BB	AM
Aumentar un recurso encima de un marcador A	Marcador A está en foco	✓	✓	✓	✓	✓	-
	Recurso es presionado	-	-	-	✓	✓	-
	Recurso es presionado dos veces	-	-	-	✓	-	-
	Recurso está aumentado	-	-	-	✓	-	-
	Recurso está des-aumentado	-	-	-	✓	-	-
	Recurso termina de aparecer gradualmente	-	-	-	✓	-	-
	Pasaron X segundos	-	-	-	✓	-	-
	Superficie plana es detectada	-	-	-	-	-	✓

Des-aumentar un recurso	Marcador A no está en foco	✓	✓	✓	✓	✓	-
	Recurso es presionado	-	-	-	✓	✓	-
	Recurso es presionado dos veces	-	-	-	✓	-	-
	Recurso está aumentado	-	-	-	✓	-	-
	Recurso está des-aumentado	-	-	-	✓	-	-
	Recurso termina de aparecer gradualmente	-	-	-	✓	-	-
	Pasaron X segundos	-	-	-	✓	-	-
	Superficie plana no es detectada	-	-	-	-	-	✓
Mostrar un recurso en pantalla	Recurso es presionado	-	-	-	✓	-	-
	Recurso es presionado dos veces	-	-	-	✓	-	-
	Recurso está aumentado	-	-	-	✓	-	-
	Recurso está des-aumentado	-	-	-	✓	-	-
	Recurso termina de aparecer gradualmente	-	-	-	✓	-	-
	Pasaron X segundos	-	-	-	✓	-	-
Ocultar un recurso en pantalla	Recurso es presionado	-	-	-	✓	-	-
	Recurso es presionado dos veces	-	-	-	✓	-	-
	Recurso está aumentado	-	-	-	✓	-	-
	Recurso está des-aumentado	-	-	-	✓	-	-
	Recurso termina de aparecer gradualmente	-	-	-	✓	-	-
Pasaron X segundos	-	-	-	✓	-	-	
Rotar el objeto 3D	Arrastrar 2 dedos	-	-	-	-	-	✓
Trasladar el objeto 3D	Mover 1 dedo	-	-	-	-	-	✓

Abrir una URL o aplicación externa	Marcador A está en foco	-	-	✓	-	-	✓
	Recurso es presionado	✓	✓	✓	✓	✓	-
	Recurso es presionado dos veces	-	-	-	✓	-	-
	Recurso está aumentado	-	-	-	✓	-	-
	Recurso está des-aumentado	-	-	-	✓	-	-
	Recurso termina de aparecer gradualmente	-	-	-	✓	-	-
	Pasaron X segundos	-	-	-	✓	-	-
Mostrar un recurso en pantalla completa con cámara activa	Recurso es presionado	-	-	-	✓	-	-
	Recurso es presionado dos veces	-	-	-	✓	-	-
	Recurso está aumentado	-	-	-	✓	-	-
	Recurso está des-aumentado	-	-	-	✓	-	-
	Recurso termina de aparecer gradualmente	-	-	-	✓	-	-
	Pasaron X segundos	-	-	-	✓	-	-
Cambiar de escenario	Recurso es presionado	-	-	-	-	-	✓

Cuadro 4.1: Comparativa de interfaces de usuario entre herramientas de diseño comerciales

Se decidió implementar las siguientes funcionalidades:

- Aumentar un recurso encima de un marcador cuando el marcador es detectado
- Des-aumentar un recurso cuando el marcador no es detectado
- Rotar el recurso cuando este sea presionado
- Trasladar el recurso cuando este sea presionado

4.2. Arquitectura del framework

El FDCA propuesto, el cual se denominó **SimpleAR**, plantea los siguientes nuevos conceptos para la creación de aplicaciones de RA:

1. **Recurso:** Es una representación de cada ítem que puede ser utilizado en la aplicación de RA y sirve para crear los componentes. Ejemplos de recursos son: Marcadores naturales, marcadores fiduciales, objetos 3D, imágenes, videos, audios, etc.

2. **Componente:** Representa a entidades que utilizan los métodos de seguimiento de RA y tiene como datos de entrada a los recursos. Ejemplo de componentes son: Aumentar un recurso sobre un marcador, Aumentar un recurso sobre una superficie, etc.
3. **Configuración:** Personaliza cada componente con eventos y acciones encapsulados para ese componente.

A continuación se procede a describir 3 niveles de la arquitectura de acuerdo al modelo de visualización C4 [22].

4.2.1. Nivel 1: Contexto del sistema

El usuario no experto en RA utiliza el sistema SimpleAR, que a su vez obtiene y guarda información en la base de datos en tiempo real de Firebase, así como explora y extrae modelos 3D de la biblioteca Google Poly como se ve en la Figura 4.1. Firebase Realtime Database nos permite obtener notificaciones por cada actualización que el usuario haga al editar su proyecto de RA, el usuario también puede obtener modelos 3D externos a través de la biblioteca Google Poly o subir el suyo propio a la misma biblioteca para luego usarlo en la aplicación.

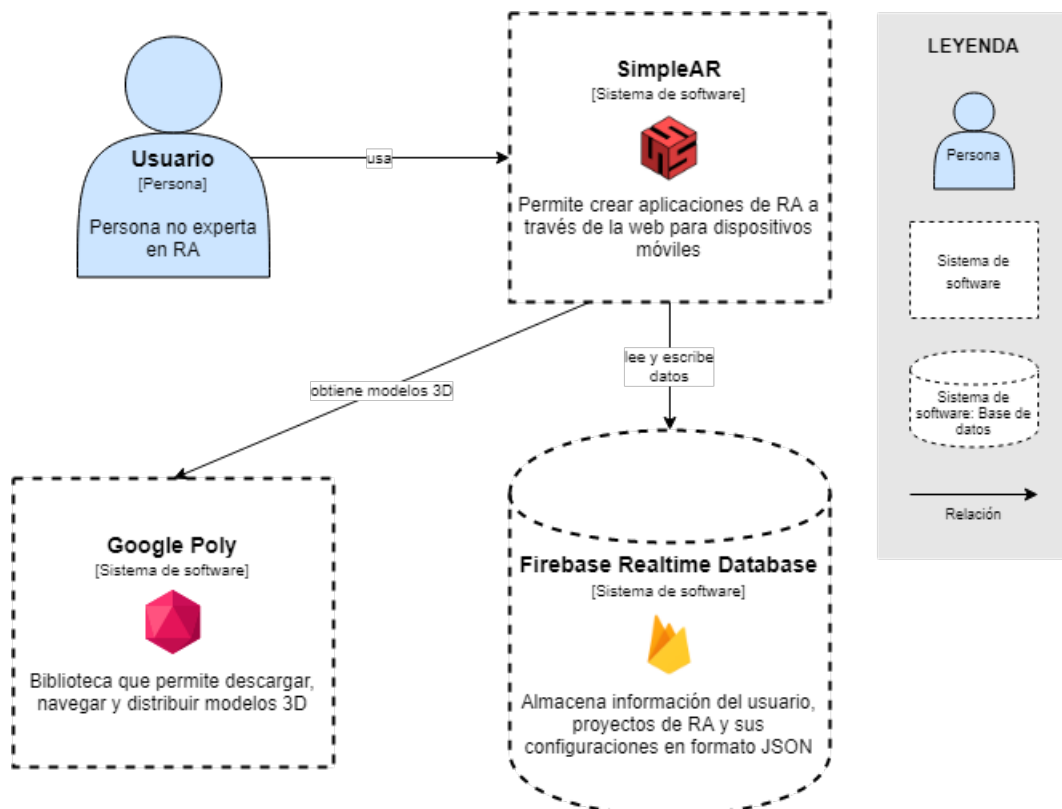


Figura 4.1: Diagrama de contexto del sistema

4.2.2. Nivel 2: Contenedores del sistema

SimpleAR está compuesto por dos sub-aplicaciones (o contenedores): SimpleAR Editor para editar las aplicaciones a través de un navegador web y SimpleAR Viewer para visualizar la aplicación creada en un dispositivo móvil Android. Ambos contenedores se comunican a través de la base de datos en tiempo real de Firebase, mientras que el editor escribe datos, el visualizador se encarga de leer la información del proyecto. Ambos extraen información de modelos 3D desde Google Poly, el editor solo captura una imagen de la vista previa del modelo 3D y el visualizador descarga el modelo 3D propiamente.

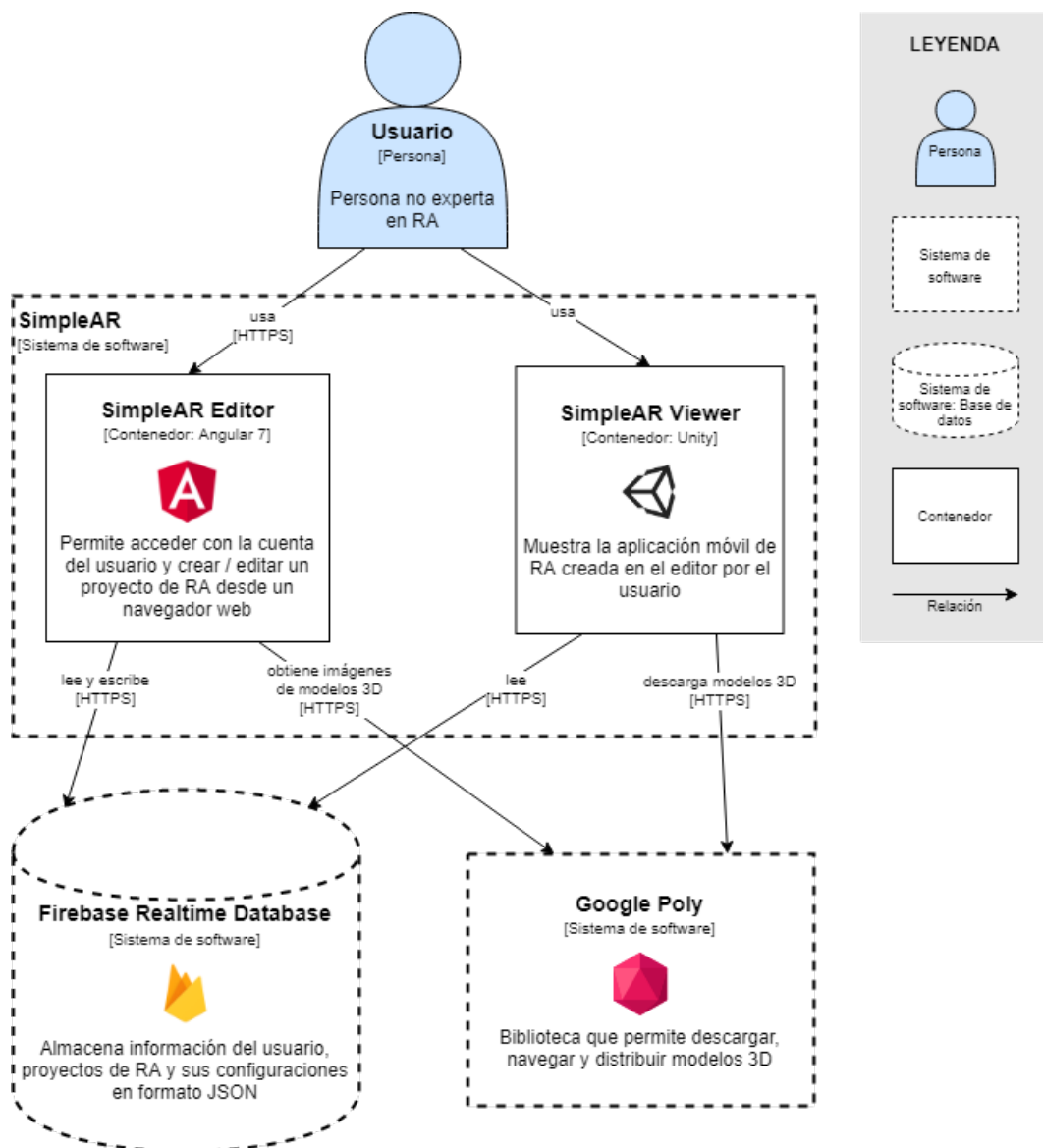


Figura 4.2: Diagrama de contenedores del sistema

4.2.3. Nivel 3: Componentes del sistema

A continuación se describe a nivel detallado los componentes de cada contenedor del sistema SimpleAR.

Componentes del contenedor SimpleAR Editor

SimpleAR Editor es una aplicación web hecha con Angular 7 y Google Blockly (editor de programación visual con bloques), de acuerdo al framework propuesto este editor es extensible a usar otros frameworks de programación además de Vuforia.

Como se observa en la Figura 4.3, el Editor se encarga de cargar los recursos o componentes requeridos de acuerdo al framework seleccionado, por ejemplo, si se implementara un framework como ARCore, no es necesario el recurso marcador, puesto que ARCore crea aplicaciones de RA utilizando superficies.

Por el momento se implementó los recursos “Marcador” y “Modelos 3D”, y el componente “Aumentar marcador”, y se configuró que el framework de programación Vuforia esté habilitado para usar los recursos y componentes mencionados.s (o contenedores)

En la parte final del diagrama de componentes, hay servicios que se comunican con las APIs de Firebase y Google Poly.

Componentes del contenedor SimpleAR Viewer

SimpleAR Viewer es una aplicación móvil para Android hecha con Unity y Vuforia, utiliza los SDK de Firebase y Google Poly para hacer las llamadas a sus APIs respectivas y la biblioteca ZXing para leer código QR.

Como se ve en la Figura 4.4, existe una interface general FrameworkController que define todos los eventos, acciones, recursos y componentes posibles, y también se encarga de pre-cargar los modelos 3D y marcadores. VuforiaController implementa esta interface completando solo aquellas funciones que soporta el framework como el componente “Aumentar marcador”. Este contenedor es extensible, y se puede crear otro controlador para otro framework de programación que soporte solo aquellas funcionalidades que le corresponden.

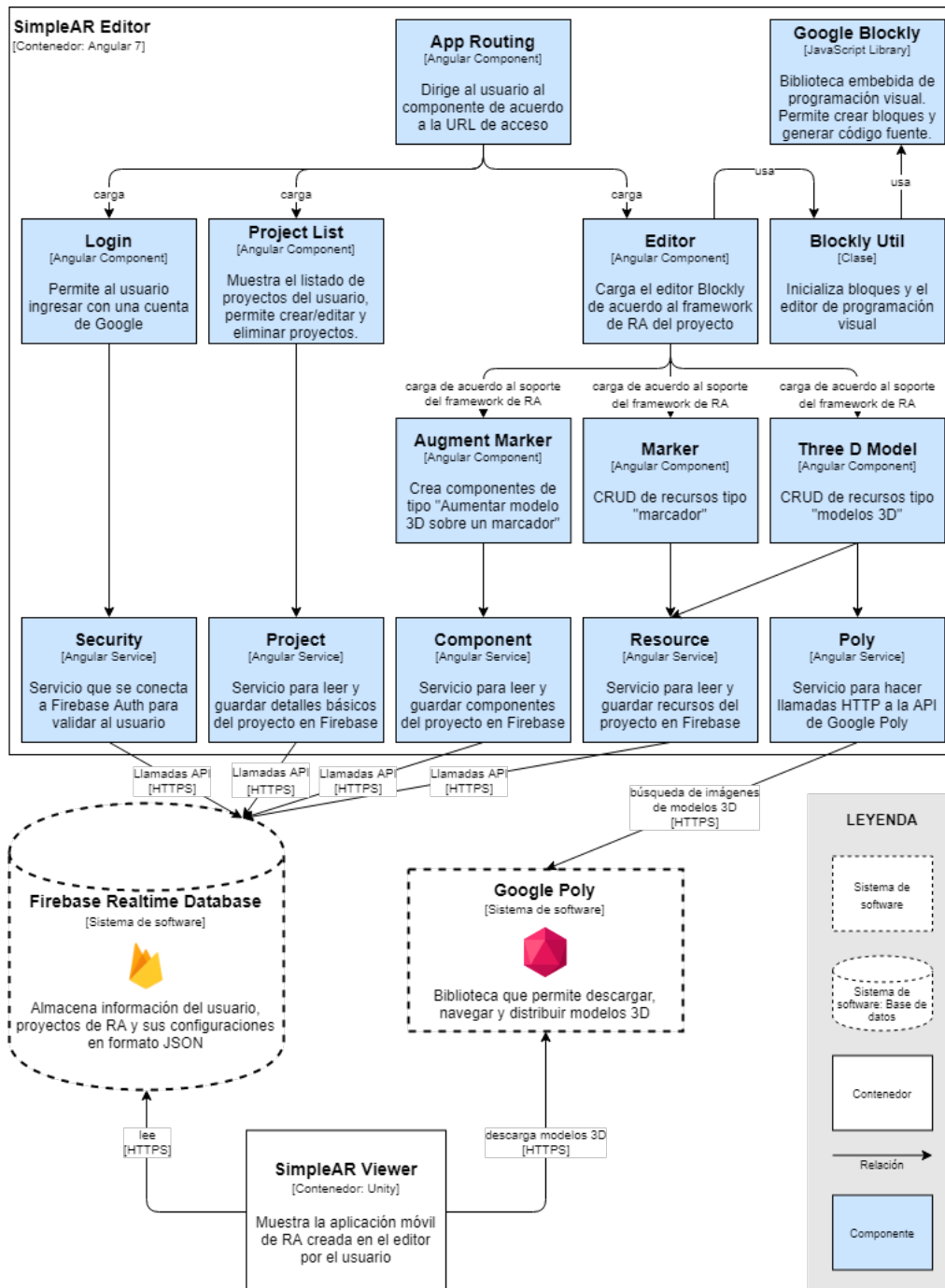


Figura 4.3: Diagrama de componentes del sistema enfocado en el contenedor SimpleAR Editor

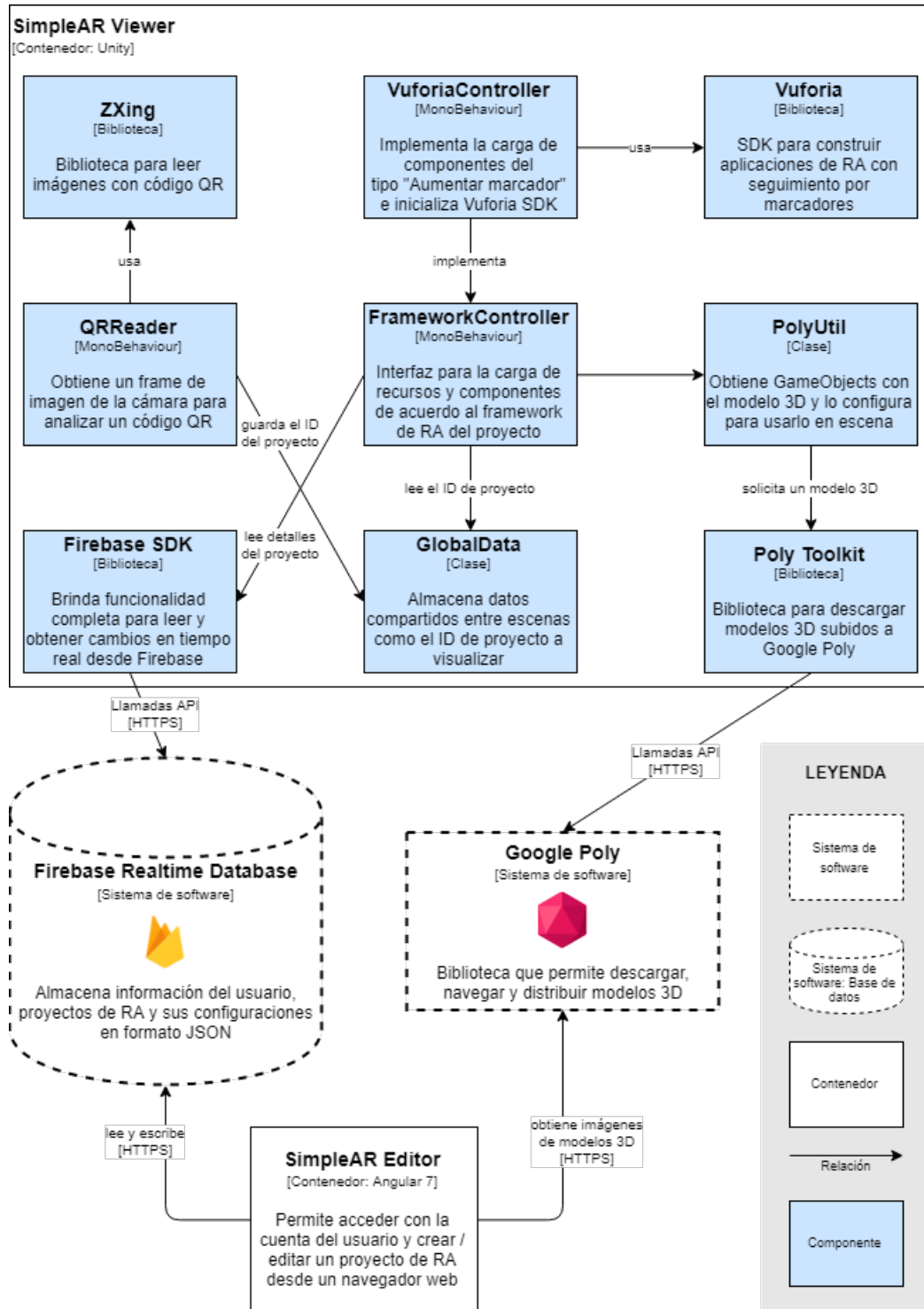


Figura 4.4: Diagrama de componentes del sistema enfocado en el contenedor SimpleAR Viewer

4.3. Implementación

El código fuente de todo el framework descrito en este trabajo está disponible libremente en 2 repositorios de GitHub [23, 24].

4.3.1. SimpleAR Editor

Inicio de sesión

El usuario inicia sesión con una cuenta de Google que le permite almacenar sus proyectos de RA (ver la Figura 4.5). También se tiene la opción de cambiar de idioma (Inglés, Español).

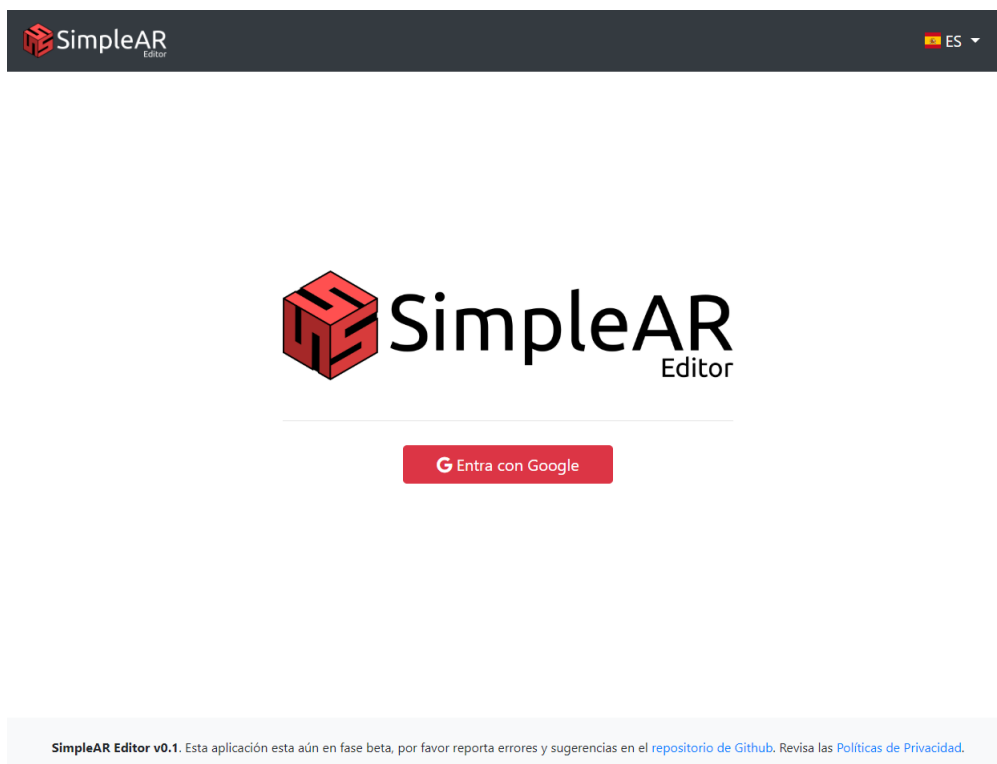


Figura 4.5: Interfaz de inicio de sesión

Gestor de proyectos de RA

Al ingresar a la aplicación web, se le muestra sus proyectos creados como en la Figura 4.6 y se le da la opción de crear un proyecto nuevo completando el formulario de la Figura 4.7 ingresando los datos como título del proyecto y una descripción.

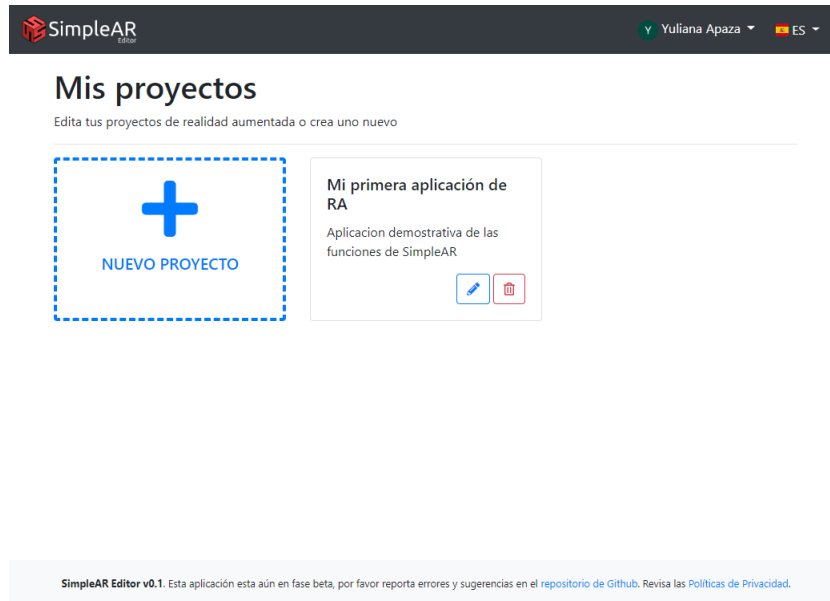


Figura 4.6: Interfaz para mostrar proyectos del usuario



Figura 4.7: Interfaz para crear nuevo proyecto

Editor de proyecto de RA

Al crear un proyecto nuevo, se muestra la interfaz de la Figura 4.8, que consiste en tres columnas:

- Una columna para crear recursos como marcadores y modelos 3D
- La segunda columna para enlazar estos recursos en componentes
- La tercera columna para configurar y personalizar un componente seleccionado utilizando el editor de programación visual Blockly.

Cualquier cambio se guarda automáticamente sin necesidad de presionar ningún botón de guardado.

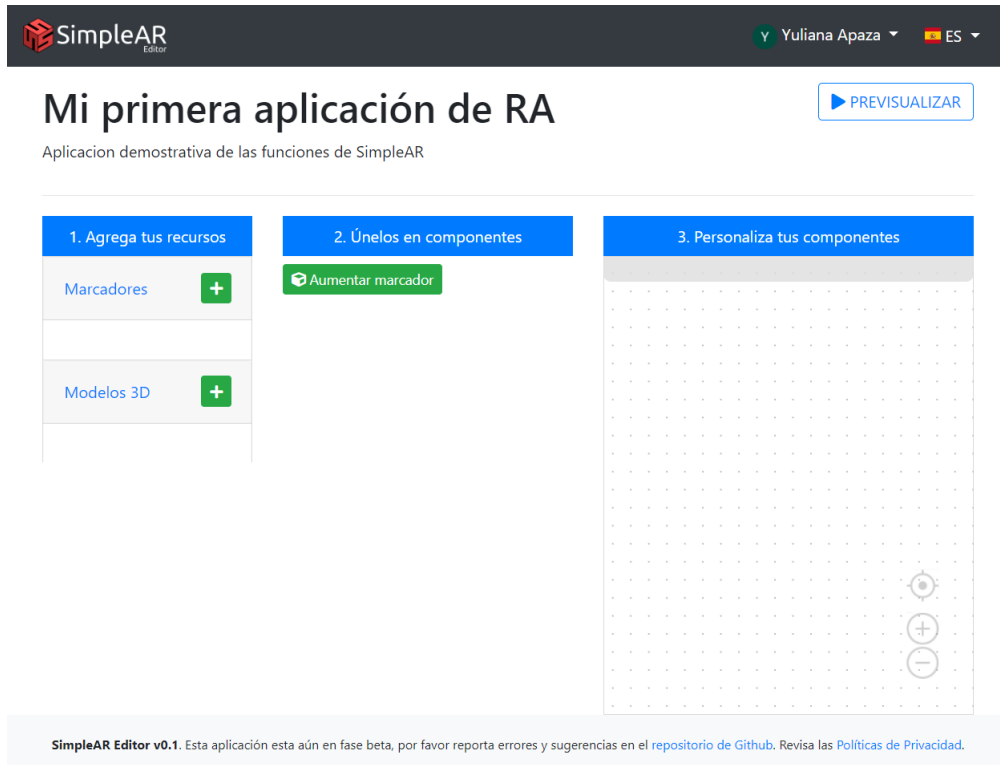


Figura 4.8: Interfaz general del editor

La Figura 4.9 muestra el formulario para crear un marcador, se escoge entre una lista de marcadores predeterminados y se le da un nombre al recurso creado.

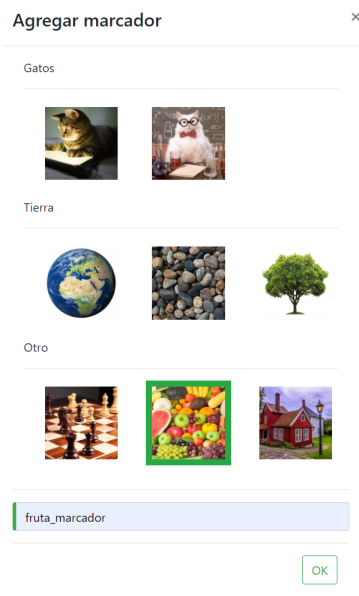


Figura 4.9: Interfaz para crear marcador

La Figura 4.10 muestra el formulario para crear un modelo 3D desde la biblioteca de Google Poly, se realiza una búsqueda de modelos 3D para luego elegir entre los modelos encontrados y asignarle un nombre.

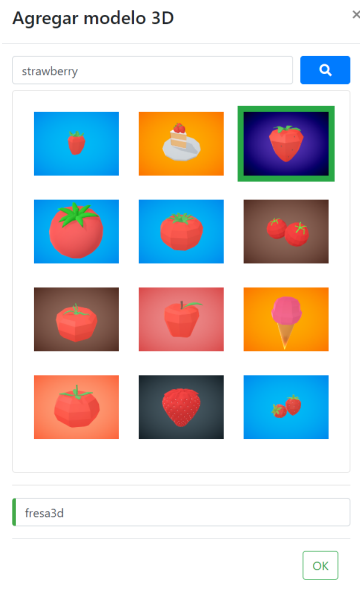


Figura 4.10: Interfaz para buscar y agregar un modelo 3D

Después, es posible enlazar marcadores y modelos 3D como se muestra en la Figura 4.11 creando un componente “Aumentar marcador” que pide los mismos datos de entrada.

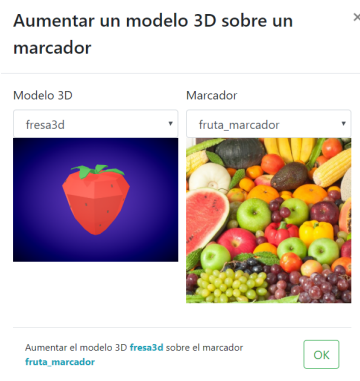


Figura 4.11: Interfaz para crear un componente

Al seleccionar un componente de la segunda columna, se habilita el editor de configuración como se ve en la Figura 4.12. Se cuenta con los eventos: “Al tocar el modelo 3D” y las acciones “Rotar” y “Mover”. Estas acciones se agrupan dentro de un evento, y se ejecutan de forma secuencial.

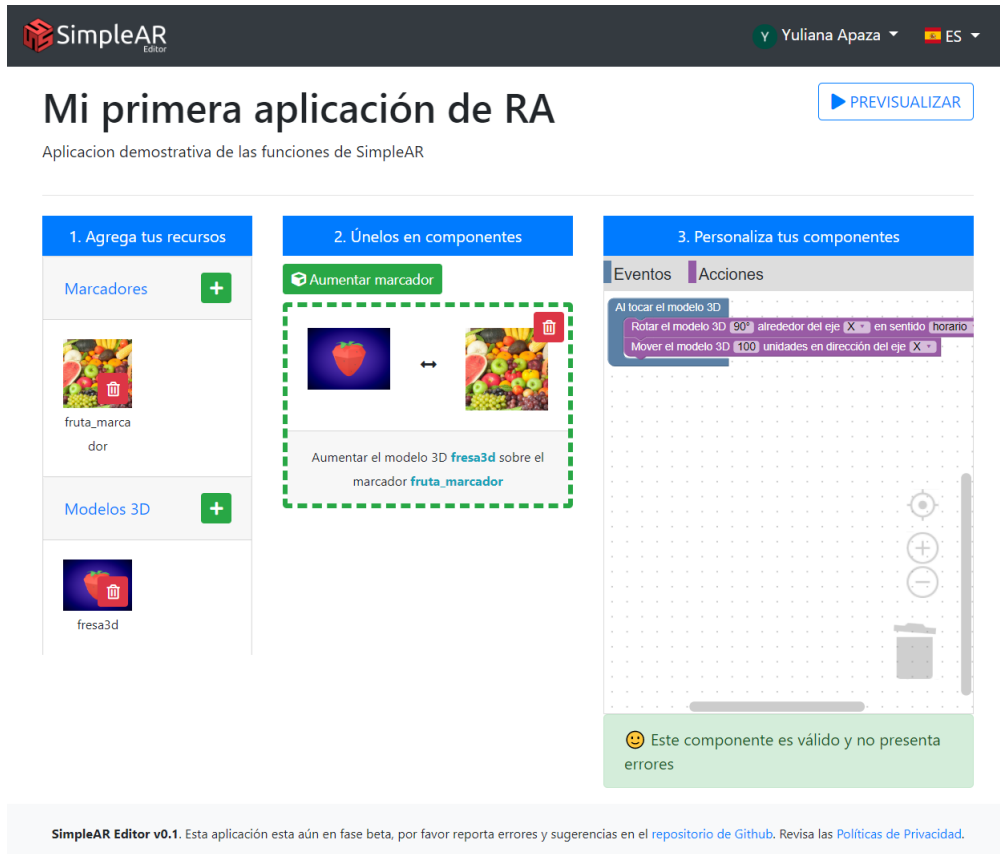


Figura 4.12: Interfaz para editar la configuración de un componente

Finalmente, el usuario accede a la interfaz de la Figura 4.13 para obtener un código QR que debe ser escaneado por la aplicación SimpleAR Viewer para previsualizar el proyecto desarrollado.



Figura 4.13: Interfaz para previsualizar un proyecto mediante código QR

4.3.2. SimpleAR Viewer

El usuario escanea el código QR como se muestra en la Figura 4.14 y espera a que se cargue el proyecto que se seleccionó.

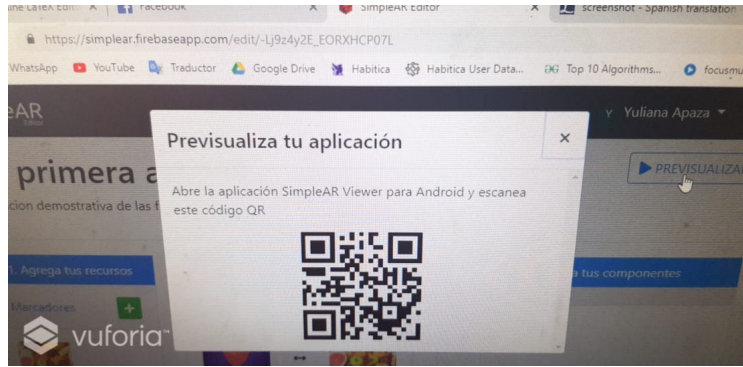
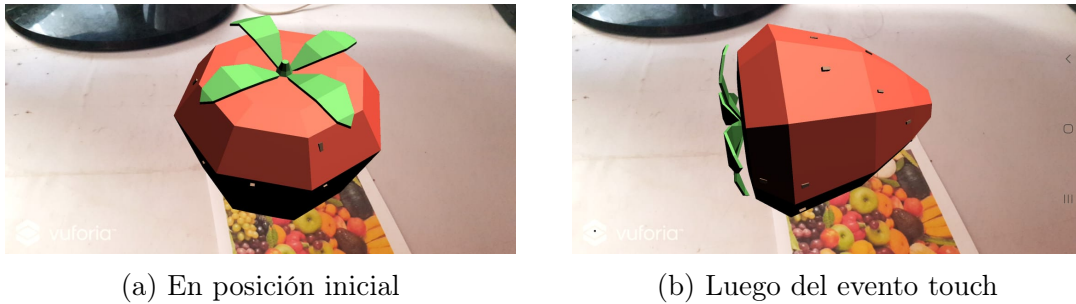


Figura 4.14: Interfaz para escanear código QR

Finalmente, la interfaz de la Figura 4.15 muestra el proyecto de RA cargado exitosamente con el modelo 3D aumentado sobre el marcador y con las configuraciones personalizadas.



(a) En posición inicial

(b) Luego del evento touch

Figura 4.15: Interfaz para visualizar la aplicación de RA donde se muestra un modelo 3D aumentado sobre un marcador

Capítulo 5

Pruebas y Resultados¹

En este capítulo se muestran las pruebas realizadas para comprobar la funcionalidad de la aplicación en los usuarios finales. Se mide la usabilidad del sistema de acuerdo al estándar ISO 9241-11 [20].

5.1. Diseño de metodología de la prueba de usabilidad

Cada sesión de evaluación de usabilidad consiste en tres fases:

5.1.1. Fase de entrenamiento

Esta fase se realiza en modo grupal a los usuarios de prueba, se les explica conceptos básicos de realidad aumentada, marcadores y objetos 3D. Se les enseña a crear una aplicación simple de RA utilizando la herramienta propuesta SimpleAR.

A continuación, el usuario está listo para iniciar la prueba, previamente llena el cuestionario de evaluación de perfil de usuario para saber si corresponde con el usuario objetivo definido en la Subsección 4.1.2, caso contrario no continuará con la prueba.

De acuerdo al cuestionario de la Tabla 5.1, el usuario objetivo es aquel que no ha utilizado antes esta aplicación propuesta para crear aplicaciones de RA y ha respondido “Sí” en más de la mitad de preguntas de la sección Nivel de conocimiento de computación. Por otro lado, no es necesario que el usuario tenga conocimiento de conceptos básicos de RA, sin embargo, este dato sirve para medir la facilidad de aprendizaje del usuario de estos conceptos durante la prueba.

5.1.2. Fase de aplicación

Esta fase se realiza a nivel individual, se le guía al usuario hasta que haya iniciado sesión en la aplicación SimpleAR. El usuario debe realizar las siguientes 3 tareas:

1. Tarea 1 (Aumentar objetos 3D): Crear un proyecto donde

¹El presente capítulo está basado en mi trabajo publicado en [21]

Experiencia con sistemas similares	
¿Has utilizando antes un programa para crear aplicaciones de realidad aumentada? ¿Cuál?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Nivel de conocimiento de computación	
Tengo acceso frecuente a una computadora y al Internet	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Tengo un correo electrónico	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Puedo descargar documentos imágenes u otros archivos de Internet	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Puedo participar en chats en línea	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Sé apagar, encender y reiniciar la computadora	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Puedo utilizar cómodamente el mouse	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Puedo crear carpetas y organizar archivos en la computadora	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Puedo encontrar archivos perdidos en mi disco duro	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Puedo guardar archivos en la computadora	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Puedo crear un nuevo documento en un procesador de texto (Word, LibreOffice Writer, etc)	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Puedo acceder a una dirección web o una URL	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Sé usar el boton Actualizar del navegador	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Puedo crear marcadores o agregar a favoritos páginas web en el navegador	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Puedo hacer búsquedas en la web con un motor de búsquedas (Google, DuckDuckGo, etc)	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Puedo descargar e instalar software de Internet	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Puedo enviar y recibir mensajes de correos electrónicos	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Puedo adjuntar un archivo a un mensaje de correo electrónico que voy a enviar	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
Experiencia en el dominio	
¿Conoces qué es realidad aumentada?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
¿Sabes qué es un marcador?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
¿Sabes qué es un modelo 3D?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No

Cuadro 5.1: Evaluación de perfil del usuario

- Se aumente un modelo 3D de un gato sobre un marcador de su elección
2. Tarea 2 (Ejecución de eventos): Crear un proyecto donde
- Se aumente un modelo 3D de una fruta sobre un marcador de su elec-

ción de modo que al hacer touch sobre el modelo 3D el objeto haga una rotación de 90 sobre cualquier eje

- Se aumente un modelo 3D de un animal sobre un marcador cualquiera y al hacer touch haga una traslación de 200 unidades en cualquier dirección

3. Tarea 3 (Ejecución de eventos secuenciales): Crear un proyecto donde

- Se aumente un modelo 3D del planeta tierra y al tocar el modelo 3D haga una rotación de 30 sobre el eje X, seguido de una traslación de 50 unidades en dirección del eje X

El usuario tiene permitido hacer preguntas si se queda atascado durante la realización de una tarea, sin embargo, se debe anotar la cantidad de veces que esto sucede.

Todo esta fase es grabada en video desde la pantalla del usuario para monitorear sus acciones. Al finalizar debe completar el cuestionario de usabilidad que incluye: el cuestionario SEQ [25] para medir la dificultad percibida por el usuario al realizar cada tarea (ver Tabla 5.2) y el cuestionario SUS [26] para medir la satisfacción del usuario (ver Tabla 5.3).

	1	2	3	4	5	6	7	
Muy difícil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Muy fácil

Cuadro 5.2: Cuestionario SEQ

5.1.3. Fase de extracción de datos

Esta fase no involucra a los usuarios, se recolecta los cuestionarios y los vídeos de capturas de pantalla. Posteriormente, de acuerdo al ISO 9241-11 se evalúan 3 áreas:

- **Efectividad:** Se mide con el grado de completitud de cada tarea: (1) El usuario completó la tarea con facilidad sino requirió ayuda (2) El usuario completó la tarea con dificultades si requirió ayuda y (3) El usuario no pudo completar la tarea. También se mide la cantidad de errores cometidos por cada tarea.
- **Eficiencia:** Se mide el tiempo que le tomó al usuario completar cada una de las tareas propuestas.
- **Satisfacción:** Se mide a través del puntaje obtenido en el cuestionario SUS y la dificultad percibida de acuerdo al cuestionario SEQ.

5.2. Resultados

Los resultados que se obtuvieron por cada métrica de usabilidad propuesta en la anterior sección de acuerdo al ISO 9241-11 son los siguientes:

	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Me gustaría usar la aplicación frecuentemente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
La aplicación es innecesariamente compleja	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pienso que la aplicación es fácil de usar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Necesito ayuda para poder usar la aplicación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Varias funciones de la aplicación están bien integradas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Había mucha inconsistencia en la aplicación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
La mayoría de personas aprenderían a utilizar la aplicación rápidamente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
La aplicación es incómoda de utilizar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me siento muy confiado usando la aplicación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Necesito aprender más cosas antes de poder utilizar esta aplicación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5.2.1. Demografía

Se ha demostrado que un grupo de entre 5 a 8 usuarios puede identificar la mayoría de problemas de usabilidad (80 - 85 %), y además que mientras más sujetos de prueba se agreguen es menos probable que se encuentren nuevos problemas de usabilidad [27, 28].

Las pruebas se realizaron con 8 usuarios (5 mujeres y 3 hombre), alumnos de carreras no relacionadas a la tecnología de la Universidad Nacional de San Agustín de entre 17 a 25 años, todos cumplen con el perfil del usuario objetivo propuesto en Subsección 4.1.2:

- Ninguno de ellos había utilizado un FDCA ni comercial ni académico antes.
- Todos contaban con el conocimiento informático mínimo requerido de acuerdo a la sección “Nivel de conocimiento de computación” de la Tabla 5.1 con un promedio de 16 de 17 preguntas contestadas afirmativamente.
- Previo a la prueba solo 3 usuarios habían oído sobre el concepto de RA y ningún estudiante entendía el concepto de marcador en el contexto de RA. Posterior a la fase de entrenamiento estos conceptos quedaron claros. Por otro lado, el concepto de modelos 3D era entendido por todos los usuarios.

5.2.2. Efectividad

De acuerdo a la Figura 5.1, todos los estudiantes pudieron terminar todas las tareas, ya sea con o sin ayuda del evaluador. Sin embargo, la Tarea 2 fue más compleja de completar y en la que los usuarios cometían más errores como se ve en la Tabla 5.4.

Por las observaciones vistas durante el proceso de evaluación, la Tarea 2 incluía crear un proyecto con dos componentes y la mayoría de usuarios desconocía que un proyecto podía incluir más de un componente marcador - modelo 3D, además de que también desconocían como pasar del Gestor de componentes (columna 2) al Editor de Componentes (columna 3) de la interfaz general del editor de la Figura 4.8.

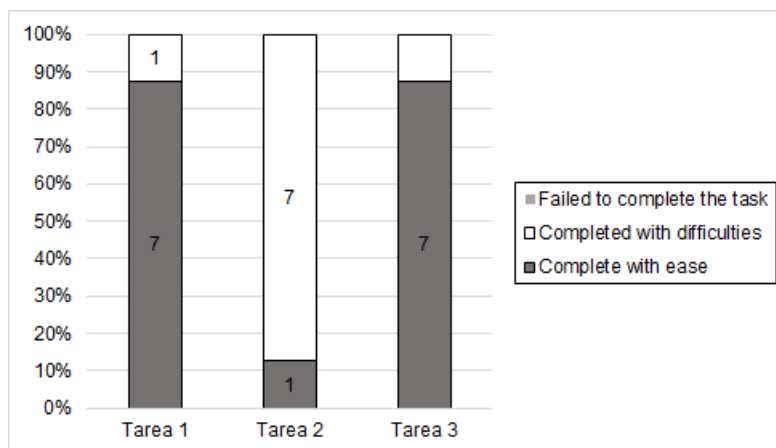


Figura 5.1: Grado de completitud por cada tarea

Errores	Mínimo	Promedio	Máximo
Tarea 1	0	0.63	2
Tarea 2	1	2.88	6
Tarea 3	0	1.13	2

Cuadro 5.4: Errores cometidos por el usuario por tarea

Una vez adecuados a este tipo de interacción, los usuarios podían completar con normalidad las tareas. Además teniendo en cuenta que para la mayoría de los usuarios de prueba este es su primer acercamiento a la RA, se puede decir que el FDCA propuesto permite que el usuario no-experto sea efectivo a la hora de implementar las tareas básicas de RA.

5.2.3. Eficiencia

La Figura 5.2 muestra el tiempo promedio que se toma cada usuario en terminar una tarea y su desviación estándar:

- La Tarea 1 incluye crear un componente sin configuración y toma un tiempo promedio de 70.13 segundos.
- La Tarea 2 implica crear dos componentes cada uno con su configuración y toma un tiempo promedio de 231.25 segundos.
- La Tarea 3 implica crear un componente con una configuración compleja y toma 110.38 segundos en ser completada.

En cualquiera de estos 3 casos, el FDCA propuesto permite crear aplicaciones de RA simples o complejas en menos de 5 minutos.

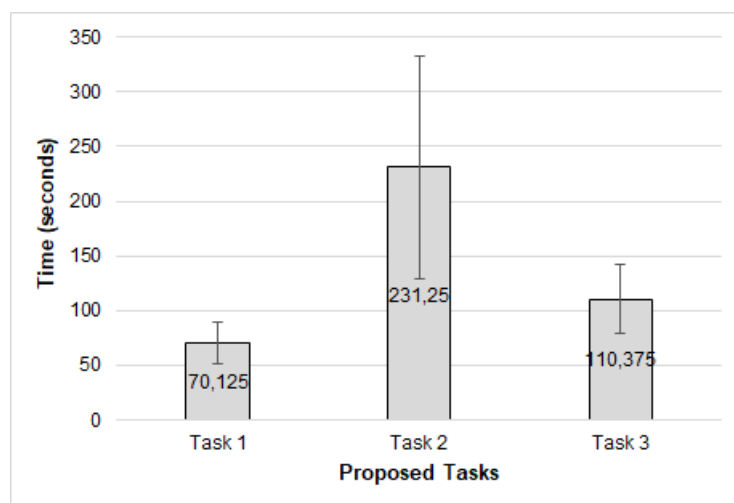


Figura 5.2: Tiempo de realización por tarea

5.2.4. Satisfacción del usuario

Ningún usuario calificó alguna tarea con un puntaje menor a 5 en el cuestionario SEQ. Los promedios obtenidos fueron de 6.63, 6 y 5.88 para la Tarea 1, Tarea 2 y Tarea 3 respectivamente. Esto indica que el usuario no percibe casi ninguna dificultad al utilizar el framework propuesto.

Respecto al cuestionario SUS aplicado, para tener una idea concreta de cuan aceptable es el framework, [29] provee rangos de aceptabilidad y calificativos de acuerdo al puntaje promedio obtenido en las evaluaciones de usabilidad.

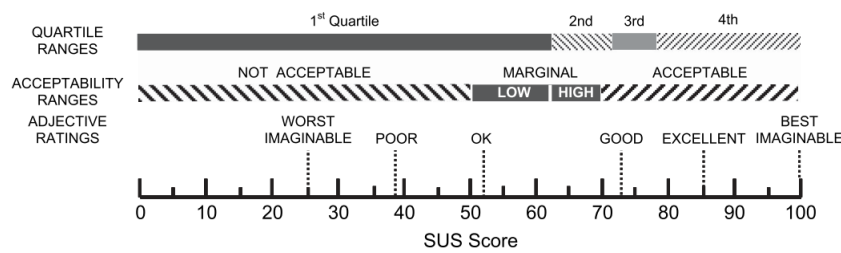


Figura 5.3: Rangos de aceptabilidad y calificativos para una comparación con SUS
Fuente: [29]

El puntaje promedio obtenido en el cuestionario SUS es de 73.44, ubicándose dentro de el rango de “Altamente aceptable”, y califica como “GOOD” como se ve en la Figura 5.3.

Capítulo 6

Conclusiones y Trabajos Futuros

Al finalizar esta investigación, se llegó a las siguientes conclusiones

- Seguir el protocolo del mapeo sistemático de la literatura permitió encontrar brechas de investigación en esta área.
- Se ha presentado un FDCA adaptable a cualquier framework de programación de RA, en particular se demostró su implementación con Vuforia.
- Se ha diseñado una metodología de evaluación de usabilidad basada en el estándar ISO 9241-11
- Se ha demostrado que el framework propuesto cumple con las características de usabilidad del ISO 9241-11: es efectivo, eficiente y satisface al usuario.
- El framework propuesto es fácil de utilizar por los usuarios finales con pocos o nulos conocimientos de programación.

Respecto a los trabajos futuros, se plantean los siguientes:

- Adaptar el framework propuesto a otros frameworks de programación como ARCore, ARToolKitX y Wikitude.
- Definir una metodología de evaluación que permita comparar con otros FDCA de distintos tipos de interfaces de usuario.
- Comparar el framework propuesto con otras alternativas comerciales.
- Realizar posteriores pruebas iterativas con pequeños grupos de usuarios (5 a 8 sujetos de prueba) para encontrar nuevos problemas de usabilidad y por tanto mejorar el framework.
- Implementar nuevos eventos y acciones para la configuración de componentes.

Bibliografía

- [1] M. Billingham, A. Clark, and G. Lee, “A Survey of Augmented Reality,” *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, vol. 8, no. 2-3, pp. 73–272, 2015.
- [2] N. León Lescano and S. Eyzaguirre Mamani, “Design and test in classrooms of an augmented reality application to the dissemination of knowledge of the Moche gods in Primary Education,” *Cátedra Villarreal*, vol. 1, no. 2, pp. 175–182, oct 2016.
- [3] H. Ramirez, E. Gonzalez Mendivil, P. Ramirez Flores, and M. Contero Gonzalez, “Authoring Software for Augmented Reality Applications for the Use of Maintenance and Training Process,” *Procedia Computer Science*, vol. 25, pp. 189–193, 2013.
- [4] A. Hampshire, H. Seichter, R. Grasset, and M. Billingham, “Augmented Reality Authoring: Generic Context from Programmer to Designer,” in *Proceedings of the 18th Australia Conference on Computer-Human Interaction: Design: Activities, Artefacts and Environments*, ser. OZCHI '06. New York, NY, USA: ACM, 2006, pp. 409–412.
- [5] M. Gandy and B. MacIntyre, “Designer’s Augmented Reality Toolkit, Ten Years Later: Implications for New Media Authoring Tools,” in *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, ser. UIST '14. New York, NY, USA: ACM, 2014, pp. 627–636.
- [6] Y. Apaza, R. Tumaila, W. Hanco, A. Paz-Valderrama, C. Corrales-Delgado, and M. Loaiza, “Systematic Mapping Study on High-Level Content Design Frameworks for Augmented Reality,” in *2018 20th Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*. Foz do Iguaçu, Brasil: IEEE, oct 2018, pp. 192–201.
- [7] R. A. Roberto, J. P. Lima, R. C. Mota, and V. Teichrieb, “Authoring tools for augmented reality: An analysis and classification of content design tools,” *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 9748, pp. 237–248, 2016.
- [8] B. MacIntyre, M. Gandy, S. Dow, and J. D. Bolter, “DART: A Toolkit for Rapid Design Exploration of Augmented Reality Experiences,” in *Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, ser. UIST '04. New York, NY, USA: ACM, 2004, pp. 197–206.

-
- [9] T. V. Do and J. W. Lee, “Creating 3D E-books with ARBookCreator,” in *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology - ACE '09*, ser. ACE '09. New York, New York, USA: ACM Press, 2009, p. 429.
- [10] J. Park and W. Woo, “Multi-layer based authoring tool for Digilog book,” *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 5709 LNCS, pp. 234–239, 2009.
- [11] T. Ha, W. Woo, Y. Lee, J. Lee, J. Ryu, H. Choi, and K. Lee, “ARtalet: Tangible User Interface Based Immersive Augmented Reality Authoring Tool for Digilog Book,” in *2010 International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality*, jul 2010, pp. 40–43.
- [12] K. Anagnostou and P. Vlamos, “Square AR: Using Augmented Reality for Urban Planning,” in *2011 Third International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications*, may 2011, pp. 128–131.
- [13] K. Jung, S. Lee, S. Jeong, and B.-U. Choi, “Virtual Tactical Map with Tangible Augmented Reality Interface,” in *2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering*, vol. 2, dec 2008, pp. 1170–1173.
- [14] R. Tache, H. A. Abeykoon, K. T. Karunanayaka, J. P. Kumarasinghe, G. Roth, O. N. Newton Fernando, and A. D. Cheok, “Command Center: Authoring tool to supervise augmented reality session,” in *2012 IEEE Virtual Reality Workshops (VRW)*, mar 2012, pp. 99–100.
- [15] N. Mavrogeorgi, S. Koutsoutos, A. Yannopoulos, T. Varvarigou, and G. Kambourakis, “Cultural Heritage Experience with Virtual Reality According to User Preferences,” in *2009 Second International Conference on Advances in Human-Oriented and Personalized Mechanisms, Technologies, and Services*, sep 2009, pp. 13–18.
- [16] R. T. Azuma, “A Survey of Augmented Reality,” *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, pp. 355–385, aug 1997.
- [17] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino, “Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum,” in *SPIE Telemanipulator and Telepresence Technologies*, vol. 2351, 1994, pp. 282–292.
- [18] W. Broll, I. Lindt, I. Herbst, J. Ohlenburg, A.-K. Braun, and R. Wetzels, “Toward Next-Gen Mobile AR Games,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 28, no. 4, pp. 40–48, jul 2008.
- [19] J. Nielsen, *Usability Engineering*. AP Professional, 1993.
- [20] I. O. for Standardization, *ISO 9241-11: Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDTs): Part 11: Guidance on Usability*. ISO, 1998.

-
- [21] Y. Apaza-Yllachura, A. Paz-Valderrama, and C. Corrales-Delgado, “SimpleAR : Augmented Reality high-level content design framework using visual programming,” in *38th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC 2019)*. Concepción, Chile: IEEE, 2019.
- [22] S. Brown, “The C4 model for visualizing software architecture,” 2011. [Online]. Available: <https://c4model.com/>
- [23] Y. Apaza, “SimpleAR Editor,” 2019. [Online]. Available: <https://github.com/yg-apaza/simplear-editor>
- [24] —, “SimpleAR Viewer,” 2019. [Online]. Available: <https://github.com/yg-apaza/simplear-viewer>
- [25] D. P. Tedesco and T. S. Tullis, “A comparison of methods for eliciting post-task subjective ratings in usability testing,” *Usability Professionals Association (UPA)*, pp. 1–9, 2006.
- [26] J. Brooke, “SUS - A quick and dirty usability scale,” *Usability evaluation in industry*, vol. 189, no. 194, pp. 4–7, 1996.
- [27] J. Nielsen and T. K. Landauer, “A mathematical model of the finding of usability problems,” in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '93*. New York, New York, USA: ACM Press, 1993, pp. 206–213.
- [28] R. A. Virzi, “Refining the Test Phase of Usability Evaluation: How Many Subjects Is Enough?” *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 34, no. 4, pp. 457–468, aug 1992.
- [29] A. Bangor, P. T. Kortum, and J. T. Miller, “An Empirical Evaluation of the System Usability Scale,” *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 24, no. 6, pp. 574–594, jul 2008.
- [30] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, and M. Mattsson, “Systematic mapping studies in software engineering,” in *EASE'08 Proceedings of the 12th international conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*. BCS Learning & Development Ltd. Swindon, UK ©2008, 2008, pp. 68–77.
- [31] K. Petersen, S. Vakkalanka, and L. Kuzniarz, “Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update,” *Information and Software Technology*, vol. 64, pp. 1–18, 2015.
- [32] B. Kitchenham and S. Charters, “Guidelines for performing Systematic Literature reviews in Software Engineering,” Tech. Rep., 2007.
- [33] N. B. Ali and K. Petersen, “Evaluating strategies for study selection in systematic literature studies,” in *Proceedings of the 8th ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement - ESEM '14*. New York, New York, USA: ACM Press, 2014, pp. 1–4.

Apéndice A

Protocolo del mapeo sistemático de la literatura

Se escogió realizar un mapeo sistemático porque el objetivo fue explorar el estado del arte sobre los FDCA. El mapeo sistemático del estado del arte de los FDCA está basado en el procedimiento establecido por [30] y las actualizaciones planteadas en [31].

A.1. Preguntas de investigación

Se formularon las siguientes preguntas de investigación:

- PI1. ¿Dónde y cuándo se publican los artículos académicos sobre FDCA?
 - PI1.1. ¿Cuál es la tendencia de publicación por año de los FDCA?
 - PI1.2. ¿En qué tipo de evento científico se publican los FDCA?
- PI2. ¿Cómo se desarrollan los FDCA?
 - PI2.1. ¿En qué framework o método de programación de RA se basa el *desarrollador del FDCA*?
 - PI2.2. ¿En qué plataforma de desarrollo el *usuario del FDCA* crea aplicaciones de RA?
 - PI2.3. ¿Qué plataforma de proyección de interfaz del FDCA emplea el *usuario de aplicación de RA* para visualizar el contenido en RA?
- PI3. ¿Qué tipo de interfaz de usuario utiliza el *creador de aplicación de RA* con el FDCA?
- PI4. ¿Qué clasificación de acuerdo a los modelos generales propuesto por [7] utilizan los FDCA?
- PI5. ¿En qué campo de aplicación se enfocan los FDCA?
- PI6. ¿Qué método se utiliza para validar los FDCA?

A.2. Búsqueda

Para determinar las palabras clave es necesario tener en cuenta el alcance de la investigación. Una excelente forma de generar la cadena de búsqueda es a través de la estrategia PICO [32]:

- **Población:** La población son las aplicaciones de RA o de realidad mixta (RM). Las palabras claves que identifican la población son: “augmented reality”, “AR”, “mixed reality” y “MR”.
- **Intervención:** La intervención o tecnología son los FDCA, sin embargo, es poco común que los artículos utilicen esa palabra. En su lugar, se ha optado por utilizar las herramientas de creación de aplicaciones de RA que engloban los FDCA. Las palabras claves que identifican la intervención son: “authoring tool”, “authoring software”, “authoring system”, “authoring platform” y “authoring toolkit”.
- **Comparación:** En esta investigación no se realizan comparaciones con otros métodos para crear aplicaciones de RA.
- **Resultados:** El resultado de utilizar los FDCA es la facilidad de uso para crear aplicaciones de RA.

Se determinó que los criterios de población e intervención son los más relevantes en nuestro contexto. Del criterio de población se eliminan las palabras claves que son acrónimos porque generan resultados innecesarios. Respecto al criterio de intervención, la palabra común es “authoring”, la cual engloba a las demás palabras clave. Finalmente la cadena de búsqueda que se aplicó fue: (“augmented reality” OR “mixed reality”) AND “authoring”.

La búsqueda se ha realizado en enero de 2018 en las siguientes bases de datos académicas: ACM Digital Library, IEEE Xplore Digital Library, ScienceDirect y Scopus.

Base de datos académica	Campo de búsqueda	Nro. de artículos obtenidos
ACM Digital Library	Título, resumen y palabras clave	120
IEEE Xplore Digital Library	Título, resumen y palabras clave	123
ScienceDirect	Título, resumen y palabras clave	47
Scopus	Título, resumen y palabras clave	311
Total		601

Cuadro A.1: Resultados por cada base de datos académica

Fuente: [6]

Se validó la estrategia de búsqueda comparando los resultados con los artículos que obtuvo [7].

A.3. Selección de estudio

Los criterios de inclusión y exclusión fueron obtenidos a través del proceso propuesto por [33] y se aplicaron a los metadatos, títulos y resúmenes de los artículos, y en caso de duda se procedió a leer el artículo completo. Al menos 2 personas distintas revisaron cada artículo y emitieron una opinión sobre si era incierto, relevante o irrelevante para nuestro tema.

A.3.1. Criterios de inclusión

- El artículo fue publicado hasta el 2017.
- El artículo está disponible digitalmente y fue publicado como parte de una conferencia, revista científica o workshop.
- El artículo está en inglés.
- El artículo describe un FDCA.
 - El FDCA debe tener un editor visual.
 - El FDCA es independiente o parte de un sistema.
 - El FDCA permite aumentar contenido de tipo visual, audio o háptico.
 - El FDCA puede ser parte de un framework multi-capas.¹. Si el framework tiene un editor visual y este es autosuficiente, entonces el framework se incluirá.
 - El FDCA puede tener contenido prediseñado o contenido externo. El usuario puede agregar contenidos (objetos multimedia o texto) a las aplicaciones, sin necesidad de escribir líneas de código.

A.3.2. Criterios de exclusión

- El artículo describe un framework de programación de RA, es decir, requiere que el usuario tenga que programar².
- El artículo no propone un FDCA, sino utiliza un FDCA existente. Sólo se tomarán en cuenta artículos que describan sus propios frameworks.
- El artículo propone un FDCA en el que no se usan objetos gráficos. Por ejemplo, si el framework sólo permite audio³, el artículo no será incluido.
- El artículo es duplicado exacto de otro artículo.

¹Multi-capas se refiere a soportar distintos niveles de tipo de uso, desde programación hasta un editor visual

²Programar en el sentido de escribir líneas de código en un lenguaje de programación

³Se conocen sistemas de realidad aumentada basados solo en audio, no lo consideramos porque presentarían una desventaja al momento de compararlos con los frameworks que permiten contenido visual.

Se abarca la totalidad de artículos disponibles hasta la actualidad. Posterior a esto, se aplicaron las reglas de decisión. Se aplicó la estrategia D5 [33] como lo sugiere [31]. Con el conjunto restante, otro autor distinto procedió a leer completamente cada uno de los artículos y emitir una última opinión. Finalmente, se procedió a eliminar los artículos que describían al mismo FDCA, con prioridad a aquel con fecha de publicación más reciente y a los artículos de revistas científicas.

A.4. Evaluación de calidad

A los artículos restantes, se les aplicó una evaluación de calidad para asegurar que la información sea suficiente para la extracción de datos. Durante esta etapa a cada uno de los artículos se les asignó una puntuación de 0 a 6 basados en los criterios de calidad de la Tabla A.2. Cada criterio de calidad tiene el valor de 1 punto. Para que un artículo pueda pasar la evaluación de calidad debe obtener como mínimo 4 puntos.

	Descripción
CC1	El artículo indica el método de seguimiento de RA
CC2	El artículo indica la plataforma de desarrollo
CC3	El artículo indica la plataforma de proyección de interfaz
CC4	El artículo muestra o describe la interfaz de usuario del FDCA
CC5	El artículo proporciona información necesaria para clasificarlo de acuerdo a la taxonomía de [7]
CC6	El artículo describe claramente al menos un método de validación del FDCA

Cuadro A.2: Criterios de calidad

Fuente: [6]

El estado del arte del Capítulo 2 se basa en los 74 artículos que pasaron esta etapa. El número de artículos incluidos y excluidos por cada etapa mencionada anteriormente se muestra en la Figura A.1.

A.5. Extracción de datos

Por cada artículo se extraen los datos necesarios para completar el formulario mostrado en la Tabla A.3. A continuación se procede a explicar los campos del formulario de extracción de datos:

- **Framework o método de programación de RA:** Se encarga de identificar en qué lugar se aumentará el contenido. Se debe tener cuidado de no confundirlo con la biblioteca de renderización 3D.

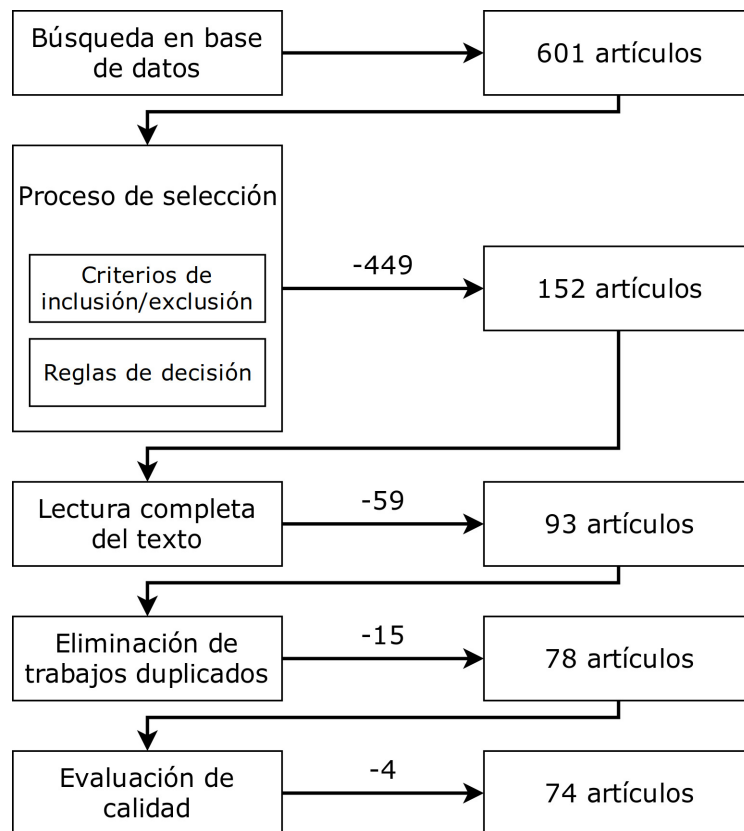


Figura A.1: Visión general del proceso de selección de artículos

Fuente: [6]

- **Método de seguimiento de RA:** Método de rastreo que implementa el framework o método de programación de RA y que provee el FDCA.
- **Plataforma de Desarrollo:** Plataforma que utiliza el *usuario del FDCA*.
- **Plataforma de proyección de interfaz:** Plataforma que utiliza el *usuario de aplicación de RA*.
- **Interfaz de usuario del FDCA:** Tipo de interfaz que utiliza el *usuario del FDCA*.
- **Modelos generales:** Taxonomía propuesta por [7]
- **Campos de aplicación:** Área para la cual fue diseñada el FDCA.
- **Método de Validación:** Proceso que se utiliza para validar el FDCA.

Ítem	Posibles valores	PI
ID del artículo	Valor entero	-
Título del artículo	Título del artículo	-
Autores	Nombre de los autores	-
Año de publicación	Año de publicación	PI1.1
Tipo de publicación del artículo	Journal, conferencia o workshop	PI1.2
Publicación del artículo	Nombre de la revista científica, conferencia o workshop	PI1.2
Framework o método de programación de RA	Nombre del framework o método de programación de RA	PI2.1
Método de seguimiento de RA	Basado en marcadores, basado en características, basado en localización u otro	PI2.1
Plataforma de Desarrollo	PC, dispositivo móvil, cascos de RA (HMD) o web	PI2.2
Plataforma de proyección de interfaz	PC, dispositivo móvil, cascos de RA o web	PI2.3
Interfaz de usuario del FDCA	Interfaz 2D, interfaz 3D no inmersivo, interfaz tangible o interfaz 3D inmersivo	PI3
Modelos Generales [7]	<ul style="list-style-type: none"> ■ Modelo 1: Stand-Alone + PS ■ Modelo 2: Stand-Alone + PI ■ Modelo 3: Todo en uno ■ Modelo 4: Plug-in + PI 	PI4
Campo de aplicación	Educación, mantenimiento/ensamblaje, juegos, otros o general	PI5
Método de validación	Evaluación de usabilidad, evaluación empírica (prueba con usuarios, caso de uso o evaluación técnica) o desconocido	PI6

Cuadro A.3: Formulario de extracción de datos

Fuente: [6]

Apéndice B

Resultados de las pruebas de usabilidad por cada usuario

Para mayor detalle, la Tabla B.1, Tabla B.2, Tabla B.3, Tabla B.4, Tabla B.5, Tabla B.6, Tabla B.7 y Tabla B.8 muestran los resultados de las métricas obtenidas por cada uno de los 8 usuarios que participaron en la evaluación de usabilidad.

Métricas	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3
Grado de completitud	Completado con dificultad	Completado con dificultad	Completado con facilidad
Errores cometidos	0	6	2
Tiempo (seg.)	114	458	176
Cuestionario SEQ	7	6	5
Cuestionario SUS		72.5	

Cuadro B.1: Resultados de las métricas para el usuario N° 1

Métricas	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3
Grado de completitud	Completado con facilidad	Completado con dificultad	Completado con facilidad
Errores cometidos	2	5	0
Tiempo (seg.)	72	192	101
Cuestionario SEQ	6	5	6
Cuestionario SUS		67.5	

Cuadro B.2: Resultados de las métricas para el usuario N° 2

APÉNDICE B. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE USABILIDAD POR CADA USUARIO

Métricas	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3
Grado de completitud	Completado con facilidad	Completado con dificultad	Completado con facilidad
Errores cometidos	0	2	2
Tiempo (seg.)	60	207	117
Cuestionario SEQ	7	6	6
Cuestionario SUS	70		

Cuadro B.3: Resultados de las métricas para el usuario N° 3

Métricas	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3
Grado de completitud	Completado con facilidad	Completado con dificultad	Completado con facilidad
Errores cometidos	0	3	1
Tiempo (seg.)	47	184	122
Cuestionario SEQ	6	6	6
Cuestionario SUS	70		

Cuadro B.4: Resultados de las métricas para el usuario N° 4

Métricas	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3
Grado de completitud	Completado con facilidad	Completado con facilidad	Completado con facilidad
Errores cometidos	2	2	1
Tiempo (seg.)	71	190	72
Cuestionario SEQ	7	7	6
Cuestionario SUS	77.5		

Cuadro B.5: Resultados de las métricas para el usuario N° 5

APÉNDICE B. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE USABILIDAD POR CADA USUARIO

Métricas	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3
Grado de completitud	Completado con facilidad	Completado con dificultad	Completado con dificultad
Errores cometidos	0	2	1
Tiempo (seg.)	67	192	87
Cuestionario SEQ	7	6	5
Cuestionario SUS	70		

Cuadro B.6: Resultados de las métricas para el usuario N° 6

Métricas	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3
Grado de completitud	Completado con facilidad	Completado con dificultad	Completado con facilidad
Errores cometidos	0	2	1
Tiempo (seg.)	65	295	112
Cuestionario SEQ	7	7	7
Cuestionario SUS	92.5		

Cuadro B.7: Resultados de las métricas para el usuario N° 7

Métricas	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3
Grado de completitud	Completado con facilidad	Completado con dificultad	Completado con facilidad
Errores cometidos	1	1	1
Tiempo (seg.)	65	132	96
Cuestionario SEQ	6	5	6
Cuestionario SUS	67.5		

Cuadro B.8: Resultados de las métricas para el usuario N° 8