



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE DOCTOR EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

Libros Aumentados: Extensión del Concepto,
Exploración e Interacciones

Nicolás Fernando Gazcón

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

2015

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Prefacio

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Ciencias de la Computación, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación durante el período comprendido entre el 30/08/2011 y el 27/08/2015, bajo la dirección de la Dra. Silvia Mabel Castro.

Nicolás Fernando Gascón



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el / / , mereciendo la calificación de(.....)

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a todos aquellos que han contribuido de manera directa o indirecta con el contenido y redacción de la presente tesis.

Primero y ante todo, quisiera agradecer a la Dra. Silvia M. Castro por su gran apoyo e interés en mi trabajo. Me otorgó la libertad suficiente para plasmar mis ideas y, al mismo tiempo, siempre aportó su guía y consejo hacia la dirección correcta. Muchos de los resultados presentados en esta tesis han sido producto de charlas muy críticas e enriquecedoras, en las cuales sin su ayuda, hubiera sido imposible llegar a esta meta. Siempre estaré agradecido por la oportunidad que me brindó para formar parte de su grupo, y todo el apoyo y conocimiento que me ha transmitido para desenvolverme en el mundo de la investigación.

Me gustaría también agradecer a todos los miembros presentes y pasados del VyGLab, por su apoyo y compañerismo. Me han ayudado y aportado su experiencia personal para el desenvolvimiento dentro del ambiente académico y docente, teniendo la suerte de haber compartido muchos momentos que trascienden el entorno laboral.

También quisiera agradecer a las instituciones que me han posibilitado realizar esta tesis. Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, que mediante su estímulo económico fomenta y permite la especialización de profesionales. A la Universidad Nacional del Sur, y en especial al Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación, que velan por el progreso y enriquecimiento de cada uno de sus integrantes.

Finalmente, pero no por ello menos importante, quisiera agradecer a mi familia y mi esposa, que siempre me han apoyado y han mostrado interés en mi trabajo. Este nuevo logro es en gran parte gracias a las enseñanzas y consejos que han sabido transmitirme.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Resumen

Hoy en día, prácticamente toda actividad realizada, ya sea directa o indirectamente, está apoyada en algún dispositivo tecnológico. Pese al gran incremento en el uso de la tecnología en estos últimos años, algunos soportes tradicionales tales como los libros, siguen siendo ampliamente utilizados. Se ha argumentado que el papel tiene los días contados, y que la evolución de la lectura se encamina completamente hacia las computadoras o medios móviles como lo son las tabletas o los lectores de libros electrónicos. Sin embargo, hasta el día de hoy, el libro tradicional sigue siendo parte de nuestra vida cotidiana.

Un campo que ha sido explorado en los últimos años con el fin de integrarse a la realidad que nos rodea, es el de la Realidad Aumentada (RA). Esta tecnología ha brindado nuevas alternativas teniendo como objetivo mejorar nuestra percepción de la realidad aportando beneficios a la realización de nuestras tareas diarias; esto lo posiciona como un excelente complemento para los libros tradicionales y la lectura de los mismos. Se han presentado varias propuestas para mejorar los libros tradicionales, originándose así un nuevo tipo de libro, el *libro aumentado*. Sin embargo, estos libros aún poseen ciertas limitaciones.

La propuesta de la presente tesis es superar estas limitaciones, proponiendo una extensión para los libros aumentados. Esta extensión considera la generación de libros aumentados a partir de cualquier libro pre-existente, permitiendo incorporarle diferentes tipos de contenidos con la posibilidad adicional de que sean compartidos por distintos lectores. De este modo, extendemos también los libros aumentados, potenciando al libro tradicional con la posibilidad de realizar la incorporación de contenidos aumentados de manera colaborativa.

En este contexto, también proponemos las interacciones que consideramos adecuadas para interactuar tanto con el libro como con su contenido. Para esto definimos una clasificación de las mismas que puede utilizarse como guía para el diseño e implementación

de las actividades que se pueden realizar con un libro aumentado.

Además presentamos una arquitectura que da soporte a nuestra propuesta para extender los libros aumentados. Basados en la misma, implementamos un sistema que utilizamos para experimentar y evaluar la validez de nuestra propuesta.

Finalmente, para realizar dicha evaluación, diseñamos un experimento estadísticamente robusto que nos permitió determinar tanto la usabilidad de la propuesta como el desenvolvimiento de usuarios nóveles con este tipo de tecnologías basadas en RA. La evaluación realizada nos permitió avalar el enfoque propuesto y capturar información relevante respecto a qué tareas resultan sencillas o difíciles para usuarios nóveles de RA. Por otra parte, los resultados del experimento arrojan nuevas direcciones para continuar la investigación en torno a los libros aumentados.

Abstract

Nowadays practically every performed activity, whether directly or indirectly, it is supported by a technological device. Despite the large increase in the use of technology in recent years, some traditional media such as books, are still widely used. It has been argued that the end of paper use is imminent, stating that the evolution of reading is toward computers or mobile devices such as tablets or e-readers. Nevertheless, up today the traditional book remains part of our daily life.

This technology has provided new alternatives granting an improved perception of the reality and bringing benefits to our daily tasks; these features make it an excellent complement to traditional books as well as its reading experience. Several approaches have been presented in order to improve traditional books, thereby enabling a new type of book, named as *augmented book*. However, these books still have some limitations.

To overcome these limitations, we propose an extension for augmented books. This extension considers the generation of augmented books from any pre-existent book, allowing the incorporation of different types of contents with the additional possibility of sharing these contents with other readers. Thus, the use of augmented books is extended, enhancing the traditional book with the possibility of incorporating augmented contents in a collaborative fashion.

In this context, we also propose the interactions we considered suitable to interact with the book and its content. Thus, we defined a classification of the interactions that can be used to guide the design and implementation of activities that can be performed with an augmented book.

We also presented an architecture which supports our approach for extending augmented books. Based on this architecture, a system was implemented to experiment and to evaluate the validity of our approach.

Finally, we designed a statistically robust experiment to conduct the evaluation. This

experimento allowed us to analyze the usability of the approach as well as the usage of the system by novice users. Based on the results of the conducted evaluation we validated our approach and concluded important remarks about the difficulties encountered by novice users on the tasks which involved Augmented Reality features. Moreover, experimental results derive in new future research directions toward augmented books.

Certifico que fueron incluidos los cambios y correcciones sugeridos por los jurados.

Firma del Director

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Abreviaturas

ARB	Augmented Reality Book
ARBS	Augmented Reality Book System
EARA	Experiencias de Aprendizaje de Realidad Aumentada
IHC	Interacción Humano Computadora
HMD	Head Mounted Display
RA	Realidad Aumentada
RV	Realidad Virtual
SAR	Spatial Augmented Reality
TUI	Tangible User Interface

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Índice general

Índice de figuras	XIX
Índice de tablas	XXI
1. Introducción	1
1.1. Contexto	3
1.2. Objetivo General y Aportes	5
1.2.1. Nuevo Libro Aumentado	5
1.2.2. Clasificación de Interacciones	6
1.2.3. Sistema de Autoría	6
1.2.4. Diseño de Metodología de Evaluación	6
1.3. Estructura de la Tesis	7
2. Realidad Aumentada	9
2.1. Definición	9
2.2. Tecnologías para Realidad Aumentada	11
2.2.1. Dispositivos de Display	11
2.2.2. Tracking y Registración	15
2.2.3. Proceso de Registración basado en Visión	21
2.3. Arquitectura General de un Sistema de RA	26
2.4. Aplicaciones	28
2.4.1. Publicidad y Avisos Comerciales	29
2.4.2. Medicina	29
2.4.3. Navegación	31
2.4.4. Mantenimiento y Ensamblaje Industrial	32
2.4.5. Turismo y Patrimonio Cultural	33

2.4.6. Entretenimiento y Educación	33
2.5. Conclusiones y Limitaciones	36
3. Libros Aumentados	39
3.1. Descripción	39
3.2. Antecedentes	40
3.2.1. Diferentes Tecnologías para Aumentar Libros	42
3.2.2. Libros de RA	44
3.2.3. Tracking sobre Libros Aumentados	45
3.3. Libros Aumentados: Características y Diseño	46
3.3.1. Clasificación de Libros Aumentados	47
3.3.2. Contenidos Aumentados	50
3.3.3. Registración Espacial	50
3.3.4. Disposición del Contenido	51
3.3.5. Interacción con el Libro Aumentado	52
3.4. Limitaciones	53
3.5. Conclusiones	55
4. Interacciones	57
4.1. Las Interacciones en la RA	58
4.1.1. Concepto de Interacción	58
4.1.2. Interacción y RA	59
4.1.2.1. Interfaces de RA Tangibles	61
4.1.2.2. Interfaces de RA Colaborativas	62
4.1.2.3. Interfaces de RA Multimodales	64
4.2. Las Interacciones y los Libros Aumentados	64
4.2.1. Antecedentes	64
4.2.2. Los Libros y sus Interacciones	66
4.2.3. Clasificación de Interacciones Propuesta	67
4.2.4. Las Interacciones	68
4.2.5. Ejemplos de Uso	72
4.3. Conclusiones y Guías de Diseño	75
4.4. Trabajo a Futuro	77

5. Extensión a los Libros Aumentados: Diseño e Imp.	79
5.1. ARB	79
5.1.1. Especificación de un ARB	81
5.1.2. Contenidos	82
5.1.3. Marcadores Adaptables	83
5.1.4. El ARB como una Herramienta Colaborativa	85
5.2. Arquitectura Básica	87
5.3. Implementación de un Sistema para ARBs	89
5.3.1. Cómo interactuar con el ARBS	89
5.3.2. Diseño de interacciones del ARBS	91
5.3.3. Detalles de Implementación	94
5.4. Conclusiones	96
5.5. Trabajo Futuro	96
6. Evaluación de Usuario	99
6.1. Evaluaciones de Aplicaciones de RA	100
6.1.1. Estudio de Usabilidad	100
6.1.2. Interfaces de RA	102
6.2. Metodología Propuesta	105
6.2.1. Objetivo de la Evaluación	105
6.2.2. Tipo de Usuario	105
6.2.3. Hipótesis a Evaluar	106
6.2.4. Escenarios	107
6.2.5. Datos a Medir	109
6.3. Evaluación Conducida	109
6.3.1. Participantes	110
6.3.2. Ambiente de Evaluación	111
6.3.3. Procedimiento General	112
6.3.4. Escenarios y Tareas	113
6.4. Resultados	114
6.4.1. Tiempo Empleado	115
6.4.2. Tasa de Éxito	118
6.4.3. Resultados Subjetivos	120

6.4.4. Comparación de Grupos	123
6.5. Análisis de los Resultados	123
6.5.1. Usabilidad del Sistema ARBS	124
6.5.2. Propiedades Físicas del Libro	124
6.5.3. Marcadores	125
6.6. Conclusiones	126
6.7. Trabajo Futuro	127
7. Conclusiones y Trabajo a Futuro	129
7.1. Síntesis de los Aportes de esta Tesis	129
7.2. Direcciones Futuras de Investigación	131
A. Información Adicional de la Evaluación	133
A.1. Descripción de las Tareas de los Escenarios	133
A.1.1. Escenario EI	133
A.1.2. Escenario EA	136
A.2. Detalle de los Resultados	140
A.3. Cuestionarios Utilizados	142
Bibliografía	147

Índice de figuras

2.1. <i>Reality-Virtuality Continuum</i>	10
2.2. Ejemplos de HMDs	13
2.3. Ejemplos de dispositivos de mano	14
2.4. Ejemplos de <i>displays</i> SAR	14
2.5. Ejemplos de <i>tracking</i> con marcadores	21
2.6. Modelo de cámara perspectiva	23
2.7. Arquitectura general de un sistema de RA	27
2.8. Ejemplos de aplicaciones de RA comerciales	30
2.9. Ejemplos de aplicaciones de RA médicas	31
2.10. Ejemplos de aplicaciones de RA de navegación	32
2.11. Ejemplos de aplicaciones de RA de educación	36
3.1. Direcciones para aumentar un libro	41
3.2. Escritorios digitales	43
3.3. Tinta electrónica y sus lectores	44
3.4. Técnicas <i>markerless</i> en libros aumentados	47
3.5. Clasificación de libros aumentados propuesta por Grasset et al.	48
3.6. Clasificación de libros aumentados según disposición de contenido	49
3.7. Visibilidad de marcadores	51
3.8. Maneras de integrar el contenido virtual al libro	52
4.1. Ejemplo de interacción tangible: <i>MagicCup</i>	62
4.2. Ejemplos de interacciones utilizando la cámara	63
4.3. Ejemplos de interacciones gestuales propuestas por Piumsomboon et al. [2013]	65

5.1. Clasificación de marcadores propuesta	83
5.2. Ejemplo de tipos de marcadores para un ARB	84
5.3. Ejemplo del concepto de transformaciones	85
5.4. Ejemplo de una estructura simple de un ARB	86
5.5. Arquitectura básica propuesta	87
5.6. Flujo de trabajo del ARBS	91
5.7. Interfaz general de la aplicación <i>NavSys</i>	93
5.8. Interfaz para incorporar contenidos de la aplicación <i>NavSys</i>	94
5.9. Implementación: arquitectura en capas y colaborativa	95
6.1. Datos de los participantes	111
6.2. Ambiente de evaluación	112
6.3. Posicionamiento de contenidos	115
6.4. Tiempo promedio total	116
6.5. Tiempo promedio empleado en las tareas	117
6.6. Resultados tasa de éxito	120
6.7. Resultados subjetivos	122

Índice de tablas

2.1. Comparación de tecnologías de <i>displays</i>	16
2.2. Comparación de <i>técnicas de tracking</i>	22
4.1. Clasificación de interacciones propuesta	70
6.1. Caracterización de usuarios	106
6.2. Estructura del experimento	108
6.3. Tipos de tareas consideradas	109
6.4. Tareas a realizar de cada escenario	113
6.5. Resultados de la prueba <i>post hoc</i> Grupo GIA	118
6.6. Resultados de la prueba <i>post hoc</i> Grupo GAI	118
6.7. Niveles utilizados para el grado de éxito de tareas	119
6.8. Prueba t-Student del cuestionario respecto a la evaluación	121
A.1. Detalle del tiempo promedio empleado en las tareas	140
A.2. Detalle del nivel de éxito de las tareas	141

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Capítulo 1

Introducción

El libro es sin duda un logro único, una herramienta que ha permitido la conservación y la difusión de los avances de la humanidad, su historia, su ciencia, etc. Ha facilitado el intercambio de información a todos los niveles y ha permitido desarrollar de modo muy importante la comunicación entre las personas. Si bien el libro evolucionó en distintos soportes a lo largo de los años, ya desde hace unos cientos de años adquirió el formato tan eficaz que todavía se utiliza hoy en día.

En las últimas décadas se han investigado diferentes variantes que intentan digitalizar los medios tradicionales de lectura. De esta manera, en pos de aumentar la productividad, la flexibilidad y la accesibilidad entre otras características, se han propuesto alternativas al libro tradicional como lo son los libros electrónicos y su *hardware* asociado (e.g. lectores de libros electrónicos o *e-readers*). Estos cambios no solamente se plasman en los libros; hoy en día ya es cotidiano utilizar en el trabajo computadoras de escritorio, escribir con procesadores de texto, comunicarse mediante correos electrónicos y utilizar *internet* como una biblioteca de acceso inmediato. En base a estos avances se han hecho predicciones acerca de la inminente desaparición del papel impreso del ambiente de oficina, conocido como *paperless office* [Sellen y Harper, 2003].

En cuanto a la pregunta que tanto interés ha suscitado los últimos años respecto a si el libro electrónico sustituirá al impreso, se considera que ambas formas continuarán coexistiendo perfectamente y podrán complementarse [Steimle, 2012]. Cabe preguntarnos en qué se basa esta resistencia del libro tradicional a ser sustituido en su totalidad por su contrapartida digital. Podemos inferir que la perdurabilidad que ha tenido este medio no puede ser atribuida únicamente a limitaciones de la tecnología, como lo son tecnologías

de *displays* inadecuadas, con un tamaño de pantalla limitado o bajo nivel de resolución y contraste. En la literatura se pueden encontrar diversos trabajos donde se destacan las bondades de los libros y el papel, resaltando las vastas cualidades de estos medios, ya que proveen un rico número de interacciones con claras ventajas sobre los medios digitales. Podríamos nombrar algunas de éstas, como lo son la posibilidad de transportar el libro, sentir su peso, generar un vínculo emocional con su aspecto, anotar sus hojas, realizar tareas con ambas manos como lo son sostenerlo mientras se toma nota en otro medio o simplemente realizar una navegación efectiva al voltear rápidamente sus hojas. Estos son solamente algunos ejemplos de las cualidades que poseen los libros, características que hasta el día de hoy los medios digitales no han podido capturar con la misma fidelidad.

Sin embargo, más allá de todas estas cualidades, es evidente que los medios digitales proveen otros beneficios de importancia. En un libro digital, por ejemplo, es más sencillo realizar búsquedas de palabras y contenidos o, por otra parte, pueden ser almacenados ocupando una ínfima cantidad de espacio físico respecto a los libros tradicionales (e.g. un lector de libros electrónicos con cientos de libros almacenados). Otra característica es que pueden incorporarse contenidos digitales multimediales permitiendo interactuar tanto de manera visual como auditiva. Incluso, todas estas posibilidades se potencian cuando se aplican nuevas tecnologías como es el caso de la RA. Gracias a la particularidad de esta tecnología emergente para combinar el mundo real con elementos virtuales, se abre un gran abanico de posibilidades de nuevas interacciones, sobre todo gracias a la cualidad de la RA de no suprimir el mundo real sino de complementarlo. De la fusión entre un libro tradicional y la RA, ha surgido una nueva alternativa conocida como *libro aumentado*. Los libros aumentados posibilitan la integración del mundo físico con el mundo digital, resultando en una nueva interfaz que extiende las capacidades de los libros tradicionales.

Si bien existen actualmente varios tipos de libros aumentados, éstos tienen muchas falencias. En esta tesis se exploraron las características de los libros aumentados y se identificaron tales falencias. Teniendo esto en cuenta se diseñó un libro aumentado que extiende a los presentados en la literatura, permitiendo incluso utilizarlo de modo colaborativo por varios lectores que pueden incorporar y compartir los contenidos aumentados del libro. Adicionalmente, se definieron las interacciones que se consideraron adecuadas para interactuar tanto con el libro como con su contenido. Las interacciones definidas fueron utilizadas en el contexto de una clasificación propuesta para las mismas y que

puede utilizarse como guía para el diseño e implementación de las actividades que se pueden realizar con un libro aumentado. También se propuso una arquitectura en base a la cual se desarrolló un sistema que permite la generación de libros aumentados a partir de cualquier libro tradicional existente. Para evaluar la validez de la propuesta se desarrolló una metodología *ad hoc*. Mediante los experimentos diseñados se analizó el desempeño de usuarios nóveles en RA obteniéndose resultados que avalan nuestra propuesta y que permitieron obtener conclusiones acerca de las dificultades que encuentran los usuarios nóveles en aplicaciones RA.

1.1. Contexto

La RA ha estado bajo estudio por poco más de dos décadas, siendo utilizada en diferentes campos [Choubassi et al., 2010; Zhang et al., 2012; Webel et al., 2013; Buchs et al., 2013]. Áreas de particular interés han sido las de aprendizaje y de entretenimiento dado el potencial que exhiben sus aplicaciones [Martín-Gutiérrez et al., 2010; Serio et al., 2013; Rafal y Cellary, 2013]. Puntualmente, en el área de educación, la comunidad científica ha analizado con detenimiento los diferentes enfoques que se pueden utilizar mediante RA para mejorar la motivación de los estudiantes [Kirner et al., 2012]. Mediante la RA se permite interactuar de diversas maneras experimentando ambos mundos, el real y el virtual, mediante la exploración de objetos, realizando tareas colaborativas, aprendiendo conceptos y/o desarrollando nuevas habilidades, entre otras. De hecho, las nuevas interacciones que posibilita la RA permiten que esta tecnología juegue un rol destacado para motivar el interés de los estudiantes [Serio et al., 2013], permitiendo un aprendizaje experimental [Rafal y Cellary, 2013] o soportando actividades inmersivas [Billinghurst y Dünser, 2012].

Estas características han llevado a considerar la inclusión de estas facilidades de manera regular en los ambientes de aprendizaje [Cuendet et al., 2013]. Una de las aplicaciones consideradas son los libros aumentados. El concepto de libro aumentado surge a partir del *MagicBook* presentado por Billinghurst et al. [2001a]. Una de las grandes ventajas de esta interfaz aumentada es que el lector continúa empleando el libro de la manera usual, manteniéndose todas sus metáforas de uso. Este concepto ha sido explotado para generar libros aumentados para diversas áreas, como lo son las de entretenimiento, enseñanza,

turismo o demostraciones comerciales. Por otra parte, también han sido utilizados para explorar nuevas tecnologías referentes a la RA [Taketa et al., 2007; Kim et al., 2010; Park y Woo, 2011].

Si bien los libros aumentados han sido ampliamente explorados, aún presentan limitaciones. Desde el punto de vista de su generación, la creación de un libro aumentado ha sido una actividad restrictiva desde sus inicios. Existen librerías de programación generales para RA que permitieron a la comunidad científica explorar esta tecnología con mayor facilidad [Kato y Billingham, 1999; Fiala, 2005]; no obstante, la generación de una determinada aplicación requería de conocimientos de programación. Además de esta restricción, los libros aumentados se creaban en general aumentados desde un principio, impidiendo otorgar estas capacidades a libros pre-existentes. Para superar estas limitaciones, se desarrollaron algunas herramientas de autoría que permiten a usuarios sin conocimientos técnicos de programación poder generar estos libros; no obstante siguen habiendo ciertas limitaciones en cuanto a cómo obtener un enfoque colaborativo que permita compartir los libros aumentados generados [Matcha y Awang Rambli, 2012]. De hecho, el campo de la RA cuenta con herramientas que permiten a los usuarios crear y compartir contenidos aumentados de una manera sencilla [Metaio, 2014; Vuforia, 2014]. A pesar de que estas herramientas han mostrado ser efectivas para uso publicitario y promocional, todavía son aproximaciones demasiado generales en torno a la RA y carecen de facilidades específicas para los libros, que son necesarias para no interferir con la experiencia de lectura.

Por otra parte, una limitación que tiene el diseño de los libros aumentados es el conjunto de interacciones que se proveen para manipularlos. Tanto la comunidad científica como varias empresas comerciales han explorado la experiencia en torno a los libros aumentados aportando nuevas formas de interacción [Grasset et al., 2008; Kirner et al., 2012; Matcha y Awang Rambli, 2012]. Sin embargo, éstas son diseñadas específicamente para cada aplicación, careciendo de un marco que permita especificar y clasificar de manera más general las interacciones propias de un libro aumentado considerando tanto las propias del libro físico como las correspondientes a la RA. Es de interés tanto para los libros aumentados como para la RA en general, contar con un marco de referencia que permita especificar estas interacciones de manera que puedan complementar la lectura del libro sin que se degraden las interacciones propias del mismo, que han mostrado ser

esenciales para los lectores.

1.2. Objetivo General y Aportes

Del contexto expuesto, podríamos resumir el objetivo de la presente tesis mediante la siguiente pregunta:

¿Cómo diseñar un libro aumentado que integre de manera efectiva las capacidades de la RA a los libros tradicionales?

En esta tesis hemos abordado la respuesta a esta pregunta explorando críticamente las características y posibilidades de los libros aumentados a partir de lo cual surgieron los aportes que se detallan a continuación:

1. Propuesta de un libro aumentado colaborativo que extiende los libros aumentados presentes en el estado del arte.
2. Especificación de una clasificación para las interacciones de los libros aumentados.
3. Propuesta de una arquitectura para sistemas de libros aumentados.
4. Diseño y desarrollo de un sistema de autoría para la generación de libros aumentados a partir de cualquier libro tradicional pre-existente.
5. Diseño de una metodología que permite evaluar libros aumentados y además puede extenderse para evaluar aplicaciones de RA. La propuesta desarrollada permitió evaluar el sistema propuesto e identificar las dificultades que encuentran los usuarios nóveles en RA.

1.2.1. Nuevo Libro Aumentado

Basándonos en la revisión de trabajos de investigación referentes a los libros aumentados se identificó el conjunto de características que debería tener un libro aumentado para complementar efectivamente los libros tradicionales. Se definió un nuevo concepto de libro aumentado aplicable a cualquier libro tradicional pre-existente. Además, se consideró la posibilidad de que tanto el libro aumentado como sus contenidos virtuales sean accesibles por distintos lectores, conformando un enfoque esencialmente colaborativo.

1.2.2. Clasificación de Interacciones

En base a una extensa revisión de la literatura en cuanto a libros aumentados, ya sea mediante RA como mediante cualquier otra tecnología que permita aumentar un libro de alguna manera digital, se identificaron las interacciones propias de un libro y de su versión aumentada. A partir de esta identificación se realizó una clasificación de las interacciones pertenecientes a un libro aumentado, agrupando un conjunto de interacciones básicas de acuerdo a su comportamiento. Ésta permite que las actividades de alto nivel que pueden realizarse con un libro aumentado pueden especificarse en función de estas interacciones básicas. La descripción obtenida es de utilidad para guiar la implementación de estas interacciones complejas en la aplicación de libros aumentados.

1.2.3. Sistema de Autoría

Se diseñó y desarrolló un sistema de libros aumentados. Para esto se propuso una arquitectura que contempla las características de las aplicaciones de libros aumentados. A su vez, este sistema se desarrolló teniendo en cuenta la clasificación de interacciones propuesta. El sistema no requiere que los usuarios posean conocimientos de programación o de RA y es esencialmente colaborativo. Además, el mismo consiste tanto en un visualizador de contenidos como en una herramienta de autoría para la incorporación de los mismos.

1.2.4. Diseño de Metodología de Evaluación

Dado que el campo de la RA carece de un enfoque estandarizado para evaluar las aplicaciones [Dünser y Billinghamurst, 2011], se diseñó una metodología que nos permitió evaluar de manera robusta, el sistema de libros aumentados desarrollado. Empleando esta metodología con usuarios sin conocimiento previo de RA se recolectaron datos cuantitativos y cualitativos que validan el enfoque propuesto, comprobando su facilidad de uso y aprendizaje. De la evaluación realizada se obtuvo una realimentación muy positiva en cuanto al enfoque.

Además, como contribución a destacar, se pudieron recolectar datos relevantes en cuanto a cómo se desempeña un usuario sin conocimiento previo en tecnologías de RA. Estos datos obtenidos permiten generalizar los resultados a otras aplicaciones de RA,

proveyendo conclusiones de utilidad para colegas que tengan que diseñar tanto las aplicaciones de RA como los experimentos para las mismas.

1.3. Estructura de la Tesis

En la presente tesis introducimos los conceptos relevantes, de modo que la lectura de la misma sea autocontenida. A continuación describimos su estructura y los resultados obtenidos:

En el **Capítulo 1** introducimos los objetivos y el contexto en el que desarrollamos esta investigación. También enumeramos cuáles son las contribuciones de la misma.

En el **Capítulo 2** detallamos el contexto de la RA. Se describen las distintas tecnologías que intervienen, detallando en particular el fundamento matemático para la correcta registración de los elementos virtuales utilizando el procesamiento de las imágenes obtenidas mediante el uso de cámaras. Puntualmente, resaltamos el papel relevante que puede tener la RA en los campos del entretenimiento y de la educación para los libros aumentados.

En el **Capítulo 3** proveemos un detallado relevamiento de las estrategias para integrar información digital a los libros impresos. Puntualmente, nos focalizamos en las aplicaciones de libros aumentados. En base al relevamiento de las tecnologías y estrategias para aumentar un libro, proveemos un análisis crítico de los puntos aún no direccionados para este tipo de aplicaciones. Concluimos el capítulo enumerando un conjunto de alternativas de exploración que serán analizadas en los capítulos subsiguientes.

En el **Capítulo 4** introducimos un análisis de las interacciones provistas para la RA, y en particular, describimos las interacciones propias de un libro aumentado. Presentamos una nueva clasificación de interacciones que permite modelar las actividades comunes para este tipo de libros. En base a este análisis proponemos guías de diseño para aplicaciones de libros aumentados, de manera que la incorporación de nuevas funcionalidades a estos libros resulten complementarias a la utilización de los libros tradicionales.

En el **Capítulo 5** introducimos un nuevo libro aumentado, denominado *Augmented Reality Book (ARB)*, que permite soportar las características analizadas en el Capítulo 3. En este libro aumentado se considera la incorporación de contenidos virtuales a cualquier libro pre-existente. El libro aumentado propuesto extiende a los presentes en la literatura,

ya que su diseño está enfocado a que distintos lectores puedan generar un libro aumentado de manera colaborativa, permitiendo compartir los contenidos que se incorporan al mismo. También proponemos una arquitectura para aplicaciones de libros aumentadas, en base a la cual se detallan las consideraciones de implementación del libro aumentado propuesto utilizando la clasificación de interacciones introducidas en el Capítulo 4. Se describe el sistema *Augmented Reality Book System (ARBS)* desarrollado para libros aumentados, que conforma una herramienta tanto para visualizar como para generar libros aumentados a partir de libros pre-existentes.

En el **Capítulo 6** presentamos la evaluación del sistema *ARBS* descrito en el capítulo anterior. Se presenta una metodología novedosa que permite evaluar la usabilidad y la facilidad de uso del sistema por parte de usuarios sin conocimientos técnicos en informática ni conocimiento de tecnologías referentes a RA. Se presentan las conclusiones obtenidas sobre las tareas que resultan sencillas o complicadas para usuarios nóveles en RA y que podrán generalizarse para otras aplicaciones de RA.

En el **Capítulo 7** presentamos las conclusiones finales y el trabajo futuro a desarrollar a partir del realizado en esta tesis.

Finalmente en el **Apéndice A** presentamos datos complementarios a la evaluación conducida. Se describen las tareas que realizaron los usuarios, se detallan los datos recolectados de estas tareas y se proveen los cuestionarios utilizados para obtener datos y opiniones subjetivas.

Capítulo 2

Realidad Aumentada

Mediante la RA se puede mejorar nuestro mundo incorporando información digital, de manera que complemente y contribuya a una mejor experiencia del usuario en diferentes áreas de aplicación. Una de las grandes ventajas de la RA es que a diferencia de otras tecnologías, como por ejemplo la Realidad Virtual (RV), no intenta suprimir el mundo que nos rodea. En lugar de ello, su objetivo es mejorarlo *aumentándolo* mediante información sintética, facilitando un desarrollo más eficiente o atrapante de tareas que desempeñamos cotidianamente.

Esta característica de la RA tiene un gran potencial en campos como publicidad y avisos comerciales, medicina, navegación, mantenimiento y ensamblaje industrial, turismo y patrimonio cultural, entretenimiento y educación entre otros. En este capítulo proveemos una definición de RA, describimos las tecnologías utilizadas y presentamos la arquitectura general de un sistema de RA. Finalmente detallamos las principales áreas de aplicación y presentamos las conclusiones y limitaciones actuales. Quedará pendiente analizar las interacciones que han sido estudiadas para las aplicaciones de RA, ya que serán presentadas de manera extensiva en el Capítulo 4.

2.1. Definición

La RA ha sido objeto de estudio en la comunidad científica desde hace más de 50 años. La primera contribución a este campo se remonta a la década del 60, con el denominado “*ultimate display*” de Sutherland [1965]. Sin embargo, por limitaciones de las tecnologías de aquella época, la adopción masiva de las características de esta propuesta ha tenido

que mantenerse a la espera de nuevos avances tecnológicos. De hecho, las dos definiciones aceptadas por la comunidad científica para la RA han sido introducidas recién en los años 1994 y 1997, por Milgram y Kishino [1994] y por Azuma [1997] respectivamente.

La definición de Milgram y Kishino introduce el concepto de *Reality-Virtuality Continuum*¹. Este constituye un espectro en el cual se establecen las posibles taxonomías para aplicaciones de RA según su grado de combinación entre elementos reales y virtuales. De esta manera en los extremos de este continuo se sitúan, por un lado la RV como un mundo puramente sintético, y en el otro la Realidad Física, es decir, nuestro mundo real. En este continuo se consideran dos puntos intermedios que corresponden a una Realidad Mixta. Estas son específicamente el de la RA, en la que el medio principal es el mundo real al que se le incorporan objetos virtuales, y el de la Virtualidad Aumentada, que posee como medio principal uno puramente virtual al que se le incorporan objetos del mundo real. En este *Reality-Virtuality Continuum* la RA se sitúa más cercana al mundo real, como podemos ver en la Figura 2.1. De este modo, la RA se define como un complemento a la realidad.

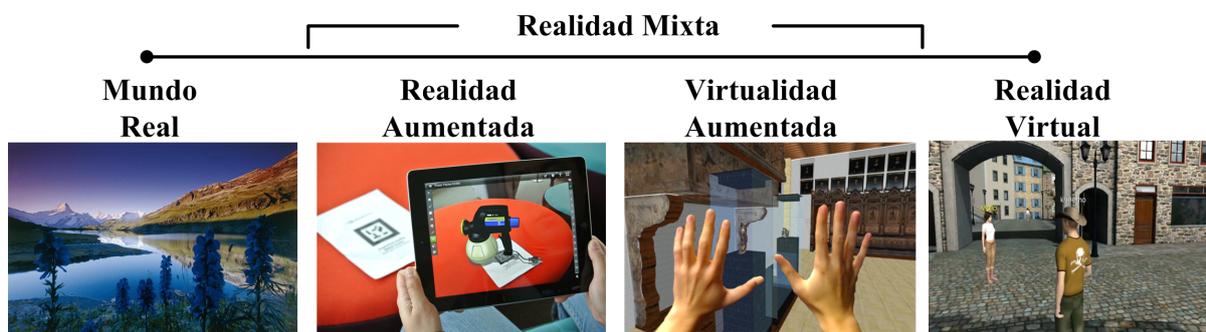


Figura 2.1: El *Reality-Virtuality Continuum* de Milgram y Kishino [1994].

Por otra parte, la definición de Azuma es considerada como el conjunto de principios básicos que caracterizan una aplicación de RA. Éste establece que una aplicación debe: (i) combinar el mundo real con elementos virtuales; (ii) permitir interacción en tiempo real; y (iii) registrar correctamente los objetos digitales o virtuales en el mundo real. Por lo tanto, el cumplir con estos tres requerimientos básicos permite alcanzar una experiencia de uso donde los elementos virtuales son totalmente interactivos dentro del ambiente del mundo real y, a su vez, están correctamente integrados, dando la impresión que son parte

¹ *Continuo de Realidad-Virtualidad*, término utilizado por Milgram y Kishino para proveer una definición de RA.

de este ambiente.

De estas definiciones es importante destacar que la RA no se restringe a un tipo de *display*² determinado (e.g. como lo serían el uso de lentes especiales) o a un sentido perceptual específico. Por lo contrario, permite que todos los sentidos, incluyendo el olfato, el tacto y/o la audición, puedan participar de una experiencia aumentada como Sutherland [1965] postuló hace más de 50 años. Estas características le otorgan a la RA la potencialidad de complementar y mejorar las tareas que desempeñan los usuarios en diferentes áreas, como lo son la visualización en distintos campos, el entretenimiento, la publicidad, el mantenimiento, la educación o el turismo entre otras.

2.2. Tecnologías para Realidad Aumentada

La RA es posible gracias a diferentes tecnologías que permiten esta experiencia aumentada de la realidad. Para esto, son fundamentales tanto los dispositivos de *display* utilizados para que el usuario cuente con el entorno aumentado que surge de combinar el mundo real y virtual, como también las técnicas de *tracking y registración* que, en base a diferentes sensores y mecanismos, puedan detectar la posición y orientación de un objeto para situar de manera correcta el contenido virtual sobre el mundo real. Para definir el fundamento matemático de las *técnicas de tracking* nos concentraremos en las técnicas de visión por computadora, por ser éstas una de las más usadas para aplicaciones de RA; éstas se basan en el procesamiento de las imágenes capturadas mediante una cámara digital.

2.2.1. Dispositivos de Display

En las aplicaciones de RA se destacan principalmente tres tipos de *displays*: los *Head Mounted Displays (HMDs)*, los dispositivos de mano (*handheld devices*) y los dispositivos espaciales conocidos como *Spatial Augmented Reality (SAR)*. A continuación describiremos cada uno de éstos.

²Con este término nos referimos a la tecnología o dispositivo utilizado para mostrar el mundo real combinado con los contenidos virtuales.

Head Mounted Displays

Un HMD consta de uno o dos pequeños *displays* combinados con lentes y espejos semi-transparentes embebidos en un casco, *eyeglass* (anteojos de datos) o un visor. Estas pequeñas unidades de *display* pueden ser de distintas tecnologías tales como CRT, LCD, cristal líquido sobre silicio o diodo orgánico emisor de luz (OLED). El primer dispositivo de este tipo fue introducido por Sutherland [1968]. Los HMDs adecuados para RA permiten que la información generada digitalmente pueda superponerse sobre una vista del mundo real. Esta combinación puede realizarse conceptualmente de dos maneras distintas y es lo que caracteriza los dos tipos de HMDs denominados *video-see-through* y *optical-see-through* (ver Fig. 2.2). Los HMDs del primer tipo son más demandantes que los ópticos, ya que requieren contar con cámaras de video que capturen el mundo, y un procesamiento para combinar los elementos virtuales con estas imágenes del mundo real. Por otra parte, los HMDs del tipo óptico utilizan espejos y lentes transparentes que permiten superponer información reflejada sobre el ojo del usuario. Estos tienen la gran ventaja de mostrar el mundo real tal cual es ya que no necesitan mostrarlo mediante un video capturado por un cámara. No obstante, los HMDs del tipo *video-see-through* permiten mayor control de las escenas generadas debido al procesamiento utilizado.

Dispositivos de Mano

Se refieren a pequeños aparatos de fácil utilización de manera que puedan sostenerse simplemente con las manos tales como los distintos tipos de dispositivos móviles (ver Fig 2.3). En el *display* de estos dispositivos se integra el mundo real y el sintético; para esto se utilizan técnicas similares a las de los dispositivos *video-see-through* para superponer gráficos digitales sobre el mundo real capturado por los sensores. Por otra parte, éstos incorporan diferentes tipos de sensores (e.g. giroscopios o compases electrónicos) que serán utilizados para obtener mayor fidelidad y posibilidad de interacciones en lo referido al *tracking* (ver Sección 2.2.2).

Comercialmente, hoy en día, se pueden conseguir con facilidad tres tipos de estos dispositivos: teléfonos inteligentes, PDAs³ y tabletas. En general, estos comparten las mismas características en lo referido a su portabilidad, el poder de CPU y la memo-

³Sigla en inglés para *asistente digital de bolsillo (PDA)*, que consiste en una computadora de mano diseñada como una agenda electrónica.

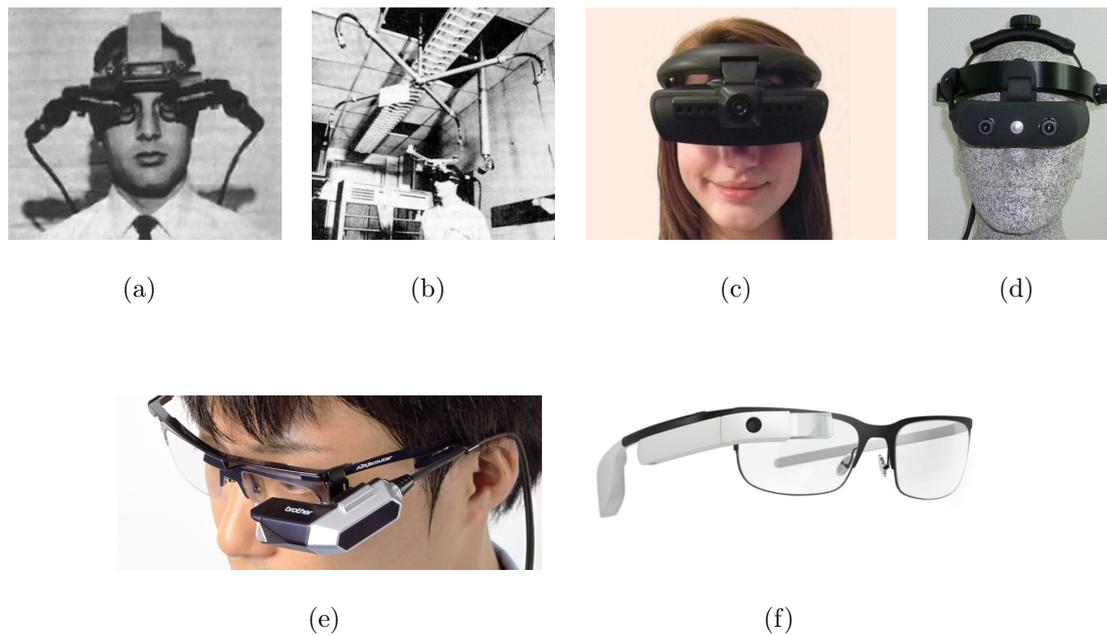


Figura 2.2: Primer HMD introducido por Sutherland [1968] (a)-(b), ejemplos de HMD del tipo *video-see-through* monocular (c) [Virtual Realities, 2015] y binocular (d) [Trivisio, 2015]. Ejemplos de HMD *optical-see-through* (e) [Brother, 2015] y los recientes *Google Glass* (f) [Google, 2012].

ria. Permiten contar con una amplia gama de sensores como cámaras, acelerómetros, GPS ⁴, compases electrónicos o sensores de brillo. Una de las desventajas de los teléfonos inteligentes es el tamaño de sus *displays*, que resultan poco convenientes para ciertas aplicaciones. Las tabletas mejoran en este sentido, aportando mayores tamaños de *displays*, incluso con mayor poder de CPU y memoria, aunque al costo de mayor precio de la unidad. Por otra parte, los PDAs están siendo relegados debido al gran crecimiento en el uso de teléfonos celulares que, además de utilizarse para realizar llamadas telefónicas, tienen las características adicionales de los PDAs [Arth et al., 2015].

Spatial Augmented Reality

Se caracterizan por utilizar proyectores o elementos ópticos (aunque también dispositivos más específicos como hologramas o etiquetas de radio frecuencia) para visualizar información gráfica directamente sobre objetos físicos. Esto posibilita poder contemplar escenas aumentadas sin la necesidad de que el usuario utilice dispositivos adicionales. La

⁴El *Sistema de Posicionamiento Global (GPS)* consiste en la información de la posición de un objeto en la tierra, obtenida por sistemas de navegación satelital.

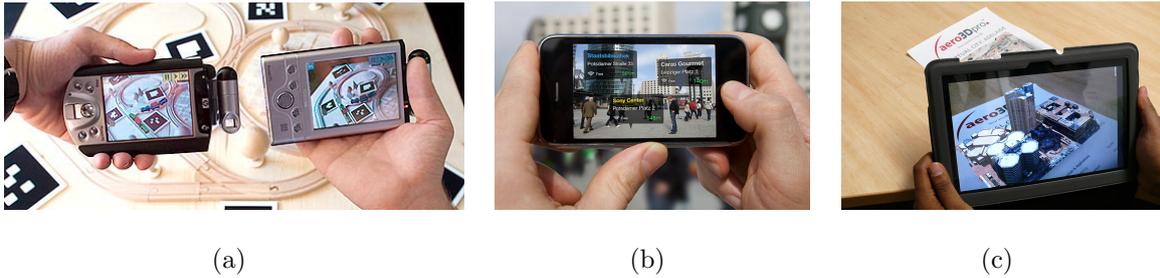


Figura 2.3: Dispositivos de mano del tipo PDA (a) [Wagner y Schmalstieg, 2006], teléfono inteligente (b) y tableta (c).

RA espacial requiere el uso de ambientes especiales (e.g. entornos en los cuales se puedan ubicar los proyectores utilizados) permitiendo la colaboración de manera directa entre varios usuarios, ya que éstos simplemente deben estar dentro el ambiente. Este tipo de *display* de RA es ideal para utilizar en distintos ámbitos tales como universidades, laboratorios, museos o establecimientos relacionados al arte. Sin embargo, estas características son a costa de la portabilidad de la tecnología; adicionalmente, es necesario montar la infraestructura para estos ambientes. Una extensa revisión de los mismos es provista por Bimber y Raskar [2005]. En la Figura 2.4 se muestran algunos ejemplos representativos de este tipo de *displays*.

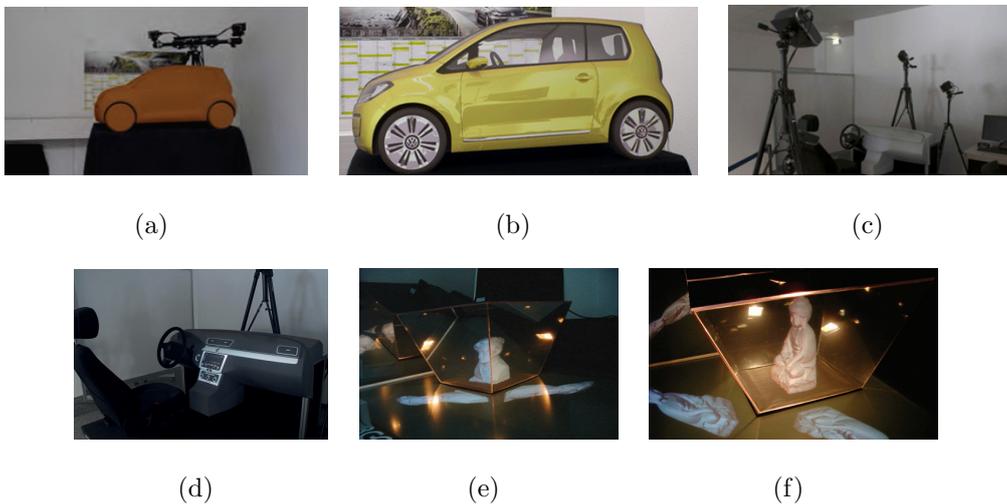


Figura 2.4: Ejemplos de *display* de tipo SAR utilizados con proyectores para visualizar un automóvil (a)-(b) [Menk y Koch, 2013], el interior de un automóvil (c)-(d) [Menk y Koch, 2011] y un grupo de espejos para combinar múltiples reflexiones en un mismo espacio (e)-(f) [Bimber et al., 2001].

En la Tabla 2.1 se presenta una comparación de los distintos tipos de *displays* men-

cionados, sintetizando tanto sus características como sus ventajas y desventajas. Esta comparación se basa en el trabajo de Van Krevelen y Poelman [2010], donde se detallan distintas cualidades, involucrando la movilidad y la interacción que permiten estos dispositivos, si se facilita cooperación o trabajo entre varios usuarios, y distintas características técnicas de la tecnología en cuestión (como lo son el brillo, contraste, diferentes resoluciones posibles, campo de visión de la visualización o la necesidad de uso de batería).

2.2.2. Tracking y Registración

Para que un sistema de RA pueda mostrar contenido aumentado integrado al mundo real por medio de un *display*, debe ser capaz de obtener la posición relativa desde la que es observada la escena. Con esto nos referimos a obtener los seis grados de libertad o 6DOF ⁵ relativos al punto de visualización de la escena, conformados por las tres variables (x, y, z) , que permiten posicionar el objeto virtual en el mundo, y los tres ángulos $(yaw, pitch, roll)$ ⁶, que permiten establecer la orientación del objeto virtual.

Mediante diferentes *técnicas de tracking* se pueden obtener estos 6DOF, estableciendo de esta manera, una correcta registración del objeto virtual en la escena. A continuación se detallan las *técnicas de tracking* más frecuentemente utilizadas en las distintas aplicaciones de RA.

Mecánico, ultrasonido y magnético

Las primeras *técnicas de tracking* estaban restringidas al uso en interiores, ya que era necesario utilizar dispositivos especiales que se situaban alrededor del usuario. Un ejemplo de esto es el primer HMD de Sutherland [1968] que usaba *tracking* mecánico (ver Fig. 2.2(b)). En dicho trabajo también se utilizaron dispositivos que emitían sonidos especiales para ser capturados por sensores permitiendo establecer la ubicación del usuario (i.e. posicionamiento mediante ultrasonido). Posteriormente, se introdujeron dispositivos magnéticos para medir distancias en campos electromagnéticos [Raskar et al., 2003]. Estos dispositivos fueron pioneros en el campo de la RA, y aún hoy en día son utilizados en ciertas aplicaciones específicas.

⁵Mencionados en la literatura generalmente por las siglas en inglés *6DOF* (*six degrees of freedom*).

⁶Estas denominaciones son las utilizadas en la literatura para nombrar los tres ángulos que establecen las orientaciones respecto a los ejes coordenados del objeto.

Tipos de Display	Dispositivos de Mano				SAR
	HMD	PDAs	Teléfonos inteli- gentes	Tableta	
Técnicas	Optical-see-through	Video-see-through			Proyectores
Movilidad	si	si	si	si	no
Interacción	si	si	si	si	no
Cooperación	si	si	si	si	si
Multi-usuario	si	si	si	si	limitado
Brillo	limitado	soportado	limitado	limitado	limitado
Contraste	limitado	soportado	limitado	limitado	limitado
Dif. resoluciones	limitadas	limitadas	limitadas	limitadas	soportadas
Campo de visión	limitado	limitado	limitado	limitado	amplio
Batería	necesaria	necesaria	necesaria	necesaria	-
Ventajas	Percepción natural del mundo real.	Control de sincronización y visualización.	Los tres dispositivos comparten las ventajas de portabilidad y las facilidades que les otorgan sus sensores incorporados.		Se visualiza directamente sobre las superficie física de los objetos.
Desventajas	Costo y problemas de sincronización.	Costo y percepción menos natural del mundo real al utilizarse cámaras.	Pantalla pequeña, dispositivo cayo en desuso.	Pantalla pequeña. Más costoso.	Más costoso y la visualización no depende del usuario ya que todos perciben lo mismo (puede considerarse una ventaja en algunos casos).

Tabla 2.1: Comparación de las distintas tecnologías de *displays* [Van Krevelen y Poelman, 2010].

Sistemas de Posicionamiento Global

En general, en las aplicaciones de exteriores se utilizan *técnicas de tracking* basadas en sistemas de posicionamiento por satélite. Estos permiten obtener el posicionamiento geográfico de un objeto. El sistema más utilizado es el *GPS (Global Positioning System)*⁷, que permite obtener una posición con una precisión de 10-15 metros. Para obtener mayor precisión deben utilizarse GPS diferenciales, que permiten obtener la posición con un error menor a un metro. Estos sistemas de posicionamiento global son de gran utilidad en la actualidad, ya que la gran mayoría de los teléfonos inteligentes o tabletas cuentan con estos, posibilitando un alcance masivo a estos *sistemas de tracking*.

Radiofrecuencia

Existen otros métodos de *tracking* que requieren utilizar dispositivos especiales ubicados en la escena que funcionan en distintas bandas de radiofrecuencia. Estos dispositivos conocidos como chips *RFID (Radio Frequency Identification)*, permiten posicionar un objeto en un ambiente. Éstos pueden ser de dos tipos, los pasivos que funcionan por inducción, y los activos que poseen su propia fuente de energía. Otros elementos complementarios al uso de RFID son las redes WLAN basadas en la norma de estándares IEEE 802.11b/g. La resolución de éstos depende en gran medida de los puntos de acceso dispuestos en la red (dispositivos utilizados para conformar redes inalámbricas de computadoras), cuestión que limita su uso en exteriores. Han sido investigadas distintas técnicas en torno al uso de WLAN como *sistema de tracking* [Bahl y Padmanabhan, 2000; Castro et al., 2001] e incluso existen opciones de uso comercial de sistemas personales y también de equipamiento para *tracking* en ambientes especiales⁸ (e.g. hospitales).

Inercial

Los dispositivos como acelerómetros y giroscopios son ejemplos de sensores inerciales que son utilizados como parte de *sistemas de tracking híbridos*. Los datos suministrados

⁷Si bien los dispositivos que soportan GPS utilizan los satélites americanos, los rusos poseen un sistema similar denominado *Glonass*. La Unión Europea está desarrollando su propio sistema de posicionamiento satelital denominado *Galileo*.

⁸Algunos ejemplos de estos son InnerWireless (<http://www.innerwireless.com/>), AeroScout (<http://aeroscout.com/>) y Ekahau (<http://www.ekahau.com/>).

por éstos pueden utilizarse para obtener la posición estimada cuando son combinados con información de la dirección del objeto. Gracias al avance de la tecnología, estos dispositivos son de alcance masivo, estando presentes en dispositivos móviles como los teléfonos inteligentes y las tabletas.

Óptico

Los enfoques más prometedores para el cálculo de los 6DOF han sido desarrollados en aproximaciones basadas en técnicas de visión por computadora. Mediante el análisis de las imágenes capturadas por una cámara se puede obtener una registración muy precisa de los objetos virtuales al obtener los 6DOF en base a la correspondencia de posiciones en 2D (pertenecientes a la imagen capturada) con las coordenadas 3D del objeto que debe ser aumentado. Se consideran principalmente dos enfoques, el de utilizar la geometría de un objeto físico, o bien el de utilizar elementos distintivos que puedan ser reconocidos en la imagen.

En el caso de utilizar elementos distintivos, se ha desarrollado el *tracking* basado en marcadores, de manera de simplificar la detección de elementos distintivos que permitan obtener la correspondencia de puntos 2D/3D. Estos marcadores, también conocidos como *fiducials*, pueden detectarse fácilmente mediante el procesamiento de la imagen porque poseen información que los hace reconocibles de manera unívoca, incluso entre un conjunto de marcadores.

La técnica más simple que podemos destacar es la de los marcadores puntuales, que pueden ser utilizados para detectar con facilidad y con una precisión del orden de los subpixels ⁹. Estos han sido utilizados ampliamente en la captura de movimientos de personas, donde pueden utilizarse *fiducials* pasivos o activos. Los *fiducials* puntuales pasivos son detectados por la reflexión del material utilizado [Ribo et al., 2001], utilizando círculos blancos y negros concéntricos [Mellor, 1995], círculos concéntricos coloreados [Cho y Neumann, 2001] o códigos circulares en forma de anillos [Naimark y Foxlin, 2002] (ver Fig. 2.5(b)); éstos no dependen de ninguna fuente de alimentación. Los *fiducials* activos, en cambio, utilizan fuentes emisoras de luz, como por ejemplo los diodos emisores de luz (LEDs) [Madritsch y Gervautz, 1996]; éstos pueden ser fácilmente capturados por una

⁹Con esto nos referimos a la utilización de resoluciones que exceden la resolución nominal de la imagen capturada.

cámara (ver Fig. 2.5(a)). También son utilizados los LEDs de tipo infrarrojo [Welch et al., 1999], gracias a que no son visibles en el espectro visual humano y por ende no interfieren demasiado en la escena (los sensores CMOS de las cámaras son muy sensibles a este tipo de LEDs).

También se puede contar con *fiducials* basados en imágenes planas, que consisten, por ejemplo en recuadros en blanco y negro, de los cuales se analizan las cuatro esquinas como puntos distintivos. Con estas cuatro correspondencias es posible estimar los 6DOF con un único marcador mediante una cámara calibrada ¹⁰. Por lo tanto, el proceso de detección es desdoblado en dos pasos, la extracción de las cuatro esquinas y la identificación del marcador (i.e. ID del marcador en cuestión).

Una de las primeras librerías que permitió la detección de este tipo de marcadores planos es la ARToolKit [Kato y Billinghurst, 1999] (ver Fig. 2.5(c)). Al estar disponible libremente, se ha utilizado en numerosas aplicaciones de RA. Los marcadores provistos consisten en un fondo blanco que contiene una imagen blanco y negro. Para detectar el marcador se binariza la imagen en primera instancia, y luego de aplicar un umbral, se detecta el borde de color negro mediante un algoritmo que detecta contornos. En caso de encontrar contornos, se analizarán solamente los que posean una geometría cuadrada. Así pueden obtenerse los cuatro puntos correspondiente a las esquinas del recuadro y se analiza entonces la imagen en el interior del recuadro, para obtener el identificador del marcador (ver Fig. 2.5(e)).

Una de las desventajas de estas técnicas, es que al binarizar y realizar un umbralado global de la imagen, el brillo de la escena puede afectar la detección, pudiendo incluso impedirla. Se han propuesto soluciones para contemplar estos casos al analizar umbrales adaptativos [Fiala, 2005] (ver Fig. 2.5(d)). Otro problema es el de la oclusión de los marcadores (e.g. alguna o varias esquinas del recuadro negro no sean visibles). Para resolverlo se han propuesto diversos métodos denominados *markerless*, es decir, métodos que no utilizan marcadores especiales, sino que utilizan texturas o imágenes presentes en la escena. Estos métodos se basan en la detección de puntos de interés, que son extraídos y comparados con los puntos de interés almacenados previamente de estas imágenes distintivas. De esta manera, el poseer varios puntos de interés que caracterizan la imagen

¹⁰En general los *métodos de tracking* necesitan una etapa de calibración para ajustar ciertas correspondencias físicas, como lo son distancias, amplitud focal, etc.

o textura, se tienen métodos muy robustos en cuanto a detectar un marcador a pesar de la oclusión parcial. Ejemplos de estos métodos son la detección de bordes [Wuest, 2008], detección de esquinas utilizando máscaras circulares denominado detección SUSAN (*Standing for Smallest Univalve Segment Assimilating Nucleus*) [Smith y Brady, 1997], técnicas basadas en diferencias gaussianas [Lowe, 2004], métodos basados en la detección de puntos invariantes afines [Mikolajczyk y Schmid, 2002, 2004], descriptores basados en regiones como lo es el método MSER (*Maximally Stable Extremal Regions*) [Matas et al., 2004] y métodos basados en las intensidades de diferentes círculos candidatos [Lepetit y Fua, 2004]. Dos de los métodos más utilizados en aplicaciones de RA para la detección de puntos de interés son FAST (*Features from Accelerated Segment Test*) [Rosten y Drummond, 2005] y SURF (*Speeded Up Robust Features*) [Bay et al., 2008]; dada su eficiencia y efectividad, se derivaron versiones portables al *hardware* de los dispositivos móviles. Estos métodos, además de ser más robustos, tienen otra ventaja que es la de no agregar elementos ajenos a la escena, dado que utilizan imágenes o texturas propias de la misma (ver Fig. 2.5(f)-(h)). Sin embargo, contrastados a los clásicos marcadores blanco y negro, son notablemente más costosos en cuanto a procesamiento y memoria requeridos. Para mayor información, una completa descripción del fundamento de este tipo de métodos puede encontrarse en el trabajo de Tuytelaars y Mikolajczyk [2008].

Como puede verse podemos concluir que no existe una única técnica que sea superior a las demás en todos los casos. Todas poseen sus ventajas y desventajas, estableciendo que se deban analizar los requerimientos de la aplicación para elegir el *método de tracking* que resulte más conveniente. En la Tabla 2.2 presentamos una comparación de las distintas técnicas basándonos en cinco características [DiVerdi y Hollerer, 2007; Papagiannakis et al., 2008], actualizada de acuerdo a las características de los dispositivos actuales. Esta tabla puede utilizarse para la elección del *método de tracking* que se considere más adecuado de acuerdo a la aplicación, teniendo en cuenta las siguientes características:

1. *Rango*: porción de la región alcanzada por el *sistema de tracking*.
2. *Setup*: tiempo que demanda la calibración y puesta a punto del *sistema de tracking*.
3. *Precisión*: granularidad posible para la posición obtenida.
4. *Validez*: período de tiempo que resulta válida la información suministrada por el *sistema de tracking* (e.g. antes de que se acumule demasiado error y la posición

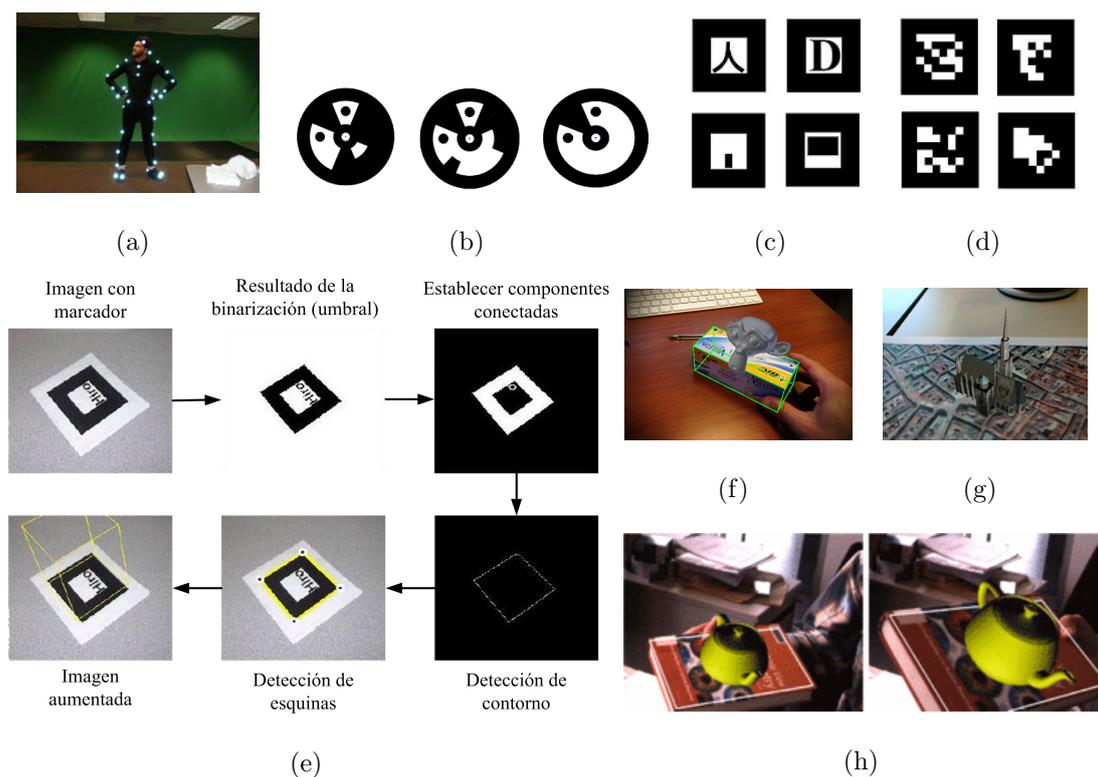


Figura 2.5: Ejemplos de marcadores puntuales activos (a), marcadores puntuales pasivos (b) [Naimark y Foxlin, 2002], marcadores planos de ARToolKit (c) [Kato y Billinghurst, 1999] y de ARTag (c) [Fiala, 2005]. Ejemplo del proceso de detección realizado por ARToolKit (e). Ejemplos de los marcadores de tipo *markerless* basados en la geometría del objeto (f), utilizando una imagen (g) [Wagner et al., 2008] y usando la tapa de un libro como textura (h) [Lepetit et al., 2005].

resulte en una registración incorrecta).

5. *Entorno*: entorno en el que puede utilizarse la *técnica de tracking*, es decir, interiores y/o exteriores.

2.2.3. Proceso de Registración basado en Visión

En el proceso de registración se deben alinear adecuadamente entre sí los mundos real y virtual. Sin una registración correcta se vería severamente comprometida la ilusión de que ambos mundos coexisten. De esta manera, la registración es el proceso que integra los objetos generados en la computadora con el mundo real que es capturado con la cámara. En primera instancia se debe tener la posición del observador y entonces se

Técnicas	Rango (m)	Setup (hs)	Precisión (mm)	Validez (s)	Entorno
Optico: marcadores	10	0	10	∞	interiores/exteriores
Optico: <i>markerless</i>	50	0-1	10	∞	interiores/exteriores
GPS	∞	0	5.000	∞	exteriores
WiFi	100	10	1.000	∞	interiores/exteriores
Acelerómetro	1.000	0	100	1000	interiores/exteriores
Magnético	1	1	1	∞	interiores/exteriores
Ultrasonido	10	1	10	∞	interiores
Inercial	1	0	1	10	interiores/exteriores
RFID: activo	20-100	0-1	500	∞	interiores/exteriores
RFID: pasivo	0.05-5	0-1	500	∞	interiores/exteriores

Tabla 2.2: Comparación de las distintas *técnicas de tracking* [DiVerdi y Hollerer, 2007; Papagiannakis et al., 2008].

podrán mostrar los objetos virtuales en el campo visual del observador mediante una transformación adecuada.

En general, el proceso de registración dependerá de la tecnología utilizada. Las técnicas de visión por computadora son comúnmente utilizadas al momento de registrar correctamente los elementos virtuales dado que corresponde a un enfoque que no tiene requerimientos de hardware excesivos, restringiéndose estos a una cámara y una computadora que se pueden encontrar en la mayoría de computadoras de escritorio o dispositivos móviles actuales. Mediante estas técnicas se busca la correspondencia de puntos pertenecientes al mundo real con los puntos de la imagen capturada por una cámara, de manera que se pueda obtener como resultado una escena aumentada correctamente registrada. La tecnología de registración tendrá en cuenta la información obtenida en base a la calibración de la cámara como también de las transformaciones que intervienen para situar los objetos virtuales. Para este proceso puntual de registración se considera el modelo clásico de cámara *pinhole*, en el que los datos que se obtienen mediante la calibración de la cámara son los conocidos como parámetros intrínsecos de la cámara, y los parámetros involucrados en las transformaciones son los conocidos como parámetros extrínsecos de la cámara.

Sin embargo, desde el punto de vista de un modelo de cámara perspectiva, se espeja una imagen en un plano que se encuentra frente al centro de proyección, conocido como el plano de proyección. A continuación mostraremos el fundamento matemático que vincula un punto 3D $\mathbf{M} = (X, Y, Z)^T$ que pertenece al mundo, con un punto 2D $\mathbf{m} = (x, y)^T$ que pertenece a este plano de proyección.

Como se ilustra en la Figura 2.6, este método de registración vincula un punto 3D $\mathbf{M} = (X, Y, Z)^T$ que pertenece al mundo, con un punto 2D $\mathbf{m} = (x, y)^T$ que pertenece al plano de proyección. Esta correspondencia \mathbf{m} ubicada en el plano de proyección consiste en la correcta ubicación del elemento virtual sobre la imagen capturada por la cámara.

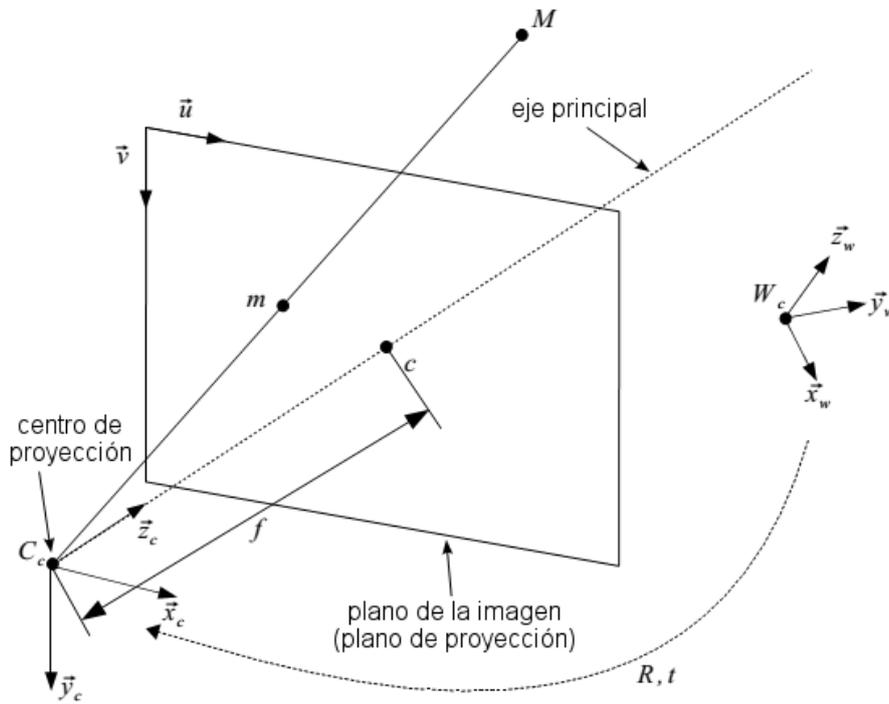


Figura 2.6: Modelo de cámara perspectiva [Wuest, 2009]. M es un punto 3D, m es una proyección en 2D sobre el plano de la imagen.

El punto 3D $\mathbf{M} = (X, Y, Z)^T$ está expresado en el sistema de coordenadas euclidiano $(W_c, \vec{x}_w, \vec{y}_w, \vec{z}_w)$, y es proyectado en un punto 2D representado en el sistema de coordenadas del plano de proyección (\vec{u}, \vec{v}) . Si $\tilde{\mathbf{m}} = (x, y, 1)^T$ y $\tilde{\mathbf{M}} = (X, Y, Z, 1)^T$ son las coordenadas homogéneas de \mathbf{m} y \mathbf{M} , la proyección puede ser escrita como

$$s\tilde{\mathbf{m}} = P\tilde{\mathbf{M}},$$

donde s es un factor de escala y P es una matriz de proyección de 3×4 . Esta ecuación muestra que la proyección de un punto $\tilde{\mathbf{M}}$ a un punto $\tilde{\mathbf{m}}$ perteneciente a la imagen 2D

es una combinación lineal en el espacio proyectivo. La matriz de proyección P es definida en base a un factor de escala, por lo que posee 11 grados de libertad. Estos consisten en los 6 parámetros extrínsecos de la cámara, que describen su orientación y traslación respecto al punto 3D en el mundo, junto con 5 parámetros intrínsecos, dependientes de los parámetros de calibración de la cámara.

Para notar estos parámetros intrínsecos de manera separada a los extrínsecos, la matriz de proyección P puede descomponerse de la siguiente manera:

$$P = K [R|\mathbf{t}],$$

donde K es una matriz de 3×3 de calibración, que depende de los parámetros intrínsecos de la cámara. La matriz de rotación R de 3×3 representa la orientación del sistema de coordenadas de la cámara, y el vector \mathbf{t} es una traslación en 3D desde el origen del sistema de coordenadas del mundo al origen del sistema de coordenadas de la cámara.

Por lo tanto, un punto 3D \tilde{M} en coordenadas homogéneas puede ser proyectado a un punto 2D en coordenadas homogéneas $\tilde{m}' = (\tilde{m}'_x, \tilde{m}'_y, \tilde{m}'_z)^T = s\tilde{\mathbf{m}}$ utilizando la siguiente ecuación:

$$\tilde{m}' = K [R|\mathbf{t}] \tilde{M}$$

Luego, las coordenadas euclidianas correspondientes al punto de la imagen $\mathbf{m} = (x, y)^T$ pueden calcularse a partir de eliminar de $\tilde{\mathbf{m}}'$ la componente homogénea de la siguiente manera:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\tilde{m}'_x}{\tilde{m}'_z} \\ \frac{\tilde{m}'_y}{\tilde{m}'_z} \end{pmatrix}$$

Parámetros intrínsecos

La matriz triangular superior K representa la transformación de un punto en el sistema de coordenadas de la cámara a un punto del plano de la imagen en coordenadas homogéneas. La matriz K también conocida como la matriz de calibración, depende de 5 parámetros y puede ser escrita como

$$K = \begin{pmatrix} f_u & s & u_0 \\ 0 & f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

donde (f_u, f_v) representa la longitud focal medida en pixels. En general en las cámaras modernas los pixels son cuadrados, por lo que ambas componentes de la longitud focal son iguales. El punto $c = (u_0, v_0)^T$ es el denominado punto principal en coordenadas de la imagen y representa la intersección del eje principal (semirrecta con origen en el centro de proyección y dirección \vec{z}_c positivo) y el plano de la imagen; usualmente se encuentra muy cercano al centro de la imagen. Finalmente, el parámetro s , conocido como el parámetro de sesgo o escala, es igual a cero en cámaras modernas. Solamente debería considerarse distinto de cero, en el caso en que las direcciones \vec{u} y \vec{v} no sean perpendiculares.

Parámetros extrínsecos

La matriz $[R|\mathbf{t}]$ de dimensión 3×4 representa la transformación euclidiana de un punto en coordenadas homogéneas \tilde{M} desde el sistema de coordenadas del mundo $(W_c, \vec{x}_w, \vec{y}_w, \vec{z}_w)$ al sistema de coordenadas de la cámara $(C_c, \vec{x}_c, \vec{y}_c, \vec{z}_c)$.

Un punto M 3D puede ser transformado al sistema coordenado de la cámara de la siguiente manera

$$M_c = [R|\mathbf{t}] \tilde{M} = RM + \mathbf{t}$$

Tanto la matriz de rotación R como el vector de traslación \mathbf{t} dependen de tres parámetros. Como describimos en la sección de *tracking*, éstos corresponden a los seis grados de libertad que definen la orientación y posición de la cámara. Por lo tanto, los *métodos de tracking* tendrán como objetivo estimar estos parámetros extrínsecos de la cámara.

Teniendo en cuenta que el centro de proyección C en el sistema de coordenadas del mundo es transformado al origen del sistema de coordenadas de la cámara, debe verificarse la ecuación $\mathbf{0} = RC + \mathbf{t}$. Entonces, el centro de proyección en coordenadas del mundo puede ser calculado como $\mathbf{C} = -R^T \mathbf{t}$.

Cálculo de los 6DOF

Considerando que los parámetros intrínsecos de la cámara son conocidos ¹¹ el proceso de obtener los 6DOF se reduce solamente a obtener los parámetros extrínsecos de la cámara. Dado un conjunto de n correspondencias entre puntos 3D del mundo y puntos 2D correspondientes al plano de la imagen, pueden estimarse los seis grados de libertad de la cámara.

Este cálculo ha sido estudiado extensivamente en la literatura, y los métodos empleados pueden agruparse en dos categorías: de aproximaciones iterativas o de no-iterativas. Los no-iterativos en general son utilizados sin una inicialización previa. Son comúnmente de mayor complejidad, y por lo tanto son utilizados para obtener una primera aproximación [Quan y Lan, 1999; Schweighofer y Pinz, 2006; Ansar y Daniilidis, 2003; Moreno-Noguer et al., 2007]. Por otro lado, los iterativos necesitan una primera estimación de los parámetros extrínsecos (que podrían ser calculados con un método no-iterativo). Normalmente se define una función de error dada una estimación de los parámetros, y se procede minimizando el error de manera iterativa [Lowe, 1991; Dementhon y Davis, 1995; Oberkampf et al., 1996; Lu et al., 2000; David et al., 2004].

2.3. Arquitectura General de un Sistema de RA

El relevamiento de varios sistemas de RA [Brügge et al., 2004] mostró que, a pesar de que los sistemas están fuertemente orientados a una determinada aplicación, la mayoría comparte una arquitectura básica común. En esta arquitectura se distinguen seis subsistemas principales como se puede ver en la Figura 2.7.

Los subsistemas identificados proveen las funcionalidades particulares más relevantes que constituyen el sistema completo de RA y que se detallan a continuación:

- *Subsistema de Aplicación:* este subsistema integra la lógica de la aplicación, provee los contenidos de la aplicación aumentada y las tareas específicas tales como el

¹¹En caso de no contar con una cámara moderna o si se quiere alcanzar un mayor grado de precisión, los parámetros intrínsecos deberían calcularse mediante los métodos conocidos como calibración de cámara. Estos pueden obtenerse utilizando patrones similares a un tablero de ajedrez de manera semi-automática con herramientas como Matlab [Bouguet, 2008] u OpenCV [OpenCV, 2015]. Un fundamento matemático de la calibración de cámara se puede encontrar en [Hartley y Zisserman, 2004].

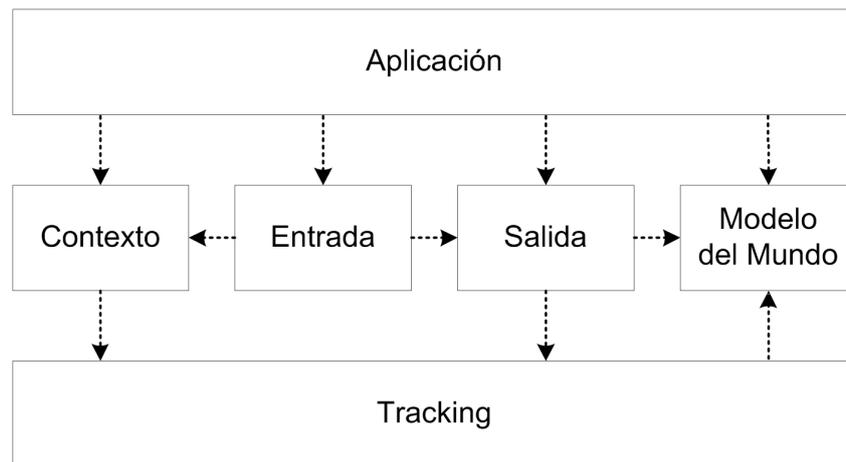


Figura 2.7: Arquitectura general de un sistema de RA detallando sus subsistemas y dependencias [Brügge et al., 2004].

acceso a bases de datos u otros sistemas.

- *Subsistema de Tracking:* este subsistema se encarga de obtener los 6DOF de un objeto o el usuario. Esta tarea requiere incluso realizar procesamiento en paralelo u otras tareas complementarias a la *técnica de tracking*.
- *Subsistema de Entrada:* este subsistema se ocupa de la recopilación y el procesamiento de todas las entradas que pueda generar el usuario. Este subsistema es realmente complejo en aplicaciones que requieren distintos tipos de modalidades de entrada (e.g. utilizar conjuntamente entradas por teclado, voz y del reconocimiento de las imágenes capturadas).
- *Subsistema de Salida:* este subsistema permite presentar el mundo aumentado al usuario, en algún display determinado. Además de las aumentaciones en 3D también es necesario, en muchos casos, suministrar distinto tipo de información, como lo es texto, imágenes 2D e incluso sonido.
- *Subsistema de Contexto:* éste es el subsistema encargado de recolectar distintos tipos de datos pertenecientes al contexto (e.g. preferencias del usuario, datos de sensores, información actual del usuario o el sistema, etc.) y de permitir que éstos estén disponibles a los otros subsistemas.
- *Subsistema del Modelo del Mundo:* usualmente el usuario interactúa con el mundo que lo rodea, del cuál obtiene información de los objetos pertenecientes a este mun-

do, que incluso pueden estar mapeados a objetos virtuales. Estas relaciones pueden llegar a ser realmente complejas o bien pueden requerir manejar potencialmente un gran volumen de información, necesitando de esta manera un subsistema encargado de almacenar y manejar todos estos datos.

Dentro de esta arquitectura de referencia existen ciertos atributos que deben ser tenidos en cuenta [Brügge et al., 2004; Reicher et al., 2003; MacWilliams et al., 2004]. Estos atributos pueden ser distinguidos en dos grupos, los que tienen que ver con el sistema en funcionamiento y los que no son percibidos en el uso del sistema.

Del primer grupo Brügge et al. [2004] mencionan como relevantes los atributos referidos al *desempeño*, como lo son la latencia del subsistema de *tracking* y de salida (e.g. soportar distintos dispositivos de *tracking* o manejar complejidad en las escenas presentadas). Otro atributo relevante es la *confiabilidad* de los datos, asegurando la repetibilidad y precisión de los datos de *tracking*. También se destacan atributos referidos a la *usabilidad*, como lo son el proveer información rica en contenidos, y a la *funcionalidad*, permitiendo que la aplicación soporte múltiples medios de entrada (e.g. entradas multimodales) o que no esté limitado el volumen de información a recolectar del ambiente.

Del otro grupo, se destacan atributos que no son observables en el sistema en funcionamiento, ya que no afectan directamente al usuario pero resultan de interés para los desarrolladores de las aplicaciones. Estos comprenden las características que permiten la *modificabilidad* del sistema, facilitando su adaptación a nuevos requerimientos, reutilización de sus componentes o el agregar componentes nuevos. Finalmente dos atributos importantes de la arquitectura son su *integrabilidad*, permitiendo que se soporte la integración con otros sistemas de RA, y su *facilidad de testeo*, garantizando la prueba individual de sus subsistemas o componentes aislados.

2.4. Aplicaciones

A través de los años, la comunidad científica y los desarrolladores, han explorado una gran variedad de áreas que pueden beneficiarse de la RA. Si bien los primeros campos de exploración estaban centrados en aplicaciones militares, industriales y médicas, rápidamente surgieron propuestas para los campos del turismo, publicidad, entretenimiento y educación entre otros. A continuación detallamos estas áreas de aplicación, y en particu-

lar, resaltamos el gran potencial que tiene la RA en aplicaciones dirigidas a la motivación en el aprendizaje y en la educación [Kirner et al., 2012].

2.4.1. Publicidad y Avisos Comerciales

La RA ha sido utilizada con frecuencia para promocionar nuevos productos comerciales a través de internet. La mayoría de estos ejemplos utilizan marcadores de manera que ingresando al sitio web de la compañía o utilizando un software particular, los usuarios simplemente presentan estos marcadores frente a una cámara-web para observar los contenidos aumentados. Las compañías MINI ¹² y Toyota ¹³, por ejemplo, han utilizado esta estrategia para promocionar modelos de sus vehículos. Utilizando marcadores impresos en revistas o descargables desde sus respectivos sitios webs, el usuario simplemente debía presentar el marcador frente a la cámara-web y de esta forma podía apreciar modelos de automóviles en 3D en la pantalla de la computadora, como se puede ver en la Fig. 2.8(a)-(b).

Por otra parte, utilizando un concepto similar al de los dos ejemplos anteriores pero mediante *técnicas de tracking markerless*, se han usado las propias cajas de productos como es en el caso de Lego ¹⁴, donde se permitía visualizar modelos 3D correspondientes al contenido de las mismas (ver Fig. 2.8(c)). Siguiendo este concepto, McDonald's ¹⁵ utilizó cajas de sus productos en conjunto con una aplicación para dispositivos móviles llamada McDonald's GOL! ¹⁶ que permitía interactuar mediante un juego aumentado (ver Fig. 2.8(d)).

2.4.2. Medicina

El uso de la RA se ha destacado en esta área en lo que refiere a la información complementaria que se puede proveer mediante imágenes o mediante técnicas volumétricas en cirugía asistida. Se ha explorado, por ejemplo, cómo incorporar contenido aumentado mediante imágenes médicas o en simulación de la utilización del instrumental médico. Bichlmeier et al. [2007] introdujeron un sistema de RA para visualizar en tiempo real el

¹²<http://www.mini.com/>

¹³<http://www.toyota.com/>

¹⁴<http://www.lego.com/>

¹⁵<http://www.mcdonalds.com/>

¹⁶<https://www.qualcomm.com/products/vuforia/case-studies/mcdonalds-gol>

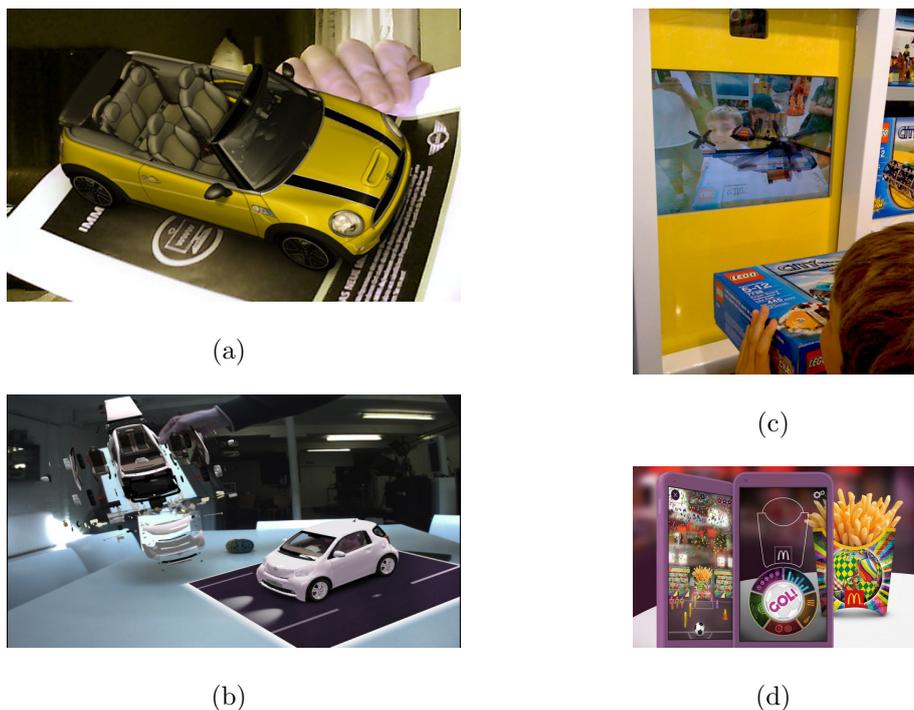


Figura 2.8: Aplicaciones comerciales utilizando *técnicas de tracking* con marcadores planos por MINI ¹² (a) y Toyota ¹³ (b). *Técnicas de tracking markerless* utilizadas por Lego ¹⁴ (c) y McDonald's ¹⁶ (d).

interior de la anatomía del paciente a través de la piel (ver Fig. 2.9(a)). En el trabajo de [Mountney et al., 2009] se muestra que este enfoque sigue siendo efectivo, proveyendo proyecciones en las imágenes capturadas por medio de un endoscopio para mostrar los sitios donde se realizaron biopsias previas (ver Fig. 2.9(b)). De manera similar, Nicolau et al. [2011] muestran los enfoques que pueden ser de utilidad en el tratamiento de cirugía mediante laparoscopia para casos oncológicos.

Se han investigado otras aplicaciones para obtener mejores soluciones a problemas que ya cuentan con un enfoque clásico. Por ejemplo, Luo et al. [2005] proveen un dispositivo de bajo costo y de menor tamaño que los usados comúnmente para asistir en la rehabilitación de lesiones de muñeca, que podría ser empleado en clínicas o incluso en el hogar del paciente. Otro caso similar es el uso de RA para ayudar a pacientes en el tratamiento de fobias; Juan et al. [2004, 2005b] muestran cómo puede ser utilizada para tratar la fobia a insectos como las cucarachas o las arañas (ver Fig. 2.9(c)-(d)). Más recientemente Chicchi Giglioli et al. [2015] presentan los desafíos de la RA para el tratamiento de desórdenes psicológicos.

No obstante, dado que esta área de aplicación requiere tecnologías altamente confiables

y robustas, es necesario perfeccionar tanto las tecnologías de *displays* como las de *tracking* y registración para lograr una adopción total de estas facilidades. Esto continúa siendo un desafío para la RA, como también lo es proveer herramientas que sean sencillas e intuitivas, de forma que no sea necesario un re-entrenamiento intensivo de los operarios de estas nuevas tecnologías.

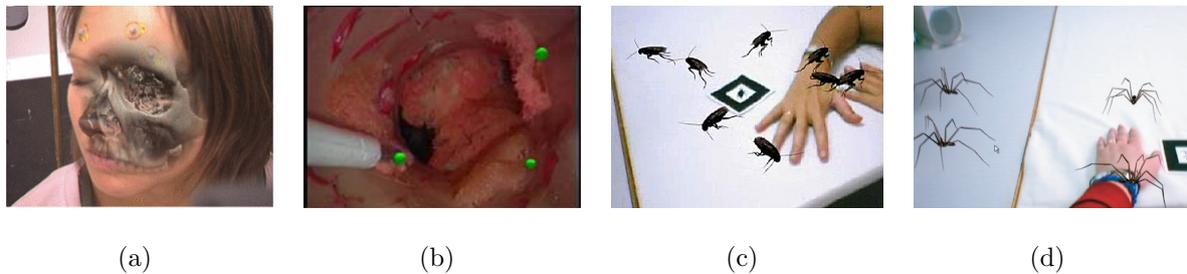


Figura 2.9: Aplicaciones médicas para superponer imágenes sobre el paciente (a) [Bichlmeier et al., 2007], sobre imágenes capturadas mediante endoscopio (b) [Mountney et al., 2009] y uso de RA en el tratamiento de fobias (c)-(d) [Juan et al., 2004, 2005b].

2.4.3. Navegación

La RA ha probado ser efectiva en la ayuda y asistencia a los usuarios para que éstos puedan desenvolverse con mayor facilidad en ambientes interiores [Elmqvist et al., 2006; Newman et al., 2006; Wang et al., 2012] y exteriores [Bell et al., 2002; Reitmayr y Drummond, 2006; Azuma et al., 2006]. También se ha investigado la utilización para la conducción de automóviles. Tonnis et al. [2005] propusieron el uso de avisos aumentados para alertar al conductor sobre peligros inminentes (ver Fig. 2.10(a)).

Gracias a la movilidad que ofrece el uso de RA en dispositivos como teléfonos inteligentes en conjunto con *técnicas de tracking* mediante GPS, se han realizado aportes en torno a la asistencia a peatones. Walther-Franks y Malaka [2008], por ejemplo, proponen un sistema para asistir a peatones utilizando un teléfono inteligente que les presenta aumentaciones de puntos de interés conjuntamente con el camino que deben seguir para llegar a los mismos (ver Fig. 2.10(c)). De manera similar, Krolewski y Gawrysiak [2011] presentan información respecto al transporte público dentro de la ciudad en la que se encuentra el usuario, proveyendo información en el *display* del teléfono (ver Fig. 2.10(b)). En [Rehrl et al., 2012] se realiza una comparación de las interfaces que utilizan reconocimiento de voz para la navegación de peatones mostrando que las interfaces que utilizan

solamente voz ofrecen una mejor experiencia de navegación (ver Fig. 2.10(d)).

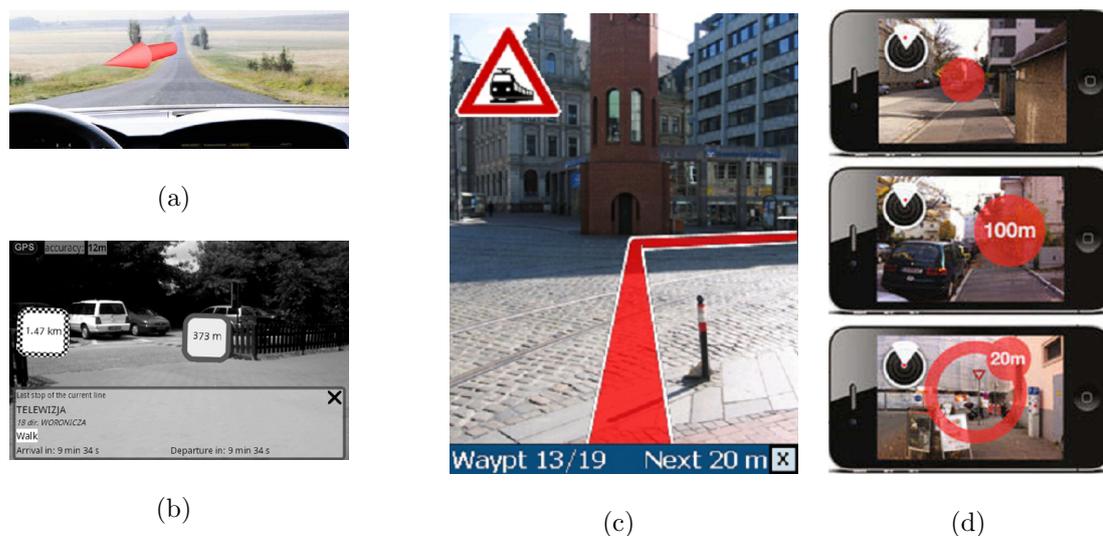


Figura 2.10: Usos de RA en navegación, mostrando advertencias en la conducción de automóviles (a) [Tonnis et al., 2005], asistencia para peatones mediante dispositivos móviles para encontrar transportes públicos (b) [Krolewski y Gawrysiak, 2011], seguir caminos (c) [Walther-Franks y Malaka, 2008] y encontrar distintos puntos de interés (d) [Rehrl et al., 2012].

2.4.4. Mantenimiento y Ensamblaje Industrial

Dentro del área industrial que comprende el diseño, ensamblaje y mantenimiento, la RA ha mostrado ser de utilidad en variadas aplicaciones a lo largo de los años. Estas actividades han sido llevadas a cabo, por ejemplo, en la industria automotriz por BMW al experimentar con RA para mejorar el proceso de soldadura en sus automóviles [Sandor y Klinker, 2005]. Pentenrieder et al. [2007] muestran cómo Volkswagen utiliza RA en la construcción para analizar líneas de producción y estaciones de trabajo, comparando la varianza de desempeños y verificando las distintas secciones involucradas.

En cuanto a los sistemas móviles, unos de los primeros utilizados en el mantenimiento e inspección industrial fue el introducido por [Gausemeier et al., 2003]. Mediante el uso de un PDA se realizaba *tracking* visual del ambiente, transmitiendo a un servidor las imágenes capturadas por la red instalada en la zona; posteriormente se enviaba la escena aumentada a este dispositivo móvil para ser mostrada. En este mismo ámbito, Vacchetti et al. [2004] introdujeron una aplicación que permitía interactuar con humanos virtua-

les en una escena real en la que se proveía entrenamiento a profesionales, obteniendo un resultado que excedía las características tradicionales de los videos de entrenamiento estándar. Webel et al. [2013] presentan un sistema de RA para el entrenamiento de operarios y técnicos en el mantenimiento y ensamblaje en ambientes de índole industrial utilizando una tableta. Varias aplicaciones similares se han propuesto utilizando dispositivos como HMDs [Goose et al., 2004; Riess et al., 2005] o teléfonos inteligentes [Rauhala et al., 2006]. Una revisión de la literatura respecto a este área puede encontrarse en [Nee et al., 2012].

2.4.5. Turismo y Patrimonio Cultural

El turismo puede beneficiarse de la RA principalmente gracias al uso del geo-posicionamiento. Bartie y Mackaness [2006] introdujeron un sistema de uso turístico que permitía explorar puntos de interés en zonas de Edimburgo, otorgando facilidades para interactuar con el reconocimiento de la voz. Choubassi et al. [2010] proponen un sistema de guía turística para dispositivos móviles. Una discusión de las implicancias que pueden tener la RA y la RV en las distintas áreas del turismo son descritas por Guttentag [2010].

Gracias a la posibilidad de acceder a diversas alternativas en cuanto a contenidos, la RA puede facilitar la visualización de ambientes que ya no existen hoy en día incorporando contenidos en 3D complejos para zonas que representen un patrimonio cultural. Se han utilizado aproximaciones con RA para proveer guías a turistas, como en el caso de un sitio perteneciente a Olimpia Grecia, permitiendo visualizar templos y edificaciones antiguas que no han perdurado físicamente a lo largo de los años [Vlahakis et al., 2002]. Este mismo enfoque se utilizó en Pompeya Italia, para visualizar personajes romanos de la antigüedad [Papagiannakis et al., 2005] y por Höllerer y Feiner [2004] que por medio de RA presentaron documentales sobre eventos históricos situados geográficamente en las zonas pertinentes a estos hechos.

2.4.6. Entretenimiento y Educación

Dentro del área del entretenimiento se han explotado las facilidades de la RA, introduciendo nuevas formas de interacción en torno a juegos para dispositivos móviles o computadoras personales. Un ejemplo de esto es el ARQuake [Piekarski y Thomas, 2002]

que, mediante dispositivos móviles, permitía combatir con enemigos virtuales en un ambiente real. Siguiendo este concepto, se han explorado tanto el diseño como la tecnología de varios juegos a ser jugados en ambientes exteriores utilizando RA móvil [Piekarski et al., 1999; Cheok et al., 2002; Crabtree et al., 2004]. También, se han explorado aplicaciones de entretenimiento para interiores [Hollerer et al., 1999; Tamura, 2002; Matysczok et al., 2004]. Magerkurth et al. [2005] presentan una revisión de los denominados *pervasive games* que hacen uso de la RA, es decir, juegos en los que participar implica desenvolverse íntegramente dentro del mundo real participando de manera espacial, temporal y social con otros jugadores (e.g espacios públicos como museos, shoppings o incluso una ciudad completa). Sin embargo muchos juegos aún hoy no alcanzan niveles convincentes de iluminación, registración y *tracking* por lo que éstos son actualmente temas abiertos de investigación en el campo de la RA.

Otras aplicaciones que han aprovechado de innumerables maneras las posibilidades de la RA gracias a sus características propias, son las relacionadas con la educación y el aprendizaje. Se han investigado diversas alternativas que evidencian gran potencial tanto para facilitar el aprendizaje [Martín-Gutiérrez et al., 2010; Serio et al., 2013; Rafal y Cellary, 2013] como para la motivación del mismo [Kirner et al., 2012]. Los ambientes aumentados que se pueden generar permiten a los estudiantes interactuar con ambos mundos, el real y el virtual, explorando objetos, aprendiendo nuevos conceptos, desarrollando habilidades y participando en actividades colaborativas. De hecho, la inmersión, la interacción y las facilidades de navegación posibilitan que las tecnologías basadas en RA jueguen un rol de importancia para mejorar la motivación [Serio et al., 2013], permitiendo el aprendizaje de manera experimental [Rafal y Cellary, 2013] o posibilitando desarrollar habilidades complejas de visualización e interacción espacial [Martín-Gutiérrez et al., 2010]. Todas estas características han generado la inclusión de muchos tipos de aplicaciones de RA orientadas a ambientes de aprendizaje, incluso para su uso regular en las aulas [Cuendet et al., 2013].

Gracias a las nuevas interfaces que se pueden generar utilizando RA, permitiendo acceder de diferentes maneras a la información, se ofrece la posibilidad de diseñar nuevas y mejores experiencias de aprendizaje. Santos et al. [2014] denominan a las aplicaciones de RA destinadas al aprendizaje y enseñanza como Experiencias de Aprendizaje de Realidad

dad Aumentada (EARA) ¹⁷. Varios autores han discutido algunas de las formas en las que se pueden implementar estas experiencias de aprendizaje aumentado para las distintas etapas de la educación, desde las pre-escolares hasta la educación superior. Chang et al. [2010] enumeran los diferentes contenidos que pueden aplicarse en los EARA y presentan varios ejemplos en distintas asignaturas tales como física, química, geografía y matemática incluyendo además ejemplos de juegos educativos para educación primaria. Adicionalmente Lee [2012] incluye el uso de aplicaciones de EARA para astronomía, biología, geometría y patrimonio cultural. Por otra parte, Billinghamurst y Dünser [2012] explican que los tipos de contenidos que pueden ser utilizados en ambientes de educación dependen de las facilidades otorgadas por la RA para:

1. ilustrar de manera más efectiva conceptos espaciales y temporales,
2. enfatizar relaciones contextuales entre los objetos reales y virtuales,
3. proveer interacciones intuitivas,
4. poder visualizar e interactuar en 3D,
5. establecer colaboración entre los participantes.

Como ejemplo de estas facilidades, Matsutomo et al. [2012] presentan una aplicación de EARA que permite incluir estas cinco características mencionadas. La aplicación es utilizada para interactuar con campos magnéticos virtuales, que son emanados de bloques impresos que actúan como imanes (ver Fig. 2.11(a)). Los estudiantes pueden mover el imán para visualizar cómo las diferentes posiciones afectan la forma del campo magnético. De esta manera las variaciones en los campos magnéticos son ilustradas en tiempo y espacio. El campo magnético se modifica respecto al movimiento de un imán cambiando de forma en base a la proximidad con el otro imán, estableciendo la relación entre el objeto real y virtual. Los imanes pueden ser manipulados con las manos proveyendo una interacción tangible que resulta natural a los estudiantes. Este tipo de aplicación permite la colaboración entre los participantes pudiendo éstos manipular de manera conjunta los objetos, a la vez que intercambian opiniones mientras aprenden los conceptos.

¹⁷Este concepto es una traducción del término original *Augmented Reality Learning Experiences* presentado por Santos et al. [2014].

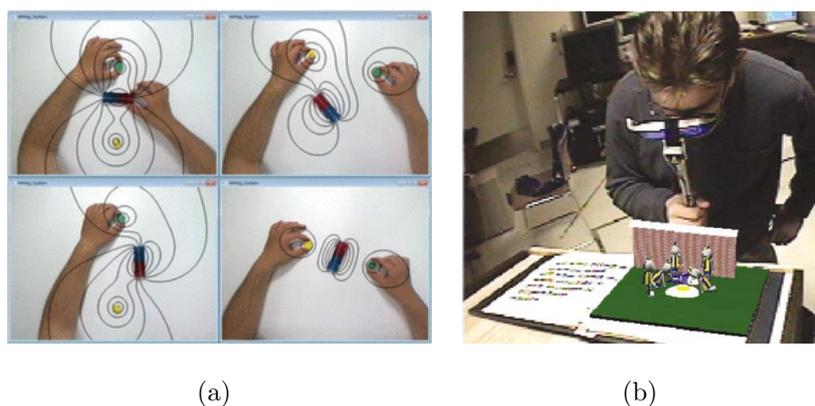


Figura 2.11: Aplicación para EARA propuesta por Matsutomo et al. [2012] (a) y la metáfora de *MagicBook* propuesta por Billinghurst et al. [2001a] (b).

Otro ejemplo de una aplicación de utilidad para educación que también reúne estas características, es el denominado *MagicBook* de Billinghurst et al. [2001a] (ver Fig. 2.11(b)). Utilizando libros tradicionales, pero que contienen marcadores planos impresos en sus páginas, los usuarios pueden interactuar con el libro de manera usual, volteando sus páginas, visualizando sus imágenes o leyendo el texto. Sin embargo, si contemplan las páginas del libro en un *display*, pueden visualizar el contenido virtual que aparece registrado sobre éstas. Lo interesante de este enfoque, es que las personas ya están familiarizadas con las metáforas del libro, y gracias a las cualidades de la RA, se complementan sus características, aumentándolas con contenidos digitales. Se han realizado varias propuestas de investigación en torno a la metáfora de *MagicBook* y éstas serán abordadas en el Capítulo 3.

2.5. Conclusiones y Limitaciones

Se ha definido conceptualmente la RA, una tecnología emergente que intenta mejorar nuestra percepción del mundo, agregando contenidos virtuales. También se detallaron los elementos esenciales que constituyen un sistema de RA y los campos en los que la RA ha demostrado gran potencial, resaltando de estas áreas la de entretenimiento y educación, ya que en la presente tesis presentaremos una nueva propuesta para libros aumentados siguiendo la metáfora de *MagicBook* introducida por Billinghurst et al. [2001a].

Más allá de la gran atención que la RA ha captado de la comunidad científica a lo largo de los últimos años, aún presenta limitaciones que impiden su adopción masiva

de manera natural. Algunos puntos que la RA debe superar son la aceptación social, el mejoramiento en el *sistema de tracking*, la fidelidad de las escenas aumentadas y la evaluación de las aplicaciones.

La aceptación social está vinculada a la necesidad de utilizar dispositivos que sean útiles, discretos y que no obstruyan el desempeño natural del usuario, características que hoy en día sólo poseen los dispositivos móviles gracias a su alcance masivo. Por otra parte, también se espera que para tener mayor grado de aceptación, las aplicaciones de RA no requieran de un complejo entrenamiento para su uso. Esto implica que se debe tener en cuenta la integración sencilla e intuitiva de estos sistemas, para no desestimar la tecnología debido a que el entrenamiento para usarla sea demasiado costoso.

Otro detalle relacionado con la aceptación social de esta tecnología, es la necesidad de contar con herramientas de autoría que permitan crear contenidos aumentados. Éste ha sido un factor limitante de la RA por varios años [Zhou et al., 2008], dado que la creación de aplicaciones y contenidos aumentados estaba solamente al alcance de programadores o técnicos especializados que pudieran utilizar las librerías de RA. Esta limitación se ha podido superar parcialmente con herramientas como [Vuforia, 2014] y [Metaio, 2014] que permiten crear contenidos aumentados. Sin embargo, estas opciones todavía distan de ser herramientas que cumplan con todas las facilidades necesarias para las diferentes aplicaciones de RA, ya que están enfocadas solamente a crear contenidos mediante dispositivos móviles de una manera muy general.

En lo que respecta a la necesidad de mejoras en los *sistemas de tracking* la tendencia en las aplicaciones de RA actuales, es que la mejor solución que se vislumbra es la combinación de distintos *sistemas de tracking* (por ejemplo visión por computador en conjunto con sensores como giroscopios y/o acelerómetros). Sin embargo estos métodos están bien diferenciados para aplicaciones de interiores y exteriores debido a los requerimientos necesarios. En aplicaciones de interiores no es un inconveniente utilizar métodos que requieran un *setup*/calibración inicial o cuenten con rangos de operación limitados; sin embargo, para las aplicaciones de exteriores, generalmente se utilizan sistemas de posicionamiento global, que en su mayoría resultan imprecisos para ambientes acotados como lo sería la habitación de un hogar. No obstante, todavía es un tema de investigación el obtener *técnicas de tracking* que no incurran en errores notables de registración (i.e. los contenidos aumentados no se perciben correctamente situados en el mundo real) o

de resistencia a los movimientos rápidos que cambien la perspectiva de la imagen [Park et al., 2009, 2012].

En lo que respecta a las escenas aumentadas, el resultado que se obtiene como mundo aumentado todavía carece de la fidelidad necesaria para asemejarse al mundo real; en lo concerniente a la iluminación un avance lo constituiría el contar con un registro de iluminación que resulte realista [Knecht et al., 2010, 2011; Kuhlreiber et al., 2011]. Otro punto de actual investigación que agrega realismo a la escena, es el tratamiento de la oclusión de objetos [Wloka y Anderson, 1995; Shah et al., 2012]. Con esto nos referimos a elementos virtuales que estén totalmente integrados a la escena contemplando la ubicación con respecto a otros elementos físicos, que se podrían superponer parcialmente al objeto virtual. Relacionado con este punto, debe mencionarse que las aplicaciones actuales también carecen de la inclusión de otros fenómenos o leyes físicas (e.g. sombras), que puedan afectar la integración de los objetos virtuales [Arief et al., 2012; Kolivand y Sunar, 2014].

Finalmente, desde el punto de vista del desarrollo de las aplicaciones de RA, un tema abierto es la obtención de métodos de evaluación estandarizados [Dünser y Billingham, 2011]. Las diferentes aproximaciones propuestas por la comunidad científica utilizan distintas maneras de evaluar una aplicación, y resulta difícil obtener puntos comunes entre los distintos resultados. Este punto tiene estrecha relación con la aceptación social de la RA, ya que es imperativo obtener buenos métodos de evaluación para las aplicaciones de RA, de manera que el usuario se vea realmente beneficiado por éstas. Este punto lo hemos tenido en cuenta para la evaluación de la aplicación desarrollada en la presente tesis y será contemplado en el Capítulo 6.

Capítulo 3

Libros Aumentados

Dada la característica de la RA de complementar la realidad, una aplicación que se ha consolidado es la de los *Libros Aumentados*. Un libro aumentado consiste en un libro tradicional, al que se le ha complementado su contenido con elementos virtuales superpuestos. De esta manera se mantienen todas las cualidades de los libros tradicionales, que a lo largo de los años diversos estudios han mostrado que la mayoría de lectores siguen considerando determinantes por sobre las nuevas tecnologías, tales como las de libros electrónicos y sus dispositivos dedicados. Gracias a la RA, estas cualidades son potenciadas con las facilidades de los contenidos digitales, tales como la posibilidad de mirar videos o modelos en 3D asociados a los contenidos del libro y el hecho de poder desarrollar interacciones que permitan establecer nuevas formas de entretenimiento o facilitar el aprendizaje de conceptos complejos, entre otras. Este tipo de interfaz sigue la metáfora del *MagicBook* introducida por Billinghurst et al. [2001a].

En el presente capítulo exploramos el concepto de libro aumentado, detallando los antecedentes y describiendo el diseño de los mismos. En base a esto analizaremos cuáles son sus limitaciones actuales.

3.1. Descripción

Consideramos que un libro aumentado consiste en un libro tradicional, de papel impreso y encuadernado de alguna manera, al que se le integra la RA de alguna forma, por ejemplo incluyendo en sus páginas marcadores planos que puedan ser utilizados por el *sistema de tracking*. Este concepto no es nuevo y se remonta al trabajo de Rekimoto [1998],

donde se introdujo un sistema de marcadores planos proponiendo como ejemplo de uso su incorporación dentro de un libro para mostrar un sistema de moléculas al estilo de un libro *pop-up*¹. Sin embargo, un concepto más preciso de lo que actualmente se considera un libro aumentado lo introdujeron un par de años más tarde Billingham et al. [2001a], con lo que denominan la metáfora de *MagicBook*. Ésta se centraba en cómo mejorar visualmente el contenido de los libros mediante el uso de RA, describiendo cómo introducir contenidos virtuales en 3D o animaciones que estaban registrados en las páginas físicas del libro, formalizando y extendiendo digitalmente la idea de libro *pop-up*.

En este trabajo, en la metáfora se destacaba el ambiente de lectura inmersiva que se podía lograr al utilizar un dispositivo HMD (ver Fig.2.11(b) del Capítulo 2) para contemplar las páginas del libro, a la vez que se permitía que múltiples usuarios vean la misma escena aumentada. En este aporte se resaltaba que se podrían mantener las cualidades del libro sin utilizar ningún dispositivo extra; no obstante, al usar el *display* de un HMD los usuarios percibían una escena virtual, contemplándola desde distintas perspectivas simplemente al visualizar el libro desde distintos ángulos. Estas escenas virtuales estaban asociadas a los marcadores previamente.

Si bien estas primeras aproximaciones se basaban en libros aumentados visualmente, un libro puede aumentarse de diferentes maneras, permitiendo explorar un sinnúmero de nuevas alternativas que potencien las actividades vinculadas al libro y a su lectura. Esto lleva a extender el concepto inicial de libro aumentado y a definirlo más ampliamente como un libro tradicional al que se le integran diferentes tecnologías, como por ejemplo la RA, aumentando de alguna forma su contenido.

3.2. Antecedentes

En base a la metáfora de *MagicBook* se han introducido aplicaciones de libros aumentados para distintas áreas, ya sea para demostraciones o para presentar distintas contribuciones de las tecnologías relacionadas (e.g. nuevos métodos de *tracking* como los marcadores denominados *markerless*). No obstante, además de las aplicaciones de los libros aumentados, se han explorado otras alternativas que intentan aumentar las capa-

¹Con este término nos referimos a un tipo de libro especial que al abrirlo sus hojas despliegan figuras de papel que sobresalen de las páginas, creando la sensación de elementos en tres dimensiones.

idades de los libros o los textos impresos sin utilizar la RA propiamente dicha. Estas alternativas constituyen un amplio espectro de las mejoras que se le pueden integrar a un libro, en pos de aumentar sus capacidades.

En base a esto, podemos replantear la idea de aumentar un libro desde una perspectiva más amplia. Es importante destacar que las propiedades que posee un libro no deberían ser suprimidas ni reemplazadas por las nuevas características a incorporar. Existen distintas tecnologías que permiten obtener un libro con nuevas capacidades, en base a la integración del papel y de la información digital [Signer, 2008]. Por un lado, existen las tecnologías que apuntan a mejorar la lectura, y en las que el foco está puesto en la lectura de papel digitalizado. Por otra parte, existen tecnologías que intentan mejorar la escritura mediante procesos digitales. También existen las tecnologías que no pueden incluirse en su totalidad en ninguna de las dos anteriores, ya que en realidad combinan cierto grado de mejoramiento de la escritura y de la lectura al mismo tiempo. En general se puede decir que un libro o documento se puede aumentar, desde la entrada, en el sentido *papel-a-computadora* y desde la salida, en el sentido *computadora-a-papel* (ver Fig. 3.1).

Aumentar el libro en el sentido *papel-a-computadora* corresponde a considerar como entrada el libro y obtener la aumentación correspondiente mediante alguna herramienta tecnológica adicional, como por ejemplo, el *display* de una computadora; en este caso es necesario contar con tecnologías para identificar, asociar y manejar la información. Cuando se considera aumentar en el sentido *computadora-a-papel* se utiliza tecnología integrada o plasmada sobre el papel del libro; las tecnologías utilizadas en este caso incluyen por ejemplo proyectores o dispositivos electrónicos.

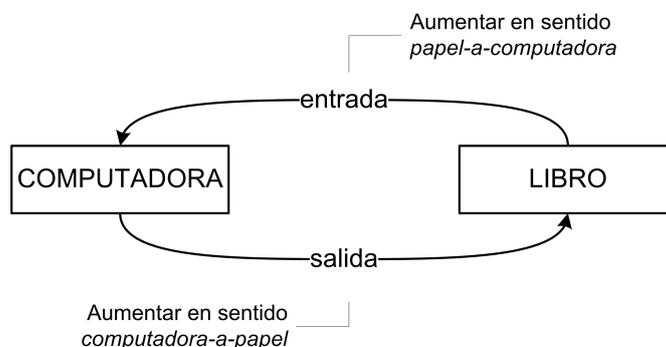


Figura 3.1: Las dos posibles direcciones para aumentar un libro.

3.2.1. Diferentes Tecnologías para Aumentar Libros

Una forma básica de entrada *papel-a-computadora*, consistiría en digitalizar el contenido mediante un escáner, de manera que mediante el reconocimiento óptico de los caracteres [Plamondon y Srihari, 2000] pueda pasarse del texto impreso a una representación que puedan comprender las computadoras. Dispositivos como los escáneres de escritorio o de mano son accesibles a cualquier tipo de usuario en general y pueden utilizarse para digitalizar grandes volúmenes de documentos. Sin embargo, este proceso es bastante restrictivo para obtener aplicaciones interactivas.

Por otra parte, para poder integrar contenido digital a un libro o papel es necesario poder identificarlo unívocamente. Para esto puede utilizarse una etiqueta que pueda ser identificada por una computadora. Puede considerarse una etiqueta que sea reconocida de manera óptica, como es el caso de los códigos de barra dispuestos de manera lineal; la codificación EAN 13 ² es utilizada a nivel mundial para identificar productos, como por ejemplo es el caso de los libros comerciales mediante el ISBN ³. También se pueden considerar los códigos de dos dimensiones que, además de la identificación, permiten obtener metadatos como en el caso de los códigos QR ⁴ o posicionar objetos en 3D como en el caso de los marcadores planos utilizados en RA. Otra opción sería utilizar elementos de radiofrecuencia mediante los tags RFID (ver Sección 2.2.2).

En el caso de la comunicación *computadora-a-papel* se han desarrollado distintas aplicaciones que permiten plasmar capacidades digitales en el papel. Una de éstas es la utilización de proyectores para mostrar contenidos sobre una superficie. Esto no solo sirve para simular pantallas sobre el escritorio, sino para superponer información digital sobre los objetos (de manera similar a la tecnología SAR). Esta metáfora de escritorio aumentado se puede remontar al trabajo denominado *DigitalDesk* [Newman y Wellner, 1992; Wellner, 1993] (ver Fig. 3.2(a)-(b)). En éste se consideraba contar con una cámara que permitía capturar tanto el escritorio como las interacciones que el usuario realizaba con los documentos. Mediante un proyector se podía mostrar información adicional, como por ejemplo una calculadora virtual [Wellner, 1991].

Este concepto ha sido estudiado ampliamente hasta lograrse implementaciones más

²Especificación de los símbolos utilizados en el código de barras ISO/IEC Standard 15420:2000.

³El *ISBN* (*International Standard Book Number*) es un identificador único asignado a los libros comerciales.

⁴Un código QR (*quick response code*) es un código de barras matricial para almacenar información.

maduras como es el caso del denominado *Microsoft Surface* ⁵, en la que se proyecta información sobre displays pasivos [Izadi et al., 2008] (ver Fig. 3.2(c)-(d)). Se utilizan superficies semitransparentes que permiten proyectar desde abajo hacia la superficie obteniéndose de este modo un escritorio interactivo. El inconveniente de estas aproximaciones es su portabilidad, ya que restringen la movilidad que poseen el libro o los documentos impresos a ser utilizados sobre esta superficie acotada.

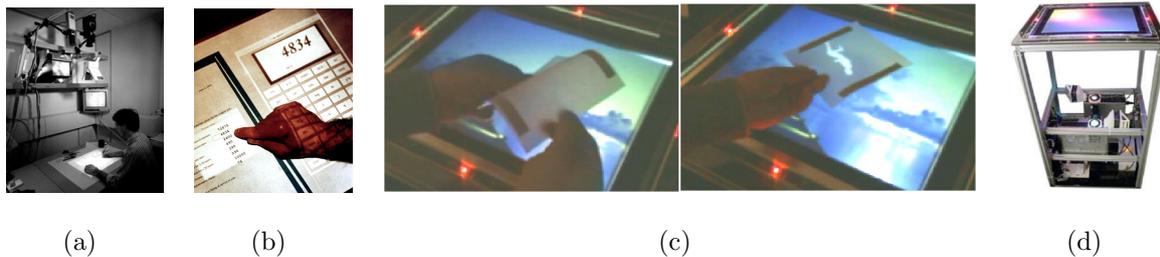


Figura 3.2: El *DigitalDesk* de Wellner [1993] (a) y una aplicación de calculadora sobre éste (b) [Wellner, 1991]. El concepto de *Microsoft Surface* (c)-(d) [Izadi et al., 2008].

Finalmente es importante mencionar la existencia de otro tipo de tecnología que elimina la separación entre el papel y el hardware, proponiendo un dispositivo que reemplaza al papel. El *electronic paper* o *papel electrónico* intenta reemplazar el papel impreso tradicional, utilizando la denominada tinta electrónica [Terry, 2001]. Como ilustra la Figura 3.3, utilizando microcápsulas que contienen partículas blancas y negras cargadas de manera positiva y negativa respectivamente, se generan puntos negros o blancos dependiendo del campo eléctrico aplicado en la base de estas microcápsulas. Estos dispositivos de papel electrónico son los conocidos como *e-readers*, como por ejemplo el Sony Reader ⁶ o el Kindle de Amazon ⁷.

Una de las ventajas de estos dispositivos es que el *display* no emite luz, permitiendo una lectura más cercana al papel real; otra ventaja adicional es el poder realizar una búsqueda rápida de palabras. Sin embargo, como puntos negativos de esta tecnología se considera el tiempo de refresco de pantalla mayor que en un *display* común (e.g pantalla de tableta o teléfono inteligente) y la restricción de uso debido a la batería, pero sobre todo, el perder las cualidades de los libros que son valoradas por sus lectores, como por ejemplo, voltear sus páginas o el uso de múltiples libros al mismo tiempo. Esto último

⁵Más recientemente renombrado como *PixelSense*, <https://www.microsoft.com/en-us/pixelsense/>

⁶<http://www.sony.es/electronics/reader/t/reader>

⁷<https://kindle.amazon.com/>

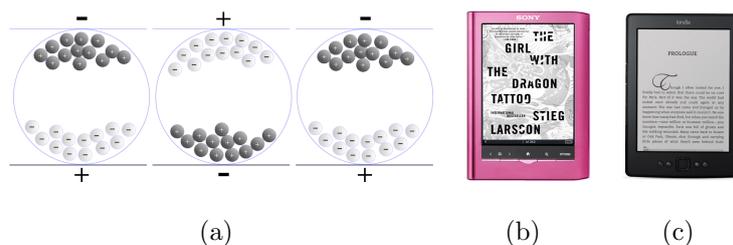


Figura 3.3: El concepto de tinta electrónica (a) y dos ejemplos de *e-readers* de Sony ⁶ (b) y Amazon ⁷ (c).

resulta poco práctico con estos dispositivos debido al costo asociado a cada unidad.

3.2.2. Libros de RA

Utilizando la metáfora de *MagicBook* se han propuesto diferentes tipos de libros visualmente aumentados en diferentes áreas: química [Asai et al., 2005], ciencia [Woods et al., 2004], patrimonio cultural [Walczak y Wojciechowski, 2005] y entretenimiento [Juan et al., 2005a] entre otras. Mediante el uso de libros aumentados se ha explorado cómo complementar este concepto utilizando otros tipos de control, como es el caso de [Nischelwitzer et al., 2007], que introduce un controlador físico para interactuar con las aumentaciones. También se ha estudiado el uso de elementos físicos que puedan manipularse con el libro para interactuar de distintas formas que motiven el aprendizaje [Ha et al., 2011].

Los libros aumentados también han sido evaluados considerando sus características en lo que respecta a la mejora del aprendizaje. En el trabajo de [McKenzie y Darnell, 2004] se resaltó, por primera vez, el potencial de estos libros para mejorar el aprendizaje dada la posibilidad de enriquecer el contenido de los mismos. Dünser y Hornecker [2007] estudiaron cómo interactuaban niños de seis a siete años con libros aumentados, concluyendo distintas características a tener en cuenta en lectores de estas edades tempranas. Otro trabajo más reciente [Cheng y Tsai, 2014] analiza la interacción resultante con un libro aumentado por parte de niños de seis a ocho años en la realización de tareas con sus padres de manera conjunta, donde se resaltan diferentes patrones de comportamiento que se utilizaban en los trabajos realizados con estos libros.

Se han realizado también estudios enfocados en el aprendizaje de conceptos más complejos. Por ejemplo Gutiérrez y Fernández [2014] presentaron el uso de un libro aumentado

con el que se pretende mejorar la motivación en el aprendizaje de conceptos de mecánica, para ser utilizado por alumnos de ingeniería. Se han documentado efectos en el aprendizaje [Dünser et al., 2012b; Lin et al., 2013], al menos en cierto grado, en lo que respecta a mejoras en la retención cognitiva de los estudiantes en áreas como las habilidades espaciales [Martín-Gutiérrez et al., 2010], abordajes conceptuales [Shelton y Stevens, 2004] y habilidades lingüísticas [Liu, 2009].

Estos libros se generan específicamente para alcanzar un objetivo específico en un área en particular. De esta manera surge la necesidad de contar con una herramienta que permita personalizar las aumentaciones, incluso considerando la posibilidad de generar de manera completa un libro aumentado. Este tipo de complementos son conocidos como herramientas de autoría; éstas han sido estudiadas en varios trabajos que contemplan el proceso de creación de libros aumentados [Grasset et al., 2008; Kirner et al., 2012] analizándose las características a tener en cuenta y proponiendo herramientas a ser utilizadas por usuarios sin conocimientos técnicos específicos [Jee et al., 2011]. Incluso se han estudiado alternativas con interacciones más sofisticadas como el caso de Ha et al. [2010] que proponen una herramienta de autoría que utiliza RA y elementos tangibles, argumentando que se obtiene una aplicación de autoría más inmersiva e intuitiva para el usuario. No obstante, estos trabajos no han abordado cómo podría generarse un libro aumentado a partir de un libro ya existente. Esta limitación ha sido abordada de manera parcial [Grasset et al., 2007; Park et al., 2010], donde por ejemplo no se plantean evaluaciones robustas que permitan medir cuán general o adaptable resulta el enfoque propuesto para tener en cuenta las diferentes características que se pueden encontrar en distintos tipos de libros pre-existentes (e.g. características físicas de encuadernación).

3.2.3. Tracking sobre Libros Aumentados

Los libros aumentados han sido utilizados en varios trabajos de investigación como caso de estudio para desarrollar nuevas *técnicas de tracking* o para presentar interfaces más naturales utilizando los marcadores conocidos como *markerless* [Dias, 2009]. Taketa et al. [2007] son de los primeros en discutir el uso de características *markerless* en los libros aumentados. Proponen el uso de *template matching*⁸ con las páginas de un libro,

⁸El *template matching* es una técnica de procesamiento de imágenes que consiste en buscar la coincidencia de pequeñas porciones de una imagen en otra.

tanto para reconocer la página como para calcular los 6DOF.

Kim et al. [2009] utilizan un enfoque basado en puntos de interés de una imagen dividido en dos etapas, una aproximación fina basada en SIFT, implicando una gran cantidad de procesamiento, y por otra parte una aproximación gruesa, utilizando FAST, llevando a cabo un procesamiento más liviano. Sin embargo una de las desventajas es la baja cantidad de páginas que se podían almacenar para su reconocimiento. Refinaron este método utilizando *kd-trees* [Lowe, 2004] y *vocabulary trees* [Nister y Stewenius, 2006] para mejorar los puntos almacenados y la cantidad de imágenes a reconocer de manera rápida, alcanzando más de 300 imágenes sin pérdida significativa de desempeño [Kim et al., 2010].

Si bien estos métodos se basan en la utilización de alguna imagen distintiva de libros, se han abordado otras aproximaciones que utilizan el texto de las páginas para identificar y obtener los 6DOF. Nakai et al. [2006] desarrollaron un método denominado *Locally Likely Arrangement Hashing (LLAH)* que permite extraer puntos de interés del texto utilizando las palabras perteneciente a las páginas de un documento. Sin embargo, este método tiene la restricción de que las imágenes capturadas debían ser frontales a las páginas del libro, restringiendo el movimiento de la cámara. Uchiyama y Saito [2009] extienden el método LLAH para poder capturar los puntos de interés desde varios ángulos de visión, mostrando su utilización para aumentar páginas de un documento impreso. Park y Woo [2011] proponen combinar los puntos de interés extraídos del texto y las imágenes presentes en la página, obteniendo mejores resultados al utilizar FAST+SURF en las regiones de ilustraciones y LLAH en el texto.

3.3. Libros Aumentados: Características y Diseño

Habiendo expuesto los antecedentes de los libros aumentados, definiremos ahora sus características. Grasset et al. [2008] han explorado las consideraciones de diseño que implica la generación de un libro aumentado y destacan cinco aspectos relevantes que deben ser abordados en el diseño del mismo. Los aspectos que consideran son las diferentes clasificaciones para los libros aumentados, los contenidos aumentados que pueden incorporarse, las consideraciones de registración espacial, las distintas disposiciones del contenido aumentado y finalmente introducen brevemente ciertos aspectos referentes a la

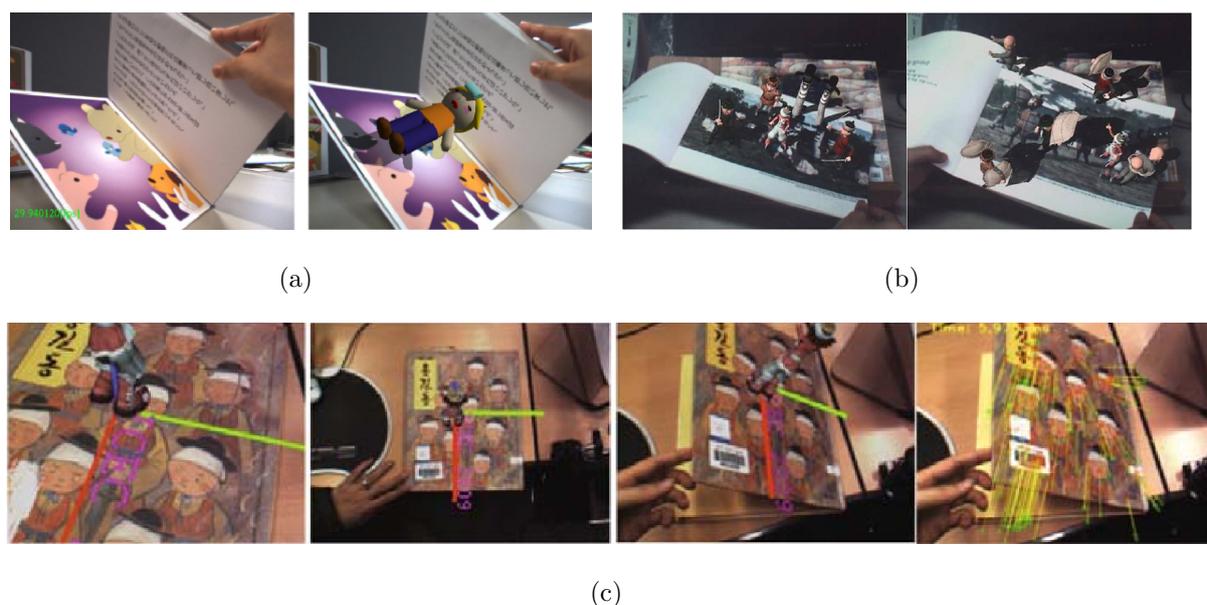


Figura 3.4: Ejemplos de *técnicas de tracking markerless* en libros propuestas por Taketa et al. [2007] (a), Kim et al. [2010] (b) y Kim et al. [2009] (c).

interacción con estos libros.

3.3.1. Clasificación de Libros Aumentados

El desarrollo de un libro aumentado puede categorizarse de varias maneras. Grasset et al. [2008], por ejemplo, basándose en las características de los objetos tangibles descritas por Underkoffler e Ishii [1999]⁹ y el *Reality-Virtuality Continuum* de Milgram y Kishino [1994], proponen clasificar un libro aumentado en base al grado de integración virtual y físico de sus elementos (ver Fig. 3.5). De esta manera, clasifican como libro virtual al libro completamente digital, sacrificando sus componentes físicas y como libro aumentado al libro físico tradicional que es utilizado como interfaz para aumentar sus contenidos virtualmente. Luego definen como *libro de realidad mixta*, al que integra de manera más natural el contenido físico y el virtual (e.g. no expone el *sistema de tracking* utilizado). Sin embargo esta clasificación no ha prosperado debido a la rigidez de la misma, y se considera, como describimos anteriormente, a un libro aumentado como un concepto más amplio.

No obstante, proponen otros enfoques para clasificarlos basándose en las característi-

⁹En este trabajo establecían que los objetos tangibles pueden tener un significado y funcionalidad asociada que es interpretada por el usuario de manera rápida y natural.



Figura 3.5: Clasificación propuesta por Grasset et al. [2008] para libros aumentados en base al *Reality-Virtuality Continuum*.

cas de los mismos, como por ejemplo considerando la disposición del contenido aumentado en función del contenido impreso. Como muestra la Figura 3.6, se proponen tres disposiciones que clasifican al libro aumentado en:

- *Versión básica:* el libro posee solamente contenido virtual. En este caso se mantiene el contenedor físico, es decir el libro sin contenido, contando con todas sus características adicionales, aunque el contenido será únicamente virtual.
- *Versión lado-por-lado:* El libro es diseñado con contenido real y virtual de manera espacialmente equitativa. Esta disposición es útil para mostrar animaciones o videos , contándose una página completa para el contenido virtual, y otra para el contenido real o impreso (e.g. texto), de manera que ambas se encuentran contiguas pudiendo ser visualizadas al mismo tiempo. Esta configuración resulta útil también para interactuar con objetos tangibles.
- *Versión integrada:* el libro contiene contenido virtual y real que están espacialmente integrados de manera natural, de modo que el contenido impreso y el *sistema de tracking* utilizado están completamente integrados. Se puede utilizar tecnología de *tracking markerless* o incluir los marcadores en las inmediaciones del texto.

Además de las clasificaciones anteriores, podemos destacar dos adicionales que tienen en cuenta respectivamente las tecnologías empleadas para aumentar el libro y la modalidad de interacción que soporta el libro aumentado. En cuanto a las tecnologías podemos discriminar:

- *Sensores integrados:* con esto nos referimos al tipo de libros aumentados que necesitan incorporar cierto dispositivo electrónico para poder aumentarlos (como es el

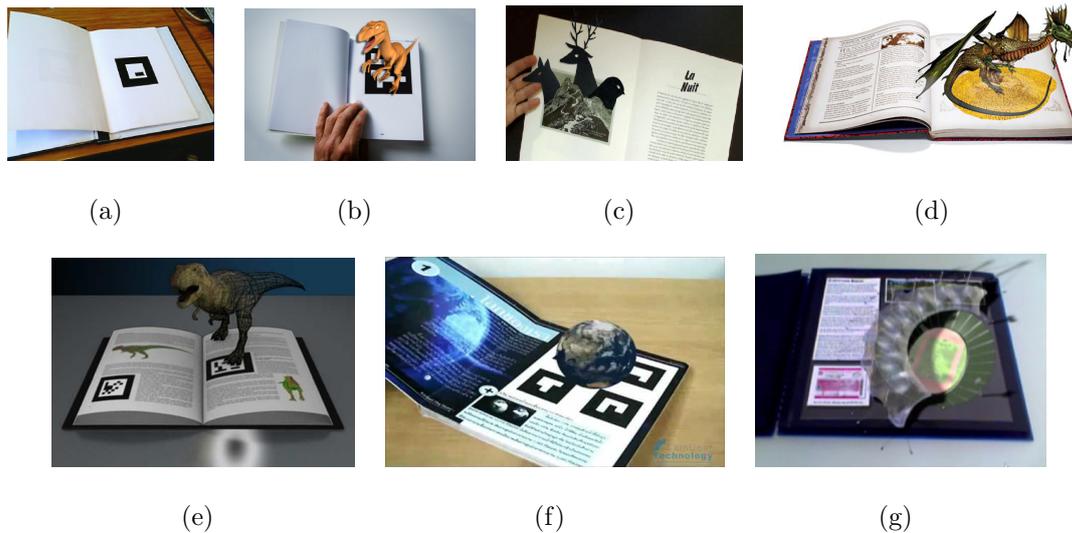


Figura 3.6: Ejemplos de libros aumentados en base a la disposición de su contenido virtual e impreso, considerados como versión básica (a)-(b), lado-por-lado (c)-(d) e integrada (e)-(g).

caso de las etiquetas RFID), en conjunto con los dispositivos externos necesarios para operarlos (e.g. un dispositivo que interprete estas etiquetas RFID).

- *Dispositivos especiales para lectura:* se requiere un dispositivo especial que permita visualizar el contenido aumentado (como es el caso clásico del *MagicBook* que requiere usar una cámara y un *display*).

Finalmente en cuanto a la interacción que soporta podemos clasificarlos en tres categorías que no son mutuamente excluyentes:

- *Aumentación auditiva:* soporta aumentaciones auditivas (e.g. sonidos o música).
- *Aumentación háptica:* soporta una realimentación perceptible de manera háptica, como lo sería un dispositivo que transmita vibraciones o la utilización de elementos tangibles [Ha et al., 2011].
- *Aumentación visual:* soporta los contenidos que aumentan visualmente el libro (e.g. animaciones, ilustraciones, modelos, etc.), que corresponde a la versión elemental de los libros aumentados que siguen la metáfora de *MagicBook*.

3.3.2. Contenidos Aumentados

Los contenidos que típicamente se incorporan a un libro se basan en elementos digitales que lo enriquecen visualmente. Entre éstos se destacan:

1. *Contenido 2D estático*: imágenes (fotos, ilustraciones, dibujos a mano alzada), esquemas, texto.
2. *Contenido 2D dinámico*: videos o animaciones.
3. *Contenido 3D*: modelos 3D estáticos, como pueden ser objetos o escenas, o modelos 3D dinámicos, como lo son los modelos que presentan animaciones o son interactivos.
4. *Sonidos*: si bien es un contenido que no aumenta visualmente al libro, en general, los anteriores pueden a su vez estar acompañados de sonidos, que pueden ser tanto sonidos puntuales como música o ruido de fondo como sonidos espaciales (sonido en 3D que, dependiendo de las acciones o ubicación del usuario, cambie interactivamente).

3.3.3. Registración Espacial

En general, al momento de incorporar una aumentación sobre las páginas del libro, se debe resolver la registración sobre las mismas. Con esto nos referimos al empleo de una *técnica de tracking* que considere diferentes restricciones en cuanto a la hoja. Como vimos previamente en los antecedentes, el uso de *sistemas de tracking* para libros aumentados ha sido investigado ampliamente, consolidándose en general para este tipo de aplicaciones un sistema óptico que permita obtener los 6DOF para registrar correctamente los objetos en base a las imágenes capturadas. En estos sistemas se puede distinguir el tratamiento que realizan en lo que respecta a la rigidez de las hojas del libro, es decir:

- *Superficie rígida*: se considera la página del libro totalmente plana, ignorando cualquier curvatura.
- *Curvatura en el pliegue*: se considera solamente la curvatura en el pliegue que se forma en la encuadernación de las hojas, permitiendo que el *sistema de tracking* contemple de manera aproximada la posible curvatura hacia el centro del libro.

- *Superficie flexible*: se considera la superficie como una superficie no-rígida, lo que implica que el *sistema de tracking* debe adaptarse completamente al cambio en el estado de las hojas.

En lo que respecta a este tipo de *sistemas de tracking*, otro detalle importante a considerar es la visibilidad de los marcadores empleados. Como se ilustra en la Figura 3.7, podemos definir tres maneras básicas de integrar los marcadores al libro:

- *Sistema de tracking invisible*: no existe interferencia alguna ya que se utilizan características propias del libro para registrar el contenido (i.e. *sistema de tracking markerless*).
- *Sistema de tracking visible en las inmediaciones*: se utiliza algún sistema visible al usuario, como es el caso de los marcadores planos blanco y negro, pero se ubican en las inmediaciones del libro.
- *Sistema de tracking visible integrado*: el sistema de tracking se integra al contenido, lo que implica que interfiere visualmente con el mismo ya que pertenece a las páginas del libro.

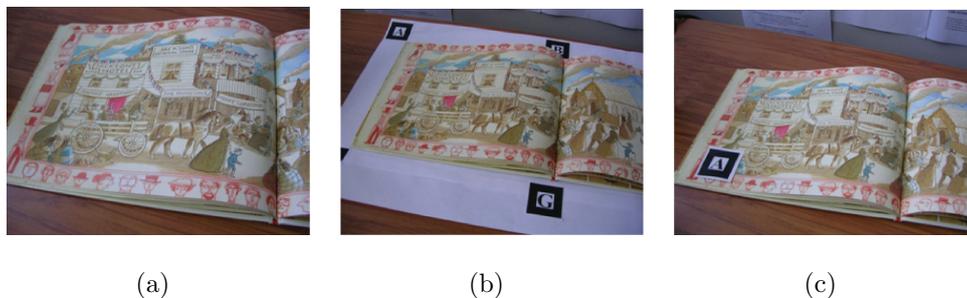


Figura 3.7: Ejemplos de distintos tipos de visibilidad de marcadores, invisible (a), visible en las inmediaciones (b) y visible integrado al libro (c).

3.3.4. Disposición del Contenido

En un libro tradicional, la disposición de la información impresa es en general limitada a una superficie en 2D plana (dejando de lado el caso de los libros conocidos como *pop-up*). En este contexto, un libro aumentado permite utilizar las páginas del mismo como un sistema de referencia para posicionar objetos virtuales sobre el espacio de estas hojas.

La disposición de estos objetos (ya sean elementos en 2D, 3D o incluso sonidos posicionales) puede ser definida por las transformaciones geométricas tradicionales, basadas en las transformaciones afines (traslación, rotación y escalado). De esta forma un objeto virtual, como por ejemplo una imagen, podría situarse de manera paralela a la superficie de la página o incluso de manera perpendicular a la página.

Sin embargo, también es posible crear relaciones entre el contenido de la página y el objeto virtual. Como se muestra en la Figura 3.8, a partir de una imagen impresa en la hoja es posible mejorar su contenido de manera que se integre con un contenido virtual, se puede ofrecer otra versión del mismo permitiendo replicarlo con mayor detalle espacial o directamente se puede reemplazarlo.

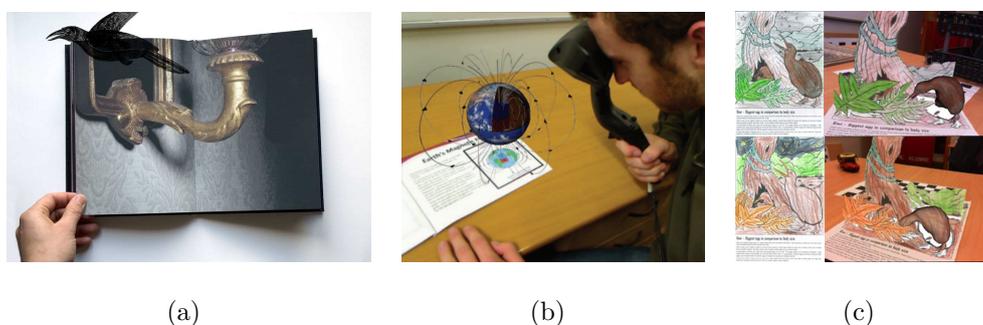


Figura 3.8: Distintas maneras de incorporar contenido virtual a las páginas del libro de manera que se integren ambos contenidos, mejorando el contenido impreso de las páginas (a) [Scherrer et al., 2008], replicando el contenido de las páginas (b) [Dünser et al., 2012b] o reemplazando el contenido de las páginas (c) [Clark y Dünser, 2012].

3.3.5. Interacción con el Libro Aumentado

Dentro del espacio de diseño de un libro aumentado se deben mantener las interacciones de un libro tradicional, por lo que la inclusión de nuevos elementos debe considerarse muy cuidadosamente para no perder estas ventajas propias del libro. En lo que respecta a las interacciones, Grasset et al. [2008] consideraron que se pueden definir distintos espacios de interacción que el usuario puede utilizar con el libro. El usuario puede interactuar con el contenido del libro, pero también puede incorporar elementos fuera del libro a las inmediaciones de éste. De una manera similar, el usuario puede tomar ciertos elementos que están dentro del libro para desplazarlos fuera de éste.

Incluso se puede considerar un mayor refinamiento contemplando las interacciones

que se pueden llevar a cabo en las inmediaciones del libro considerando: (1) interactuar con el contenedor físico, o (2) con el contenido del libro. Como ejemplo del primer caso, se podría inclinar el libro para afectar la física de un ambiente, como lo sería que gire un objeto de forma esférica. En lo que respecta al segundo grupo, Grasset et al. proponen tres sub-categorías de interacción: (i) interacción visual (mirar a cierto punto para interactuar con el contenido del libro), (ii) interacción con el dedo (mover o apuntar con partes de la mano para interactuar con el libro) e (iii) interacción tangible (posicionar o mover elementos tangibles para interactuar con el contenido del libro).

También se propone el uso de guías de interacción que le permiten al usuario interpretar correctamente cómo interactuar. Se consideran tres formas básicas de guiar al usuario: (i) no proveer guía alguna, (ii) proveer ayudas virtuales o (iii) proveer un elemento físico que lo guíe (por ejemplo una leyenda ya impresa en las páginas del libro).

Si bien éstos son algunos patrones y conceptos muy generales que se proponen para los libros aumentados, aún no existen modelos de interacción más formales tanto en el caso de los libros aumentados como en el de la RA en general.

3.4. Limitaciones

Los libros aumentados han sido explorado extensivamente por la comunidad científica. En sus orígenes han sido utilizados para demostraciones o aumentaciones puramente visuales y luego fueron exploradas cuestiones de diseño que expandieron las capacidades de estos libros, como por ejemplo, técnicas de *tracking* más naturales para el contexto del libro y algunas nuevas maneras de interactuar con el mismo. Sin embargo, los libros todavía presentan ciertas limitaciones que deben resolverse para que resulten una herramienta más accesible al usuario o al lector que no posee conocimientos específicos para relacionarse de manera fluida con esta tecnología. En lo que respecta a estas limitaciones podemos destacar que las tres más relevantes están relacionadas con las interacciones, las herramientas de autoría y los estudios de usabilidad en torno a los libros aumentados.

Interacciones

Como mencionamos, la gran ventaja de un libro aumentado es que retiene todas las cualidades físicas del libro tradicional dándole una relación especial con el lector. Las in-

novaciones tecnológicas han intentado capturar estas cualidades, tratando de potenciarlas con el contenido digital. Por ejemplo, se ha analizado la escritura mediante una computadora (i.e. mediante el teclado) concluyendo que resulta más eficiente sobre la escritura en papel [Fortunati y Vincent, 2014]. Sin embargo, la lectura sigue manteniéndose para muchos lectores más reconfortante utilizando un libro tradicional gracias a las cualidades de este medio impreso.

En base a esto, es de interés poder contar con una completa caracterización de las interacciones presentes en un libro, ya sea tradicional o aumentado, de manera que cualquier actividad que se pueda desarrollar con el mismo pueda describirse y modelarse para que posteriormente pueda implementarse y estar disponible en una aplicación de libro aumentado. Por lo tanto, una caracterización de las interacciones propias del libro que pueda emplearse de manera sistemática en la creación de aplicaciones de libros aumentados es una limitación que aún subsiste.

Herramientas de Autoría

Como mencionamos en el Capítulo 2, las librerías de libre acceso utilizadas para el *sistema de tracking* como ARToolKit [Kato y Billinghurst, 1999] o ARTag [Fiala, 2005], han posibilitado la creación de muchas aplicaciones de RA y la investigación al respecto. Sin embargo, el uso de estas librerías requería tener conocimiento técnico o específico de programación. Esto fue una gran limitación por mucho tiempo, habiendo generado la gran necesidad de contar con herramientas de autoría, es decir, con un software o sistema que permita crear una aplicación de RA de manera interactiva. Este ha sido un tema de estudio en los últimos años [Zhou et al., 2008].

Se han propuesto diversas herramientas para generar aplicaciones de libros aumentados [Grasset et al., 2008; Ha et al., 2010; Kirner et al., 2012; Matcha y Awang Rambli, 2012]. Sin embargo, éstas todavía poseen ciertas limitaciones en la manera en que estos libros y sus contenidos pueden compartirse con otros lectores. En algunos casos, es necesario instalar el software generado de manera completa en el dispositivo que va a utilizar el usuario. Debe señalarse que, en general éstas permiten crear un libro aumentado como un nuevo libro [Jee et al., 2011]. Esto significa que no permiten incorporar o convertir un libro tradicional en uno aumentado.

Por otra parte, el campo de la RA ya posee herramientas de autoría y desarrollo

[Metaio, 2014; Vuforia, 2014] que permiten al usuario crear e incorporar contenidos aumentados y compartirlos de manera sencilla. No obstante, si bien estas herramientas han demostrado ser efectivas para su utilización en publicidad o avisos comerciales, todavía se enfocan de manera muy general a la RA y por ello carecen de facilidades específicas necesarias para mejorar la experiencia en torno a los libros y su lectura.

Evaluaciones de Usabilidad

Un problema general de la RA, y por consiguiente, que afecta a las aplicaciones de libros aumentados, es la falta de lineamientos generales para conducir evaluaciones de sus aplicaciones [Dünser et al., 2008b; Dünser y Billingham, 2011]. Esto se transforma en una limitación de las aplicaciones de libros aumentados, ya que no existen metodologías que guíen la realización de evaluaciones robustas, permitiendo capturar información de importancia respecto a las interfaces aumentadas, de manera que sea sencillo comparar los resultados. Esto plantea la necesidad de contar con metodologías que guíen el proceso de investigación permitiendo obtener datos cuantitativos y cualitativos para evaluar cómo las cualidades del libro tradicional son soportadas por las características que introduce la aplicación de libros aumentados.

3.5. Conclusiones

Hemos presentado los libros aumentados como un ejemplo concreto en el que la RA puede aportar todos sus beneficios en pos de mejorar un elemento de la realidad. En este caso en particular, no solo complementa las capacidades de un libro tradicional agregando nuevos contenidos y/o interacciones dedicadas, sino que permite potenciar sus características propias, desde su simple lectura a la colaboración con otros lectores.

Considerando las cualidades que exhiben los libros aumentados y el gran esfuerzo que ha sido dedicado por parte de la comunidad científica a su diseño y generación, todavía presentan limitaciones que deben ser subsanadas. Por esto, en los siguientes capítulos proponemos abordar estas limitaciones y proveemos soluciones para obtener un libro aumentado que soporte:

- Una interacción natural que complemente la lectura y las características del libro tradicional.

- La aumentación de cualquier libro tradicional pre-existente.
- La creación y edición accesible/disponible a todos los lectores, sin que sea restringida a usuarios con conocimientos técnicos específicos.

Capítulo 4

Interacciones

Si bien la RA tiene una larga historia, gran parte de la investigación en este campo se ha centrado en las tecnologías que permitan establecer la experiencia de RA (como lo son los dispositivos de registración o visualización) en lugar de proveer métodos que faciliten u otorguen a los usuarios una mejor interacción con el contenido virtual suministrado. Esto ha sido contemplado con anterioridad por Ishii y Ullmer [1997], que mencionan que el campo de la RA ha estado concentrado precisamente en aumentaciones puramente visuales incluyendo grandes avances con las tecnologías de *tracking* y *display*, en tanto que las interacciones correspondientes a los entornos de RA han estado usualmente limitadas a buscar o simplemente a contemplar de manera pasiva la información virtual registrada en el mundo real.

Adicionalmente, Billinghurst et al. [2009] ratifican lo expresado por Ishii y Ullmer destacando que para facilitar el uso generalizado de las tecnologías de RA, es necesario explorar nuevos métodos de interacción que puedan proveer una experiencia de usuario mejorada. Billinghurst et al. también enfatizan que, en general, cuando se desarrolla una nueva interfaz tecnológica se atraviesa por las siguientes etapas: (i) demostración del prototipo; (ii) adopción de técnicas de interacción de metáforas correspondientes a otras interfaces; (iii) desarrollo de nuevas metáforas de interfaz apropiadas para el medio en cuestión; y (iv) desarrollo de modelos teóricos formales para interacciones de usuario. Del análisis de los trabajos realizados en RA y de lo expresado en estas etapas se concluye que la RA se encuentra atravesando las primeras dos, quedando como desafío transcurrir la tercera etapa, es decir, la de proponer nuevas interacciones propias a las aplicaciones de RA.

En este marco, resulta evidente la necesidad de contar con nuevas técnicas de interacción para aplicaciones de RA. En este capítulo detallamos el trabajo previo en interacciones sobre aplicaciones de RA y en particular sobre libros aumentados. Luego presentamos un análisis de las interacciones que involucran la combinación de un libro y la RA, y en base a esto definimos una clasificación de las interacciones de un libro aumentado que permita describir actividades de alto nivel en base a interacciones elementales. De esta manera, el objetivo del presente capítulo es:

- Definir nuevas interacciones que mediante RA complementan las propias de un libro.
- Definir una clasificación de las interacciones que provee un libro aumentado, posibilitando mediante ésta la caracterización de las actividades que se pueden realizar con este tipo de libros.

4.1. Las Interacciones en la RA

4.1.1. Concepto de Interacción

Previo a introducir las interacciones relacionadas a la RA, es importante comprender el concepto de interacción. Un área relacionada con la RA, de la que incluso proviene gran parte de su comunidad científica, es la de Interacción Humano Computadora (IHC). En este campo, Dix et al. [2003] describen la interacción como “la comunicación entre el usuario y el sistema”. Por otra parte, Becker et al. [1987] describían previamente de manera más operativa a la interacción como una manipulación directa y un cambio instantáneo asociado. Sin embargo, pese a estas definiciones que definen un *accionar*, más recientemente, desde el área de Visualización, se argumenta que la interacción puede ocurrir incluso sin un accionar explícito, como por ejemplo con imágenes estáticas [Spence, 2007].

Pike et al. [2009] argumentan que, en un nivel más elemental, la interacción puede considerarse como un conjunto de controles provistos al usuario para manipular una interfaz junto con la relación entre el usuario y dicha interfaz. A un nivel más abstracto, existe la interacción entre el usuario y el espacio del problema. En este nivel interviene un acto cognitivo que es facilitado por las herramientas informáticas, pero que no se

plasma exclusivamente dentro de éstas. Por esto la interacción puede considerarse como un concepto más amplio, que se puede producir tanto en el contexto de una herramienta de software como en la mente del usuario. Sin embargo es difícil puntualizar en qué consiste una interacción debido a su carácter abstracto; resulta más sencillo, y un concepto más tangible, especificar una técnica de interacción. Foley et al. [1995] por ejemplo definen una técnica de interacción como una forma de usar un dispositivo físico de entrada/salida para realizar una tarea genérica, que es plasmada como un diálogo entre humano-computadora.

En este ámbito de la IHC, se han propuesto diferentes modelos de interacción para caracterizar las distintas técnicas de interacción en base a las interfaces utilizadas. Un ejemplo de esto es el clásico modelo de interfaces denominado *WIMP* (*Windows, Icons, Menus, Pointers*), basado en principios simples provenientes del *Xerox Star interaction model* [Smith et al., 1982]. Más recientemente se han propuesto las interfaces denominadas post-WIMP [Van Dam, 1997], intentando denominar de este modo a una nueva generación de interfaces. Nielsen [1993b] sugirió por primera vez que las interfaces que van más allá de las clásicas pertenecientes al paradigma WIMP involucran elementos como realidades virtuales, voz o reconocimiento de gestos entre otros. De hecho, Van Dam definió posteriormente a las interfaces post-WIMP como las que consideran alguna técnica de interacción no dependiente en los clásicos *widgets 2D* como lo son los menús o los íconos [Van Dam, 1997].

Actualmente se propone un nuevo paradigma denominado *Natural User Interface*, que intenta reducir las barreras que impiden alcanzar un mayor grado de utilización de las computadoras, ya que aumenta las posibilidades de interacción por parte del usuario y a su vez proporciona nuevos nichos de uso. Este nuevo paradigma plantea interfaces que resultan *invisibles* a los usuarios ya que plantean utilizar movimientos gestuales o del cuerpo en lugar de los tradicionales dispositivos de entrada (e.g. teclado o *mouse*). Ejemplo de esto es la interacción mediante pantallas táctiles que permiten un nuevo canal de interacción mediante movimientos gestuales, y al mismo tiempo, posibilita el desarrollo de nuevos dispositivos y las formas de interactuar con éstos [Wigdor y Wixon, 2011].

4.1.2. Interacción y RA

En base a estos conceptos de interacción y de técnicas de interacción introducidos en un ámbito general, han surgido algunas propuestas que introducen modelos de interacción

adaptados a la RA; mediante éstos se intenta caracterizar las interacciones que intervienen en aplicaciones donde se combina el mundo real con elementos virtuales. Coutrix y Nigay [2006], por ejemplo, proponen lo que denominan Modelo de Interacción Mixta, mediante el que intentan unificar varios enfoques existentes de tecnologías post-WIMP, como los son la RA, RV o *Tangible User Interface (TUI)*¹, junto con los tradicionales enfoques de interfaces. Dubois et al. [2007] presentan un modelo que extiende estos conceptos incorporando aspectos clave a ser tenidos en cuenta en las primeras etapas del desarrollo de estos sistemas interactivos, como lo son la captura de requerimientos o los diseños previos. En particular, caracterizan la interacción como un intercambio de información entre elementos físicos y digitales. Jacob et al. [2008] proponen un *framework* denominado *Reality-based interaction*, que de manera similar a lo expuesto en el trabajo [Dubois et al., 2007], intenta unificar las técnicas de interacción denominadas post-WIMP. En este caso la motivación reside en que estas nuevas técnicas se basan fuertemente en el conocimiento diario del mundo físico en el que las personas se desenvuelven. Este *framework* tiene en cuenta, para el desarrollo de las interacciones, el conocimiento básico de la física del mundo real, el conocimiento para coordinar movimientos corporales, el conocimiento del ambiente físico en particular y las habilidades para interactuar con otras personas.

Sin embargo, estos modelos conforman propuestas que no han sido adoptadas masivamente, ya que en general las interacciones introducidas en estos trabajos están directamente inspiradas en las aplicaciones en las que se insertan. En base a esto, la elección de nuevas interacciones vinculadas a una determinada aplicación de RA ha sido un área de gran interés en los últimos años [Zhou et al., 2008], aunque esta exploración no ha formalizado aún una taxonomía que clasifique las distintas interacciones involucradas. Hasta el momento, las aplicaciones que apuntan a describir y enumerar las distintas alternativas para interactuar dentro de las mismas, agrupan las interacciones en base a la interfaz a la que pertenecen como lo proponen por ejemplo Carmigniani y Furht [2011]. Estos autores destacan tres grupos de interacciones en torno a las interfaces tangibles, las colaborativas y las nuevas interfaces multimodales. Adicionalmente, consideran una cuarta categoría correspondiente a interfaces híbridas, aunque esta última es simplemente el resultado de la combinación de técnicas de interacción de las tres categorías anteriores.

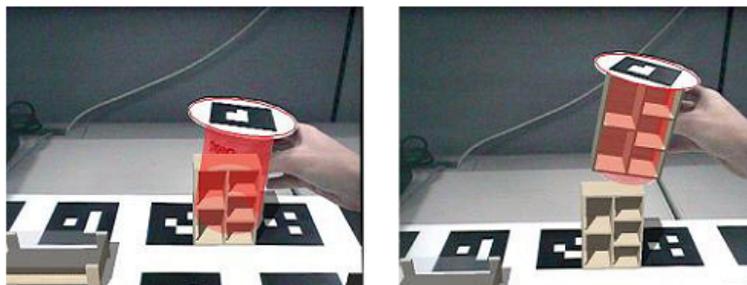
¹El concepto de interfaz tangible o *Tangible User Interface* fue introducido por Ishii y Ullmer en el año 1997.

4.1.2.1. Interfaces de RA Tangibles

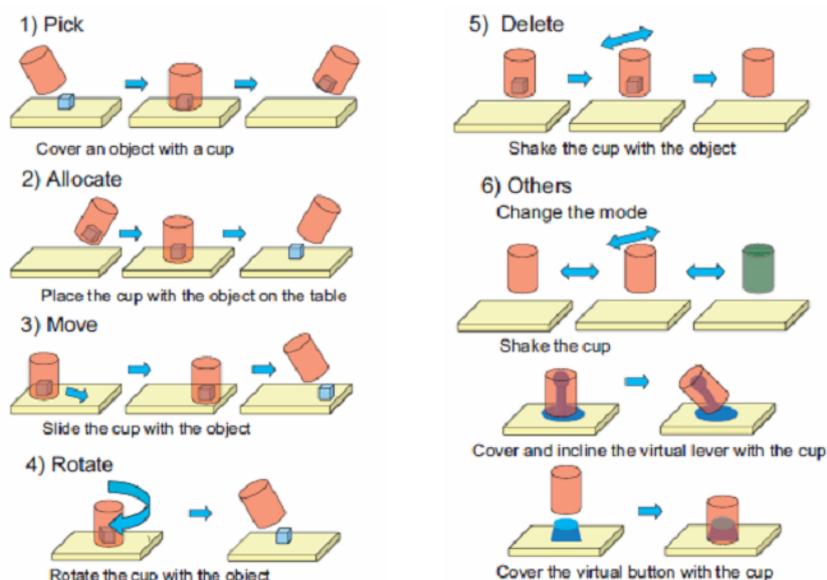
Este concepto de interfaces introducido por Ishii y Ullmer [1997], propone interacciones directas con el mundo real, utilizando elementos propios de éste, como lo son objetos físicos o herramientas. La ventaja de este tipo de interfaces es que la interacción resulta natural debido a que se eliminan las interfaces gráficas tradicionales, permitiendo utilizar la metáfora o el conocimiento asociado al objeto físico empleado. Sin embargo, las interacciones asociadas a objetos también tienen sus dificultades, ya que personas pertenecientes a diferentes lugares geográficos, segmentos etarios o culturas pueden considerar interpretaciones o significados diferentes en relación con los objetos empleados [Mistry et al., 2008].

Como ejemplo representativo de esta categoría de interfaz, podemos citar lo propuesto por Kato et al. [2003]; estos autores proponen realizar la interacción tangible mediante un objeto denominado *MagicCup* que permite establecer manipulaciones físicas que representen diferentes acciones. Este objeto se asemeja a una copa que puede detectarse mediante marcadores. Esta forma permite cubrir objetos virtuales y a partir de distintas acciones con la misma éstas pueden interpretarse como diferentes movimientos del objeto virtual permitiendo reaccionar de manera intuitiva. De esta forma se proponen interacciones como seleccionar, posicionar, mover, rotar o eliminar, asociadas a acciones físicas con este objeto, como posicionarlo, desplazarlo, rotarlo, sacudirlo o inclinarlo. Estas interacciones se muestran en la Figura 4.1.

Respecto a los dispositivos móviles, las cámaras no sólo pueden usarse para mostrar el contenido aumentado sino que se ha propuesto su utilización para realizar determinadas interacciones [Henrysson et al., 2005; Harviainen et al., 2009]. Se establecen así varias primitivas de interacción que son activadas con diferentes posturas o movimientos de la cámara. En [Harviainen et al., 2009], por ejemplo, se proponen primitivas que pueden desencadenar distintas acciones sobre un modelo 3D como las siguientes: (i) utilizar la posición y orientación de la cámara respecto a un marcador; (ii) utilizar la distancia de la cámara al marcador como disparador de un evento; y (iii) determinar distintos patrones de movimiento, como por ejemplo, sacudir la cámara en forma horizontal o vertical. En la Figura 4.2 se muestran ejemplos de la aplicación que utiliza estas interacciones propuestas por Harviainen et al. [2009].



(a) Posicionamiento de un elemento virtual. (b) Elemento virtual situado luego del posicionamiento.



(c) Interacciones propuestas mediante el *MagicCup*.

Figura 4.1: Ejemplo de utilización del dispositivo *MagicCup* (a)-(b) y distintas formas de manipular objetos (c) [Billinghurst et al., 2009].

4.1.2.2. Interfaces de RA Colaborativas

Un segmento de aplicaciones especial es el considerado como aplicaciones colaborativas, ya que involucran la operación conjunta de más de un usuario. Las interfaces para este tipo de aplicaciones tiene como característica la utilización de múltiples *displays* para permitir actividades desarrolladas en un mismo espacio físico o de manera remota ², dando lugar a las interacciones inherentes a este ámbito. En el primer caso, el uso de interfaces 3D mejora las colaboraciones físicas en el espacio de trabajo [Morrison et al., 2009]. Un ejemplo de este tipo de colaboraciones en un mismo espacio físico es el trabajo

²Estas denominaciones de actividades colaborativas son la traducción de sus términos en inglés *co-located/remote activities*.

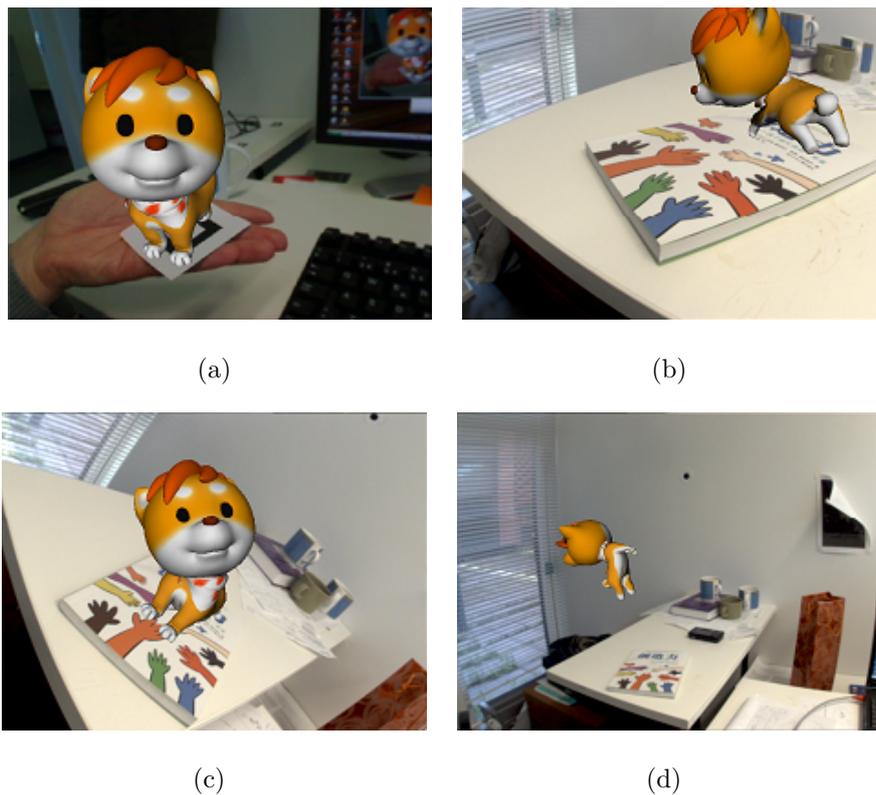


Figura 4.2: Modelo 3D (a) que es utilizado para disparar animaciones con los movimientos de la cámara. Rotándola (b), cambiando su orientación (c) o alejando la cámara respecto al marcador (d) [Harviainen et al., 2009].

de [Szalavári et al., 1998], en el que se permite interactuar mediante visualizaciones en 3D permitiendo la comunicación e interacción entre los participantes de manera natural. Otros trabajos han explorado la colaboración que se puede establecer entre usuarios al emplear dispositivos móviles y realizar tareas que se pueden resolver de manera conjunta [Morrison et al., 2011].

En el caso de colaboración remota, la RA permite integrar múltiples dispositivos con múltiples ubicaciones para realizar mediante tele-conferencia un uso compartido de los recursos [Billinghurst y Kato, 2002; Barakonyi et al., 2004]. De este modo, se facilita la integración de aplicaciones otorgando la posibilidad de realizar actividades en conjunto, como puede ser el caso de aplicaciones médicas para realizar diagnósticos o cirugías [Nicolau et al., 2005; Harders et al., 2007].

4.1.2.3. Interfaces de RA Multimodales

Se ha investigado la posibilidad de agregar interacciones multimodales a las aplicaciones de RA. Con interacción multimodal nos referimos a aquella en la que se provee acceso a la información mediante más de un canal de interacción, en particular refiriéndose a distintas formas de comunicación humana [Dix et al., 2003]. Interacciones consideradas en este contexto lo son la incorporación de reconocimiento de voz [Goose et al., 2003; Irawati et al., 2006; Hanlon et al., 2010; Mirzaei et al., 2014] o el uso de gestos mediante alguna parte física del cuerpo (e.g. utilización de brazos, manos o los dedos para interactuar con elementos virtuales) [Caballero et al., 2010; Datcu y Lukosch, 2013]. En el trabajo de Piumsomboon et al. [2013] se han estudiado qué gestos con las manos resultan naturales para realizar determinadas tareas. En base a los resultados obtenidos se proponen 44 gestos para llevar a cabo 40 tareas diferentes, que los autores las han categorizado como tareas de transformación, menú, edición, recorrido y selección. En la Figura 4.3 se ejemplifican algunos de los gestos que han sido consensuados como naturales por parte de los usuarios evaluados.

4.2. Las Interacciones y los Libros Aumentados

Definidas las interacciones en el campo de la RA presentamos a continuación los antecedentes de las interacciones en libros aumentados, las interacciones propias de los libros y, finalmente, nuestra propuesta de una clasificación de interacciones para un libro aumentado.

4.2.1. Antecedentes

Una de las pocas contribuciones en lo que respecta a interacciones con los libros aumentados la constituyen los conceptos presentados por Grasset et al. [2008] y que ya han sido mencionados en el Capítulo 3 (ver Sección 3.3.5); en éstos se destacaban espacios, guías y patrones de interacción para un libro aumentado. Sin embargo estas constituyen lineamientos muy generales que esbozan algunas ideas de qué interacciones pueden considerarse, en lugar de proponer una clasificación detallada.

El resto de las interacciones propuestas para libros aumentados han sido investigadas desde el punto de vista de las nuevas interacciones que se pueden proveer con los conte-

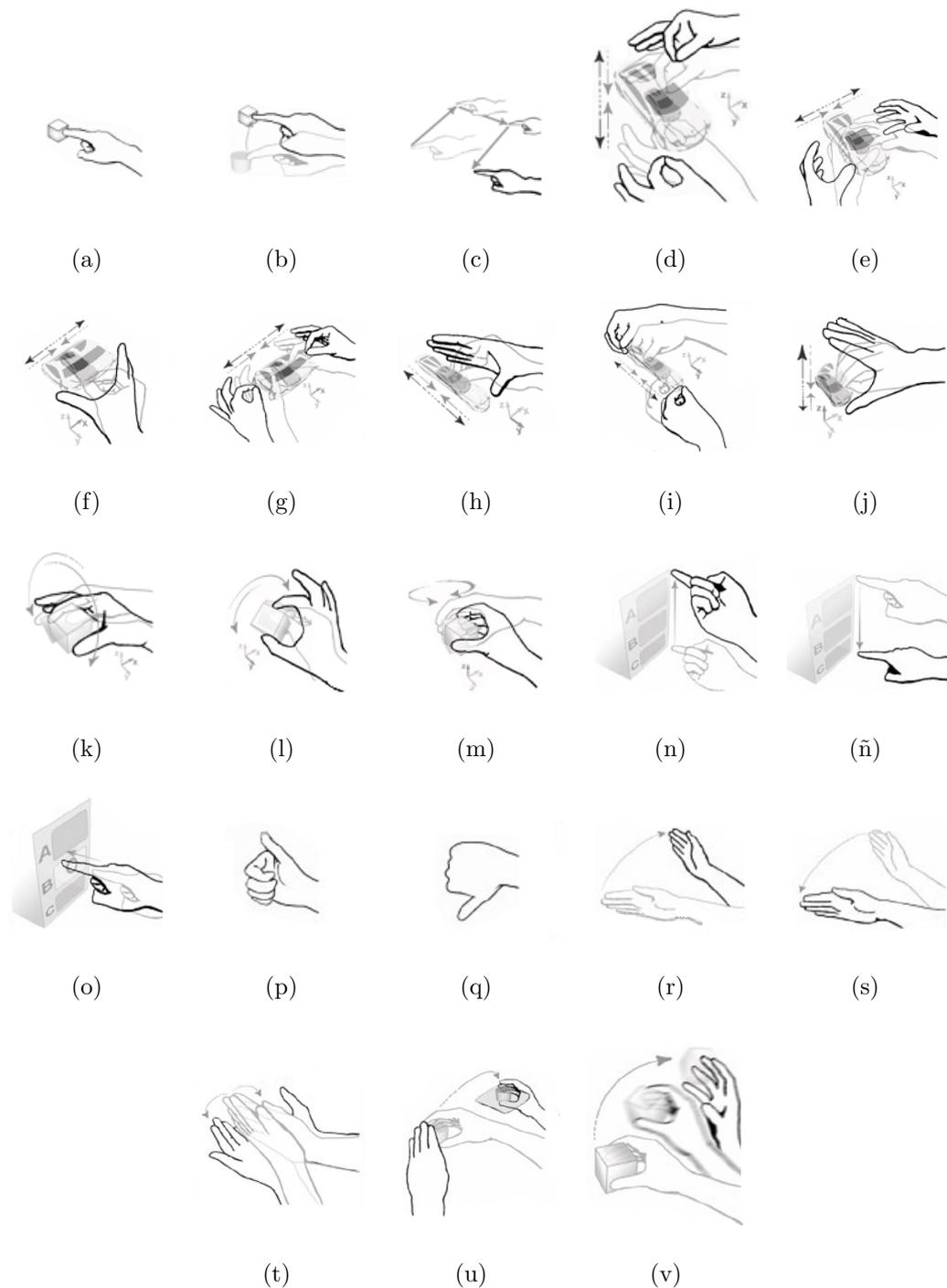


Figura 4.3: Ejemplo de algunos de los gestos propuestos por Piumsomboon et al. [2013] para realizar una selección simple (a) o múltiple (b)-(c), escalado (d)-(j), rotación (k)-(m), acciones de menú (n)-(o), aceptar (p), rechazar (q), anterior (r), siguiente (s), copiar (t)-(u) y eliminar (v).

nidos aumentados y no las propias del libro mismo. Ejemplos de esto son trabajos [Choi et al., 2010; Ha et al., 2011] donde se propone utilizar elementos tangibles para inter-

actuar con los contenidos del libro o interacciones más específicas como las del trabajo de [Clark y Dünser, 2012] donde se permite interactuar visualizando las aumentaciones generadas sobre el libro a partir de los dibujos coloreados.

En base a esto podemos afirmar que no existe hasta el momento un enfoque que clasifique las distintas interacciones que se pueden obtener de la combinación de un libro tradicional con la RA. Nuestra propuesta es llenar este vacío detallando una clasificación que permita caracterizar las interacciones propias de este tipo de libros.

4.2.2. Los Libros y sus Interacciones

Para definir las interacciones en torno a un libro aumentado, es importante tener en cuenta cuáles son las cualidades de un libro tradicional. Podemos distinguir las características de este último en base a diferentes aspectos del mismo:

- *Cualidades físicas:* Ciertas cualidades físicas del libro arrojan información del mismo a simple vista: su tamaño denota la cantidad de contenidos, su aspecto evidencia cuán viejo es o cuánto ha sido utilizado, su aspecto también puede representar un valor sentimental. Estas cualidades, de difícil reproducción en un medio digital, son de gran importancia para los lectores [Marshall, 2005]. Numerosos estudios resaltan la relevancia del papel en determinados ambientes (por ejemplo de oficina), donde su flexibilidad y tangibilidad permiten tanto la adquisición como la utilización de información de manera efectiva [Tallyn et al., 2005]. A su vez, se destaca su particularidad de facilitar actividades colaborativas, así como la de utilizar acciones físicas (por ejemplo apuntar y sostener el dedo en la página para marcar un ítem). Por otra parte, el papel tiene como ventaja su capacidad de movilidad, pudiendo ser portado de un espacio a otro, ubicado en conjunto con otros objetos y permitiendo ser anotado *ad hoc* de diferentes maneras. En el caso de las aumentaciones, las personas las reconocen utilizándolas como seguimiento de su trabajo e incluso las características de la escritura permiten identificar quién las realizó. El papel también constituye un medio persistente para representar la información que a su vez preserva el *layout* producido sobre el mismo [Luff et al., 2004, 2007].
- *Lectura:* Naturalmente la utilidad primordial de un libro es su utilización para la lectura. Más allá de esta actividad de lectura pasiva, como lo es también la lectura

de un periódico o incluso un *blog* en un navegador de internet, se destaca una lectura que involucra una interacción más compleja con el libro, conocida como lectura activa [Tashman y Edwards, 2011]. Este tipo de interacción incluye tareas como resaltar palabras o realizar anotaciones sobre el libro, tomar nota en otro medio distinto al utilizado en la lectura, comparar páginas y realizar búsquedas en otros libros o medios diferentes a partir de lo leído en determinado libro. En lo que respecta a la lectura activa, ésta demanda mayor versatilidad del medio utilizado que simplemente el de avanzar sobre sus páginas; se necesita por ejemplo crear y encontrar diferentes anotaciones o áreas resaltadas (anotaciones y extracción de contenido), pasar rápidamente entre porciones de texto o páginas (navegación) y visualizar la disposición espacial de la información (*layout*).

- *Colaboración*: Gracias a su facilidad de transporte y maniobrabilidad, el libro permite y facilita la colaboración entre los lectores. Pasar el libro o un documento de mano en mano, compartir o prestar un libro, reutilizar todo tipo de anotaciones hechas por otro lector (resaltados, pliegues en las hojas, notas al margen, etc.) conforman diferentes interacciones con el libro físico que son llevadas a cabo de manera natural [Steimle, 2012].

4.2.3. Clasificación de Interacciones Propuesta

Se define una clasificación de interacciones como un conjunto de interacciones elementales agrupadas en función de su comportamiento. Esta clasificación permite modelar actividades de mayor complejidad a llevarse a cabo sobre libros aumentados. Estas actividades son consideradas como interacciones de alto nivel y podrán definirse en funciones de interacciones básicas o elementales.

Esta clasificación se provee en el contexto de un modelo de interacción. Es decir, establecemos un conjunto de principios, reglas y propiedades que permiten guiar el diseño de una interfaz para este tipo de aplicaciones [Beaudouin-Lafon, 2000]. Esta clasificación permite establecer las interacciones de manera natural, capturando aquellas que sean propias del libro tradicional complementadas con las propias de la RA, de manera que tanto el mundo físico como el virtual se integren de manera natural en el libro aumentado.

El desafío se enmarca en establecer un conjunto rico de interacciones elementales o

atómicas para luego poder definir actividades más complejas en función de éstas. En base a esto, en el diseño de una interfaz para libros aumentados será fundamental capturar las actividades o tareas que resultan naturales en las prácticas realizadas con los libros. Una aplicación destinada al aprendizaje de jóvenes lectores, por ejemplo, no se tendrán los mismos requerimientos que en una destinada a libros de promociones turísticas o entretenimiento, donde la escritura o toma de notas no tendrá tanta injerencia como en el primer caso. Sin embargo, cualquiera de estas actividades podrá describirse en función de las interacciones básicas. Al final de este capítulo se describen actividades representativas en función de interacciones elementales.

4.2.4. Las Interacciones

Las interacciones elementales corresponden a las primitivas de interacción con un libro tradicional y con un libro aumentado. Éstas, a su vez, son agrupadas de acuerdo a su funcionalidad. Basados en los que en la literatura se consideran como los tipos de aumentaciones que se pueden proveer a un libro (ya sea con RA como sin ésta, aumentándolo con capacidades digitales), y dado que en nuestro conocimiento aún no existe una clasificación formal para las mismas, proponemos una clasificación de las interacciones elementales en seis categorías conceptuales. Las categorías que consideramos más adecuadas para representar la funcionalidad de las primitivas de interacción son las siguientes:

1. *Acceso*: corresponde a la creación y adquisición de un determinado libro.
2. *Navegación*: interacciones que permiten recorrer el libro y explorar los contenidos del mismo.
3. *Modificación*: todo tipo de interacción que implique modificar de alguna manera el estado actual del libro, considerando los cambios permanentes (e.g. dejar una nota a mano alzada al margen de la hoja) como los temporales (e.g. marcar una hoja plegando una de sus esquinas).
4. *Realidad Aumentada*: cualquier interacción relacionada con la RA.
5. *Colaborativa*: interacciones que implican realizar una tarea conjunta con otra persona.

6. *Múltiples Libros*: interacciones que implican el uso de varios libros simultáneamente (e.g. referencias cruzadas o toma de apuntes).

En lo que respecta a las interacciones elementales, es importante notar que estas primitivas son independientes de la funcionalidad o aplicación específica aunque, por otra parte, constituyen una guía para describir las mismas. En la Tabla 4.1 se detallan estas interacciones elementales y a continuación se describen en detalle.

Categoría de *Acceso*

Crear Libro(D) : L Permite crear un nuevo libro aumentado. El resultado de esta interacción es un nuevo libro aumentado L caracterizado por la descripción D (como por ejemplo el título, los autores, el código ISBN, etc.).

Buscar Libro(D) : L Permite buscar, si existe, un libro aumentado que coincida con la descripción D. Esta descripción D conforma un conjunto de parámetros que identifican al libro, como por ejemplo el título, el año, el código ISBN, etc. En el caso de que el libro L exista se obtiene dicho libro; en caso de no existir se obtiene el denominado “libro nulo” L_{\emptyset} .

Abrir Libro(L) Permite abrir el libro L para su lectura.

Cerrar Libro(L) Permite cerrar el libro L.

Seleccionar Libro(L) Permite seleccionar el libro L como activo.

Categoría de *Navegación*

Ir a Página(P) Permite acceder a la página P del libro L que esté activo.

Voltear Página(P, N) Permite voltear una cantidad N de páginas del libro activo a partir de la página P.

Índice() : I Permite acceder a la lista de capítulos, secciones, etc. del libro activo a través de sus respectivas páginas. Devuelve como resultado una lista I con cada uno de los elementos mencionados y los número de página definidos en su índice.

Glosario(W) : S Permite buscar una palabra W en el glosario del libro activo. En caso de existir en el glosario la palabra W, se devuelve el conjunto de números de página S correspondientes a las apariciones de dicha palabra; si dicha palabra no existe en el glosario se devuelve un conjunto vacío S_{\emptyset} .

Acceso	Navegación	Modificación	Realidad Aumentada	Colaborativo	Múltiples Libros
Crear Libro	Ir a Página	Incorporar Contenido	Registrar Contenido	Compartir Libro	Apilar
Buscar Libro	Voltear Página	Modificar Contenido	Posicionar Contenido	Compartir Contenido	Desapilar
Abrir Libro	Índice	Eliminar Contenido	Ejecutar Contenido	Comentar Libro	Referenciar
Cerrar Libro	Glosario	Marcar Hoja		Comentar Contenido	
Seleccionar Libro	Señalar	Marcar Contenido			
	Posicionar Libro				

Tabla 4.1: Clasificación de las interacciones elementales propuestas para un libro aumentado agrupadas en seis categorías.

Señalar(P, C) Permite señalar un determinado contenido C de la página P. Se considera como contenido cualquier tipo de información presente en el libro, tal como texto, ilustraciones, etc.

Posicionar Libro(E) Permite cambiar la disposición espacial del libro activo respecto a una determinada especificación E.

Categoría de *Modificación*

Incorporar Contenido(C, P) Permite incorporar un contenido C a la página P del libro activo.

Modificar Contenido(V, C) Permite modificar las propiedades V del contenido C perteneciente al libro activo.

Eliminar Contenido(C) Permite eliminar el contenido C del libro activo.

Marcar Hoja(P, M) Permite marcar la página P del libro que esté activo con una marca M. Las posibles marcas que se consideran son plegar, anotar o agregar un señalador a la hoja.

Marcar Contenido(P, M, C) Permite marcar un contenido C perteneciente a la página P del libro activo con una marca M. Con marca nos referimos a enfatizar contenido perteneciente al libro (e.g. subrayar, resaltar, anotar, etc.).

Categoría de *Realidad Aumentada*

Registrar Contenido(C, R) Permite asociar un contenido C a un marcador R. Consideramos como marcador a una determinada técnica de *registro y tracking* como lo son los marcadores planos blanco y negro o del tipo *markerless*.

Posicionar Contenido(C, G) Permite asignar una transformación geométrica G (escalado, rotación y/o traslación) a un contenido C.

Ejecutar Contenido(C) Permite ejecutar una función relacionada con un contenido C (e.g. comenzar la animación de un contenido 3D).

Categoría *Colaborativa*

Compartir Libro(U) Modela la actividad de compartir el libro activo con otro lector U.

Compartir Contenido(C, U) Modela la actividad de compartir un contenido C con otro lector U.

Comentar Libro(M) Permite establecer un comentario o reseña M respecto al libro activo.

Comentar Contenido(M, C) Permite establecer un comentario o reseña M respecto a un contenido C del libro activo.

Categoría *Múltiples Libros*

Apilar(L_1, L_2) : H Permite generar un pila de libros, poniendo el libro L_1 sobre el libro L_2 . Se devuelve como resultado una pila de libros H.

Apilar(L_1, H) Permite apilar el libro L_1 en el tope de una pila de libros H.

Desapilar(L_1, H) Permite retirar el libro L_1 del tope de la pila de libros H a la que pertenece.

Referenciar(L_1, L_2) : R Permite referenciar un libro L_2 en el libro L_1 . Se devuelve como resultado la referencia R.

4.2.5. Ejemplos de Uso

Hemos presentado la clasificación de interacciones para un libro aumentado. A continuación mostraremos su utilización en la especificación de distintas actividades que se pueden llevar a cabo con este tipo de libros. Para esto presentamos tres ejemplos representativos que describen cómo utilizar las primitivas detalladas en esta clasificación para modelar actividades más complejas.

Cada ejemplo describe una actividad conceptual que detalla un escenario que involucra el uso de libros aumentados. En este escenario intervienen de una o más interacciones de alto nivel, que a su vez serán descritas en función de las interacciones elementales.

Ejemplo 1

Crear un libro aumentado para el libro “Antiguos Castillos Europeos” y agregar un contenido aumentado que consista en un modelo 3D de un castillo en la página 312 en la que se describen los castillos más antiguos de Europa.

Describimos a continuación qué interacciones básicas podemos utilizar para llevar a

cabo las actividades planteadas, abarcando interacciones de alto nivel desde el acceso al libro hasta la modificación del mismo incorporando contenido aumentado.

Requerimientos: Modelo 3D que representa un *castillo*.

1: **actividad** EJEMPLO 1

2: $L \leftarrow$ Crear Libro(“*Antiguos Castillos Europeos*”)

3: Abrir Libro(L)

4: Seleccionar Libro(L)

5: Ir a Página(312)

6: Incorporar Contenido(*castillo*, 312)

7: Registrar Contenido(*castillo*, *marcador-planoByN*)

8: Posicionar Contenido(*castillo*, *transformación-geométrica*)

9: Cerrar Libro(L)

10: **fin actividad**

Ejemplo 2

Buscar en un libro tradicional de “Física II” la explicación de las “Ecuaciones de Maxwell”. Realizar un pliegue a las hojas que contengan la explicación para que sea más sencillo encontrarlo en un futuro, y subrayar el texto más relevante a las ecuaciones.

En este ejemplo mostramos cómo realizar actividades pertenecientes al mundo puramente físico. En este caso no interviene ninguna capacidad aumentada del libro, permitiendo mostrar cómo esta clasificación permite modelar las interacciones habituales en una tarea de lectura activa.

Requerimientos: Existencia del libro físico “Física II” y que el mismo contenga el *texto* “Ecuaciones de Maxwell”.

1: **actividad** EJEMPLO 2

2: $L \leftarrow$ Buscar Libro(“*Física II*”)

3: **si** L no es L_0 **entonces**

4: Abrir Libro(L)

5: Seleccionar Libro (L)

6: $S \leftarrow$ Glosario(“*Ecuaciones de Maxwell*”)

7: **si** S no es S_0 **entonces**

- 8: **para todo** número de página p en el conjunto S **realizar**
- 9: Ir a Página(p)
- 10: Marcar Hoja(p , pliegue) ▷ la marca constituye un pliegue a la hoja
- 11: Marcar Contenido(p , *subrayado*, *texto*)
- 12: **fin para**
- 13: **fin si**
- 14: **fin si**
- 15: **fin actividad**

Ejemplo 3

Un lector está leyendo un libro de Anatomía y éste hace referencia al contenido de un determinado libro de Fisiología. El lector decide sacar el libro referido, que estaba en una pila de libros y continuar con la lectura del mismo, abrir su libro aumentado asociado y generar en éste un nuevo contenido que sea un texto. Finalmente desea compartir este contenido con otro lector y volver a su lectura en el libro de Anatomía.

Este ejemplo muestra cómo se pueden modelar las actividades que impliquen interacciones de alto nivel de colaboración o utilización de múltiples libros.

Requerimientos: L_A y L_F son los libros de Anatomía y Fisiología respectivamente, H es un conjunto de libros apilados y *texto* es el contenido en forma de texto a ser incorporado.

- 1: **actividad EJEMPLO 3**
- 2: Cerrar(L_A)
- 3: Desapilar(L_F , H)
- 4: Abrir(L_F)
- 5: Seleccionar(L_F)
- 6: $l \leftarrow \text{Índice}()$
- 7: Ir a Página(p) ▷ p es una página perteneciente al índice l
- 8: Incorporar Contenido(*texto*, p)
- 9: Compartir Contenido(*texto*, u) ▷ u representa a otro lector
- 10: Cerrar Libro(L_F)
- 11: Apilar(L_F , H)

- 12: Buscar Libro(L_A)
- 13: Abrir Libro(L_A)
- 14: Seleccionar Libro(L_A)
- 15: **fin actividad**

Mediante estos ejemplos hemos mostrado la utilidad de la clasificación de interacciones. Las actividades presentadas en cada escenario describen una serie de interacciones de alto nivel que pueden expresarse como un conjunto de interacciones elementales. Esto es de utilidad al momento de diseñar una interfaz para un libro aumentado ya que cada una de estas primitivas conforman actividades concretas, pero al mismo tiempo genéricas, ya que su implementación puede instanciarse con diferentes técnicas puntuales. El voltear las hojas del libro físico, por ejemplo, se podría realizar a través de la interfaz del libro aumentado de distintas formas tales como un cambio de página de manera manual (e.g. ingreso mediante teclado), mediante alguna técnica multimodal (e.g. reconocimiento de voz o un gesto) o bien de manera automática (e.g. reconocimiento del número de página de una imagen capturada de la hoja). Actividades colaborativas como compartir un libro tradicional de mano en mano pueden ser realizadas utilizando el concepto de compartir libro, para compartir el libro o sus contenidos aumentados con otros usuarios de la aplicación. Esta clasificación será utilizada para modelar e implementar las interacciones que proponemos al extender los libros aumentados y que es introducida en el siguiente capítulo.

4.3. Conclusiones y Guías de Diseño

En este capítulo presentamos una clasificación para las interacciones de libros aumentados. Esta clasificación se estructuró en dos niveles conceptuales, de manera que se pueden detallar actividades de alto nivel en función de distintas interacciones elementales. Mediante esta clasificación es posible modelar y especificar las actividades que se pueden llevar a cabo con un libro aumentado, y para presentar esto, propusimos distintos ejemplos que muestran como este conjunto de interacciones permite describir las actividades propuestas. Esta descripción de actividades obtenida en base a la clasificación propuesta es posible utilizarla para modelar las interacciones que se incorporan a una interfaz de libro aumentado, constituyendo además una guía para implementar interacciones de

considerable complejidad en base a una descripción sencilla de primitivas de interacción.

Por otra parte, a modo de conclusión del estudio de la literatura de interacciones propias de RA, los libros aumentados y sus interacciones, nos permitieron establecer las siguientes guías de diseño que deben contemplarse para realizar una interfaz para libros aumentados:

1. *Mantener metáforas del libro:* Tradicionalmente, la utilización de libros ha sido efectiva en varios aspectos. Por ello es imperativo no suprimir sus cualidades y proveer interfaces que las complementen. Por lo tanto, será de importancia tener en cuenta el tipo de libro aumentado al momento de diseñar su interfaz, de manera que se provean las actividades principales a realizar con el mismo. Por ejemplo, un libro aumentado destinado a estudiar deberá priorizar actividades que impliquen la utilización de ambas manos, permitiendo realizar varias tareas de forma paralela (e.g. sostener el libro mientras se anota en un papel). Por otra parte uno dirigido principalmente al entretenimiento deberá proveer un rico conjunto de contenidos aumentados junto con sus interacciones asociadas. Idealmente, un buen diseño de la interfaz deberá proveer un conjunto de interacciones lo suficientemente amplio como para abarcar el conjunto mínimo de interacciones necesarias para cada tipo de libro.
2. *Diseño modular:* Es relevante que la interfaz sea modular y flexible, de manera de poder combinar distintas primitivas de interacción para la generación de actividades o interacciones de alto nivel.
3. *Diferentes opciones de interacción:* El diseño de la interfaz para un libro aumentado debe incorporar la riqueza de sus interacciones. Por esto es importante incluir una gran variedad de implementaciones para las interacciones elementales, permitiendo una mayor versatilidad al implementar las interacciones de alto nivel.
4. *Libertad de elección al usuario:* Dado que la utilización de un libro está muy ligada al gusto personal de cada lector, es importante proveer diferentes técnicas de interacción que permitan a éste elegir la que le resulte más adecuada. En consecuencia, la interfaz del libro aumentado debe ser flexible de manera que otorgue libertades al usuario y no imponga un uso rígido. Esto implica que la interfaz de la aplicación

de libro aumentado debe facilitar variadas interacciones de alto nivel para realizar las actividades.

4.4. Trabajo a Futuro

Las interacciones en el contexto de la RA, como se destaca en la literatura, continúan siendo tema de investigación. Presentamos como aporte a esta problemática un conjunto de interacciones elementales y una clasificación de las mismas que se pueden emplear con los libros aumentados de manera de poder caracterizar mediante éstas las actividades a desarrollar. Un punto de futuro desarrollo e investigación muy interesante constituye la generalización de estos resultados de manera de obtener una clasificación de interacciones no sólo en el contexto de los libros aumentados sino también en el de la RA en general.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Capítulo 5

Extensión a los Libros Aumentados: Diseño e Implementación

En este capítulo presentamos una nueva caracterización de libro aumentado que surge como extensión de los presentes en la literatura [Billingham et al., 2001a]. A ésta la definimos como *Augmented Reality Book (ARB)*, y extiende a los libros aumentados introduciendo tanto una nueva representación como un conjunto adicional de interacciones que lo caracterizan. Describimos también una arquitectura que da soporte a esta propuesta. En base a ésta, proveemos los detalles de implementación de la propuesta. Esta implementación introduce el *Augmented Reality Book System (ARBS)*, un sistema interactivo y colaborativo para ARBs. Este sistema constituye una herramienta que permite generar un ARB a partir de cualquier libro tradicional pre-existente. Además se proveen las interacciones que facilitan de manera natural la incorporación de contenidos aumentados a un libro y que han sido especificadas utilizando la clasificación de interacciones definida previamente.

5.1. ARB

Los libros aumentados han sido estudiados extensivamente; sin embargo, como hemos mencionado, aún poseen limitaciones. En particular, consideramos que la dificultad para generar libros aumentados en base a libros pre-existentes es una de las limitaciones más grandes para este tipo de aplicaciones. Con esto nos referimos a que, en general, los libros aumentados actuales han sido diseñados como tales desde su creación en lugar de poder

utilizar libros ya existentes y asociarles a éstos capacidades aumentadas. Consideremos, por ejemplo, el siguiente escenario de uso para una aplicación de libros aumentados:

Dos usuarios A y B utilizan un libro de geometría para estudiar conceptos espaciales. Dado que la sección del libro ubicada en la página 124 resulta complicada, realizaron una búsqueda por la web donde encontraron un modelo 3D que les resultó de utilidad para comprender los conceptos expuestos en dicha página. En base a esto deciden incorporar este modelo 3D al libro de geometría, de manera que este contenido pueda ser de ayuda a otros lectores. Utilizando una aplicación deciden generar un libro aumentado para este libro en particular, y luego incorporan el modelo 3D a la página 124 del libro. Para esto seleccionan un marcador que les permita registrar el modelo 3D al mundo real y, por otra parte, les permita posicionar el contenido virtual a un costado de la página que explica estos conceptos. Al incorporar el contenido al libro, éste pasa a ser accesible para otros lectores. De esta manera un usuario C, puede utilizar la aplicación y buscar este libro de geometría para explorar los contenidos aumentados del mismo. Puntualmente, podría visualizar el modelo 3D que se encuentra en la página 124, que fue incorporado por los usuarios A y B.

En base a este escenario descriptivo podemos detallar concretamente las características de nuestra propuesta. Ésta se basa en complementar los libros aumentados presentando lo que denominamos un ARB, es decir, una extensión a los libros aumentados que incorpora las siguientes características:

- Un ARB se puede generar para cualquier libro tradicional pre-existente.
- Los contenidos del ARB son compartidos con otros lectores.
- La interacción con el libro aumentado se desarrolla de manera natural, complementando la lectura tradicional.
- Su generación y edición no está restringida a usuarios con conocimientos técnicos específicos.

Estas cualidades señaladas caracterizan a un ARB como el complemento aumentado de un libro tradicional, especificado por un conjunto de atributos asociados que lo describen (como por ejemplo el ISBN) y los contenidos digitales y/o aumentados que este libro ofrece. Estos contenidos podrán ser compartidos por distintos lectores, quienes adicionalmente tendrán la posibilidad de incorporar nuevos contenidos al ARB. Para que esto sea factible debe existir un canal de comunicación que permita conectar a todos los lectores que accedan a un ARB. Así, el entorno teórico al que pertenece un ARB debe incluir el libro físico, el equipo computacional que representa el soporte para el ARB y le permite incorporar y mostrar el contenido digital y/o aumentado, y el canal de comunicación a través del cual sea posible establecer la característica colaborativa y ubicua de esta extensión a los libros aumentados (e.g. una red de computadoras). Consideramos también que el dispositivo cuenta con una cámara para capturar el mundo real, para luego presentar la vista aumentada en un *display* (e.g. el monitor de una computadora). A continuación detallaremos la especificación de un ARB que permite soportar estas características.

5.1.1. Especificación de un ARB

Definimos al ARB como una extensión de los libros aumentados. Lo podemos describir como un conjunto de atributos descriptivos y una estructura subyacente compuesta por lo que denominamos *contenedores*. La funcionalidad de estos contenedores es poder ser asignados a una determinada página física del libro y, a su vez, permitir alojar los contenidos digitales o aumentados que serán incorporados al ARB. En base a esto podemos especificar un ARB más formalmente de la siguiente manera:

$$\mathbf{ARB} (\underline{\underline{ISBN}}, \underline{\underline{título}}, \underline{\underline{autores}}, \underline{\underline{descripción}}, \underline{\underline{contenedores}}) \quad (5.1)$$

– **ISBN** corresponde al ISBN del libro físico, permitiendo identificar al ARB dentro del conjunto de todos los posibles ARBs (notar que ha sido denotado con doble subrayado para indicar esto).

– **título, autores, descripción** representan atributos descriptivos. Notar que los **autores** han sido denotados con línea punteada porque conforman un conjunto de valores.

– **contenedores** representan la estructura lógica que alojará los contenidos del libro.

Los contenedores del libro serán las componentes que le otorgarán flexibilidad a la incorporación de contenidos al ARB, ya que éstos serán usados para alojar los contenidos

del libro aumentado. Por lo tanto, podemos especificar un contenedor de la siguiente manera:

Contenedor (id, página, contenidos) (5.2)

- **id** identificador único dentro del ARB al que pertenece.
- **página** página del libro físico a la cual está asociado el contenedor.
- **contenidos** conjunto de contenidos que han sido incorporados a este contenedor.

La importancia de organizar el ARB en contenedores es otorgarle a éste la flexibilidad necesaria para que los lectores puedan incorporar contenidos agrupados de acuerdo a su criterio, ya que no existe limitación a la cantidad de contenedores que se pueden asignar a cada página.

5.1.2. Contenidos

Una de las características de los ARB es aumentar las capacidades de los libros tradicionales mediante contenidos digitales. Estos contenidos pueden ser de diferente tipo y, a su vez, pueden ser contenidos aumentados. La diferencia entre un contenido digital y otro con capacidades aumentadas, es que el contenido aumentado deberá proveer un elemento de registración, para que se pueda utilizar RA. A este elemento de registración lo denominaremos *marcador*, y consistirá en el nexo entre el mundo real y el elemento virtual. Dentro de los tipos de contenidos que se contemplan para los ARB podemos destacar: texto, imágenes, sonidos y modelos 3D. Podemos definir entonces el contenido como:

Contenido (id, tipo, autor, propiedades_específicas, marcador) (5.3)

- **id** identificador que será único dentro de su ARB.
- **tipo** el tipo de contenido (e.g. imagen, modelo 3D, etc.).
- **autor** lector que ha incorporado este contenido al ARB.
- **propiedades_específicas** el contenido y las características inherentes al tipo.
- **marcador** elemento de registración para contenidos aumentados.

Cada uno de los tipos de contenidos contará con los atributos que lo caracterizan, como por ejemplo las imágenes deberán contar con las descripciones de ancho y alto. Estas cuestiones específicas a cada contenido son delegadas a la implementación concreta de esta especificación.

5.1.3. Marcadores Adaptables

Los marcadores representan un elemento que suministra la información necesaria para poder registrar correctamente un contenido digital permitiendo que éste tenga capacidades de contenido aumentado. Los definimos como un concepto abstracto de mayor nivel donde coexisten un elemento digital que tendrá una contraparte física. El elemento digital consiste en la componente que pertenece al ARB, y el elemento físico consiste en la información del mundo real que será utilizada. Considerando que se captura el mundo real mediante una cámara, definimos en primera instancia dos tipos de marcadores: los marcadores de tipo *imagen* y los marcadores *blanco y negro*.

Estas clases puntuales de marcadores son los clásicos que podemos encontrar en la literatura para cualquier libro aumentado, como se ha descrito en el Capítulo 3. Sin embargo, proponemos utilizar marcadores permitiendo que éstos sean adaptables al libro físico que se desea utilizar, de manera que sea posible generar un ARB para cualquier libro pre-existente. Esta propuesta de *marcadores adaptables* considera distintos tipos de marcadores (ver Fig. 5.1) definidos, en primera instancia, como marcadores de tipo *imagen* o de tipo *blanco y negro*; a su vez cada uno de éstos puede considerarse de dos formas, dependiendo del posicionamiento elegido.

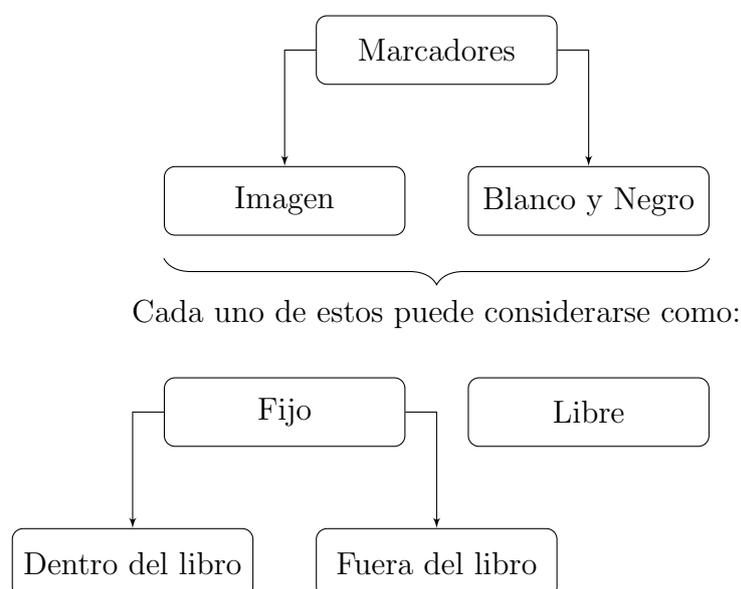


Figura 5.1: Clasificación de los tipos de marcadores propuestos para un ARB.

El posicionamiento puede ser *fijo*, es decir, se considera ubicado en determinadas posiciones preestablecidas, o bien puede ser *libre*, no teniendo en este caso restricciones

en cuanto a una posición preestablecida por lo que pueden ser manipulados cambiando su posicionamiento. En el primer caso el lector podrá asignar un marcador a una determinada posición fija en las inmediaciones del libro, es decir fuera de las páginas del mismo, o bien entre sus páginas. Por otra parte, el tipo de marcador *libre* está pensado para poder ser manipulado sin restricciones y sin asumir ninguna posición preestablecida, permitiendo de esta forma que el usuario lo manipule libremente conforme a la metáfora de interfaces de tipo TUI.

Independientemente del tipo de marcador elegido, el contenido aumentado podrá ubicarse en la vista del mundo real de diferentes formas asignándole distintas transformaciones geométricas (traslación, rotación y/o escalado). Esta característica se ve beneficiada por el tipo de marcadores fijos, ya que éstos permiten combinar zonas específicas de las hojas físicas del libro con contenidos virtuales. La Figura 5.2 muestra los tipos de marcadores mencionados en diferentes combinaciones de acuerdo a la clasificación de marcadores utilizada.

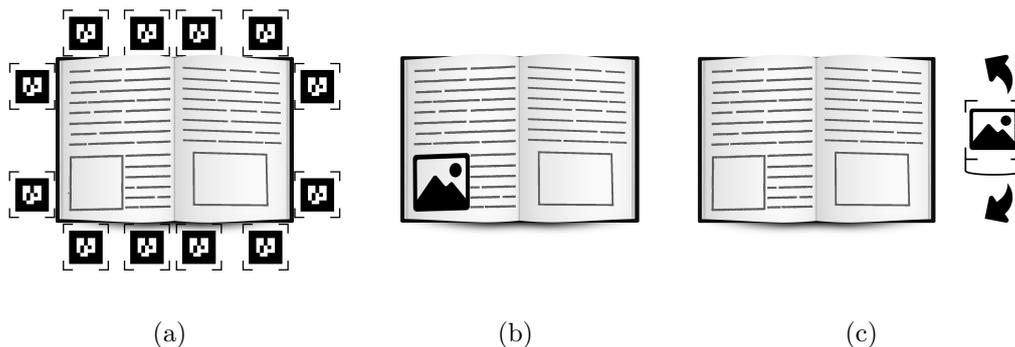


Figura 5.2: Ejemplo de los tipos de marcadores con las posibles ubicaciones fijas de marcadores blanco y negro fuera del libro (a); un marcador fijo de tipo imagen dentro del libro (b); y un marcador libre de tipo imagen fuera del libro (c).

En cuanto a la aplicación de transformaciones, la Figura 5.3 ilustra este concepto, mostrando cómo se ubican objetos virtuales respecto a posiciones fijas. Se puede apreciar cómo, mediante un marcador fijo establecido en alguna de las posiciones estipuladas, se permite incluir un contenido en un determinado espacio físico de ambas hojas del libro. A partir de este ejemplo es importante destacar que no hay restricción a la cantidad de marcadores que puede tener un ARB. A su vez, tampoco está impuesta una relación unívoca entre un marcador y un contenido, permitiendo utilizar un mismo marcador con varios contenidos, incluso simultáneamente.

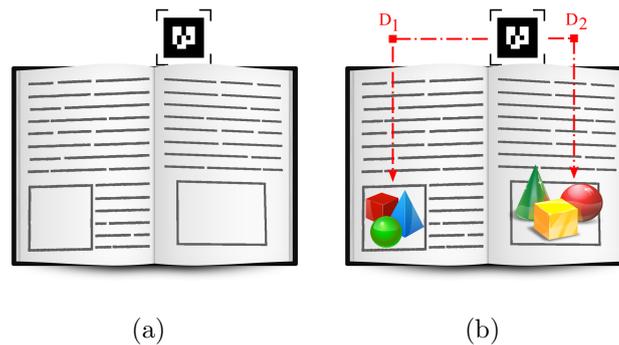


Figura 5.3: Ejemplo de las transformaciones que se pueden aplicar a los contenidos. Un libro con un marcador de tipo fijo blanco y negro (a) y dos objetos a los que se le aplican las transformaciones D_1 y D_2 para desplazarlos a dos posiciones determinadas sobre ambas páginas del libro (b).

Teniendo en cuenta los conceptos introducidos relacionados con marcadores podemos concluir que la especificación propuesta para un contenido (ver especificación (5.3)) debe ampliarse para considerar estos dos elementos. Debe tenerse en cuenta que un contenido tiene asociado no sólo un marcador sino también un elemento digital (como es el caso de los elementos a ser visualizados) y, además, las transformaciones correspondientes a este nuevo elemento. Por esto, ampliamos la especificación de un contenido de la siguiente manera:

Contenido (id, tipo, autor, propiedades_específicas, marcador, objeto_virtual) (5.4)

– objeto_virtual elemento virtual a ser incorporado al mundo real.

A su vez, este objeto tendrá asociadas las transformaciones geométricas que se le puedan aplicar. De esta manera queda claro cuál es la diferencia entre un contenido puramente digital y uno aumentado, residiendo ésta en que el primero no contará con un objeto_virtual asociado a ser incorporado al libro.

5.1.4. El ARB como una Herramienta Colaborativa

El ARB se lo especifica como un recurso compartido; dado que un ARB está identificado por su ISBN, sólo podrá existir un único ARB para cada libro físico. De esta manera los ARBs serán compartidos por todos los lectores. Luego, cada lector podrá incorporar diferentes contenedores y contenidos al mismo. Estos contenidos también podrán ser accedidos por otros lectores, convirtiendo al ARB en un soporte colaborativo.

Sin embargo, este nivel de acceso sin restricciones al ARB podría modificarse levemente agregando algunos atributos al contenido. Un contenido podría ser, por ejemplo, de acceso público o privado, y en el caso de ser privado se podría asociar una lista de los lectores que tengan permitido el acceso al contenido. De este modo la especificación (5.4) del contenido es ampliada de la siguiente manera:

Contenido (id, tipo, autor, acceso, lectores_permitidos,
propiedades_específicas, marcador, objeto_virtual) (5.5)

- **acceso** determina si el acceso al contenido es público o privado.
- **lectores_permitidos** lista de lectores que pueden acceder al contenido en caso de ser privado.

De este modo los contenidos pueden ser accedidos por otros lectores. Dependerá de la implementación cómo manejar la edición de contenidos, es decir, si ésta es permitida únicamente al creador o a cualquier usuario con acceso puede editar un contenido.

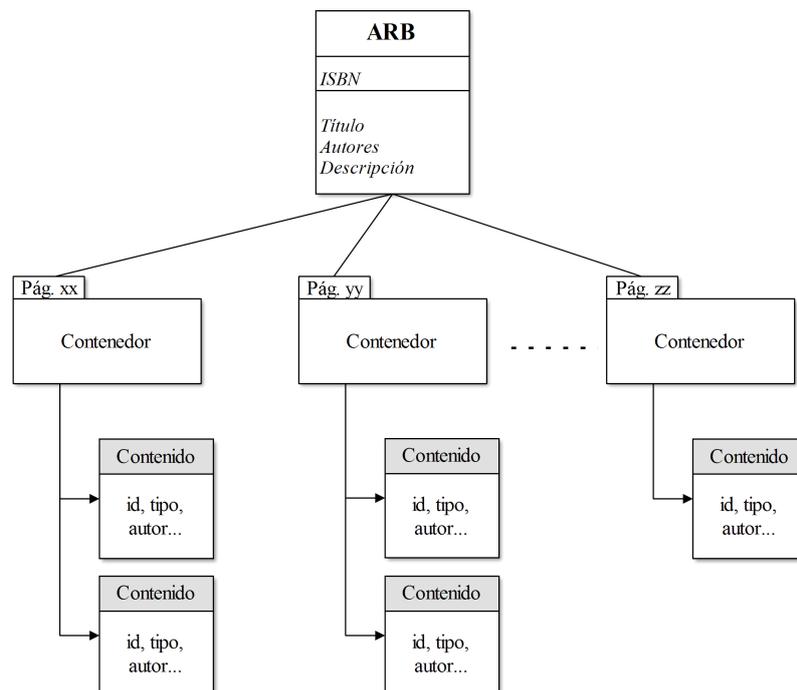


Figura 5.4: Ejemplo de una estructura simple de un ARB.

La estructura del ARB proporciona la flexibilidad necesaria que permite al lector generarlo de acuerdo a sus necesidades, agregando contenidos a las páginas que éste desee. Dado que cada contenedor puede tener una cantidad arbitraria de contenidos, los

lectores podrán complementar los contenidos existentes aportando otros. A su vez podrán generar diferentes contenedores para una misma página, ampliando las opciones de diseño de un ARB. De esta manera, la especificación que proponemos para este tipo de libros refuerza en todos sus aspectos el carácter colaborativo del mismo. La Figura 5.4 muestra un ejemplo simple de una estructura de un ARB.

5.2. Arquitectura Básica

Detallamos a continuación la arquitectura básica propuesta que soporta la especificación de ARB que proponemos. En la Figura 5.5 se detallan los módulos que integran esta arquitectura. Para dar soporte al carácter colaborativo de los ARBs propuestos, proponemos un modelo de arquitectura cliente-servidor. De esta manera, la arquitectura contempla dos componentes de software: el *front-end* y el *back-end*. El *front-end* consiste en el modelo de referencia para la aplicación de libros aumentados que utilizará el usuario. Por otra parte, el *back-end* corresponde a la unidad de software que permite que los ARBs y sus contenidos sean accesibles por distintos lectores.

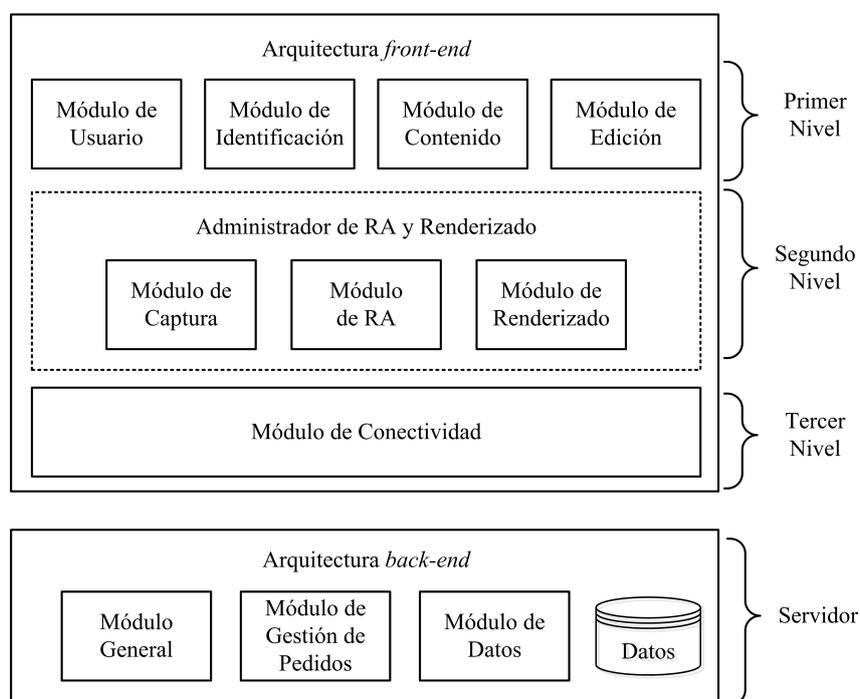


Figura 5.5: Descripción de la arquitectura básica propuesta para una implementación que contemple las características especificadas de un ARB.

Front-end

La arquitectura *front-end* corresponde al cliente y en ésta se pueden detallar tres niveles lógicos. En el primer nivel se encuentran las componentes de software relativas a la lógica de la aplicación que darán soporte a la interacción con un ARB, estando conformado por los siguientes módulos:

Módulo de Usuario, encargado de la gestión del usuario que utiliza la aplicación. Mantiene el contexto del mismo, incluyendo configuraciones, preferencias, etc.

Módulo de Identificación, encargado de la gestión de los ARBs. Provee las facilidades para crear, buscar y seleccionar los ARBs que el usuario utilice.

Módulo de Contenido, encargado del manejo de los contenidos y datos específicos del ARB. Provee las interacciones básicas para manipular contenidos. Encargado de manejar la información de los elementos virtuales presentes en la escena aumentada.

Módulo de Edición, encargado de dar soporte para la incorporación, edición y eliminación de contenidos al ARB. Provee las interacciones necesarias para incorporar, editar y eliminar los contenidos en tiempo real.

En un segundo nivel de la arquitectura se detallan los componentes de software relativos al subsistema de *tracking* y a la presentación del mundo aumentado. Este subsistema comúnmente opera de manera paralela al resto de la aplicación, permitiendo satisfacer las necesidades de procesamiento de este tipo de aplicaciones.

Módulo de Captura, es la componente encargada de proveer la gestión de la cámara que permite capturar el mundo real. Representa la interfaz con el *hardware* utilizado para capturar el mundo real.

Módulo de RA, provee las funcionalidades para el sistema de *tracking* y registración. Es el encargado de dar soporte a la técnica de *tracking* utilizada, y proveer los datos correspondientes a los 6DOF de los elementos detectados.

Módulo de Renderizado, provee el soporte para presentar las escenas aumentadas al usuario. Este módulo se encarga de proveer el contenido gráfico del mundo aumentado, integrando correctamente los contenidos virtuales a las escenas capturadas por la cámara.

Finalmente, en un tercer nivel, se encuentra la componente de software encargada de proveer la comunicación con la componente *back-end* de la arquitectura.

Módulo de Conectividad, encargado de proveer la interfaz de comunicación con el servidor. Permite establecer el canal de comunicación que facilita el carácter colabo-

rativo del ARB de manera transparente al usuario. Provee soporte para el protocolo de comunicación utilizado.

Back-end

La componente *back-end* de la arquitectura conforma el servidor, donde se presentan los módulos encargados de suministrar los ARBs y sus contenidos a la componente *front-end*. Está compuesto por los siguientes módulos:

Módulo General, encargado de la comunicación con el *front-end* de la arquitectura. Esto involucra la recepción de pedidos, para procesarlos y luego despacharlos al correspondiente subsistema encargado de atender dicho pedido. El pedido es suministrado al Módulo de Gestión de Pedidos.

Módulo de Gestión de Pedidos, corresponde a las componentes de software encargadas de las tareas específicas que realice el servidor. Resuelve la operación concreta que fue enviada por el Módulo General.

Módulo de Datos, encargado del almacenamiento y acceso a los ARBs. Provee la interfaz para crear, acceder o modificar los datos almacenados (e.g. comunicación con una base de datos).

5.3. Implementación de un Sistema para ARBs

El ARBS es un sistema interactivo y colaborativo implementado como un prototipo de investigación que permite interactuar con libros aumentados que soporten la especificación de un ARB. Este sistema fue utilizado para conducir una evaluación de usuario, que nos permita obtener conclusiones acerca de cómo estos usuarios pueden generar e interactuar con un ARB mediante la metodología de evaluación propuesta en esta tesis. Siguiendo la arquitectura básica propuesta, el sistema ARBS está compuesto por dos unidades de software, la denominada *NavSys* y la del servidor, correspondientes al *front-end* y al *back-end* respectivamente.

5.3.1. Cómo interactuar con el ARBS

El sistema ARBS fue implementado para un ambiente de uso constituido por una computadora de escritorio, que cuenta con una cámara. No se necesita ningún tipo de

dispositivo extra, como lo serían lentes especiales o *displays* sofisticados, ya que sólo se requiere un *display* estándar (e.g. monitor de la computadora de escritorio). Además del *hardware* para poder ejecutar el sistema, será necesario al menos un marcador plano blanco y negro y los libros físicos que se deseen aumentar.

El lector tendrá un único requerimiento para utilizar el sistema y es el de contar con un perfil de usuario (puede generarlo mediante el sistema de manera sencilla). Partiendo del escenario de uso presentado en la Sección 5.1, podemos establecer el flujo de trabajo con el sistema como se ilustra en la Figura 5.6. El sistema provee las funcionalidades con los ARBs en dos niveles diferentes. En el primer nivel se encuentra el acceso a un ARB y, en el segundo nivel, las interacciones que se proveen para el ARB seleccionado. En el caso de querer acceder a un libro aumentado, se tienen dos alternativas. Por un lado, el usuario puede realizar la búsqueda de un ARB previamente creado mediante el ISBN del libro físico. Por otro lado, y en el caso de que no exista un ARB para un libro físico dado, se puede crear un nuevo ARB para dicho libro. Gracias al carácter colaborativo del sistema ARBS, desde el momento que un ARB es creado resulta accesible para otros lectores.

En el segundo nivel, podemos describir las funcionalidades presentes en un libro seleccionado dentro de los que estén abiertos (el sistema permite utilizar más de un ARB de manera concurrente). Habiendo seleccionado el ARB, el usuario puede realizar principalmente dos actividades, explorar los contenidos o incorporar un nuevo contenido al mismo. En el caso de la exploración de contenidos, implica la posibilidad de navegar por los contenidos digitales y aumentados provistos como también por el libro físico, volteando las hojas del mismo. El sistema ARBS permite visualizar de manera intuitiva y sencilla los contenidos digitales o aumentados que posea el ARB agrupados por las páginas a las que pertenecen. La selección de algunos de estos contenidos permite obtener información asociada a éstos, como por ejemplo en caso de que sea aumentado, informar qué tipo de marcador se debe utilizar. A su vez, esta selección de contenido requiere que el lector avance en el libro físico a la página requerida.

La otra actividad destacada es la incorporación de un nuevo contenido al libro. El lector podrá seleccionar distintos tipos de contenidos digitales (texto, imágenes, modelos 3D o sonidos), que también podrán conformar un contenido aumentado. En este caso, se requerirá la selección de un tipo de marcador (fijo o libre). Finalmente, para ambas acti-

vidades el lector podrá realizar las interacciones propias del contenido como, por ejemplo, reproducir un sonido, visualizar imágenes y contenidos 3D, manipular los marcadores o compartir con otros lectores un contenido incorporado al ARB.

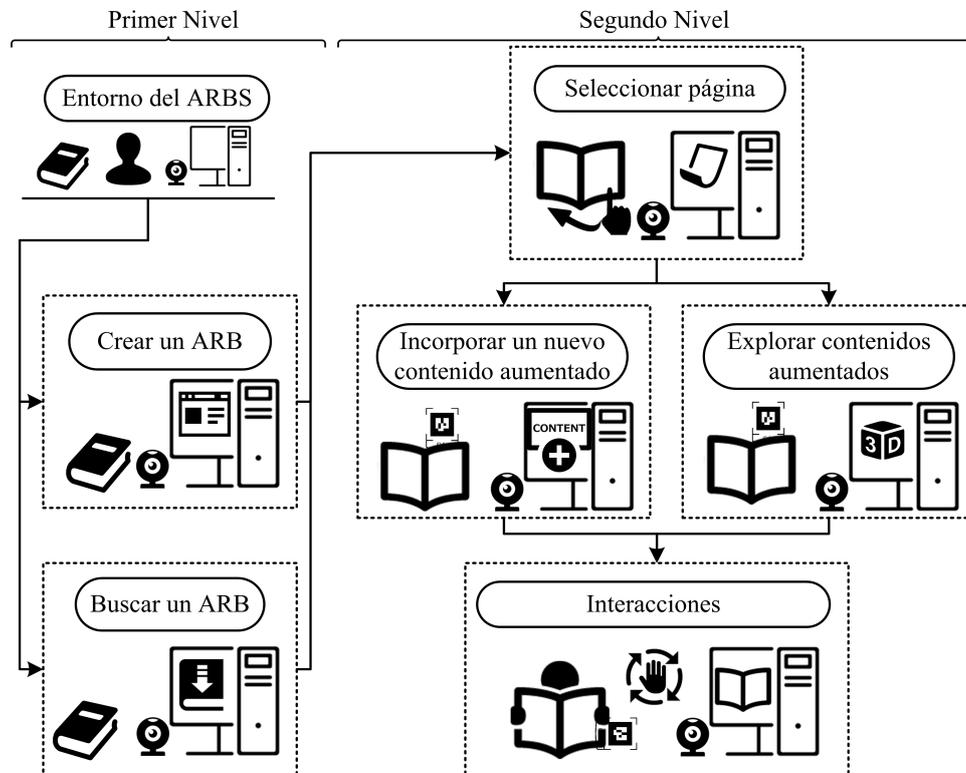


Figura 5.6: Flujo de trabajo propuesto para el sistema ARBS.

5.3.2. Diseño de interacciones del ARBS

La aplicación *NavSys*, correspondiente al *front-end*, provee la interfaz de usuario mediante la cual el lector podrá interactuar con los ARBs y su implementación soporta las primitivas o interacciones básicas definidas en el Capítulo 4. Para mostrar cómo se utilizó la clasificación de interacciones de libros aumentados definida para guiar el diseño de la interfaz, consideremos el siguiente *ejemplo de uso* donde mostramos la actividad de incorporar un contenido aumentado al libro.

Ejemplo de Uso

Buscar el libro “Roma - Guías Visuales” y en la página 209, que se describe la ubicación del Ponte Sisto, agregar un contenido aumentado que consista

en un modelo 3D del mismo. Finalmente, compartir el contenido aumentado para que sea accesible para cualquier lector.

Actividad Ejemplo de uso

Requerimientos: Modelo 3D que representa un *punte*.

- 1: $L \leftarrow$ Buscar Libro(“*Roma - Guías Visuales*”)
 - 2: **si** L no es L_\emptyset **entonces**
 - 3: Abrir Libro(L)
 - 4: Seleccionar Libro(L)
 - 5: Ir a Página(209)
 - 6: Incorporar Contenido(*punte*, 209)
 - 7: Registrar Contenido(*punte*, *marcador-planoByN*)
 - 8: Posicionar Contenido(*punte*, *transformación-geométrica*)
 - 9: **para todo** usuario U **realizar**
 - 10: Compartir Contenido(*punte*, U)
 - 11: **fin para**
 - 12: **fin si**
-

El *ejemplo de uso* fue descrito mediante una secuencia de interacciones básicas; éstas son soportadas por la interfaz de la aplicación *NavSys* mediante las siguientes interacciones:

1: se provee un cuadro de diálogo en el cual el usuario puede realizar una búsqueda de un libro mediante su ISBN (ver Fig. 5.7(a)).

2: si el libro existe, es abierto automáticamente en la aplicación; en caso de no existir, esto es informado al usuario.

3: la interacción básica de abrir un libro se resuelve de manera automática; al encontrarse el libro buscado, éste resulta abierto para su utilización.

4: la interfaz provee una lista con los libros abiertos, permitiendo realizar la selección del libro que el usuario desee que esté activo (ver Fig. 5.7(a)).

5: al seleccionar un contenido de la lista de contenidos del ARB seleccionado se cambia la página de la aplicación (ver Fig. 5.7(b)). La página puede cambiarse de manera manual con un cuadro de diálogo (ver Fig. 5.7(c)).

6: la interfaz provee una ventana adicional para incorporar un nuevo contenido (ver Fig. 5.8(a)). En ésta es posible seleccionar el tipo de contenido y sus propiedades, como

por ejemplo seleccionar el modelo 3D y sus características.

7: el usuario puede seleccionar el marcador a utilizar, pudiendo elegir entre marcador libre o fijo (ver Fig. 5.8(b)). En el caso de marcadores fijos puede seleccionar la posición fija deseada.

8: la interfaz permite asignar las transformaciones geométricas de manera interactiva para posicionar el contenido en la ubicación deseada sobre la página (ver Fig. 5.8(b)).

9-11: para compartir un contenido, el usuario puede elegir que sea público o privado, proveyendo para el segundo caso una lista de usuarios que puedan acceder al contenido (ver Fig. 5.8(a)). En cualquier caso el usuario que creó el contenido puede posteriormente modificar estos atributos. Una vez incorporado el contenido, éste permanece de manera local hasta que el usuario decide enviarlo al servidor. A partir de ese momento el contenido resulta accesible para otros lectores.

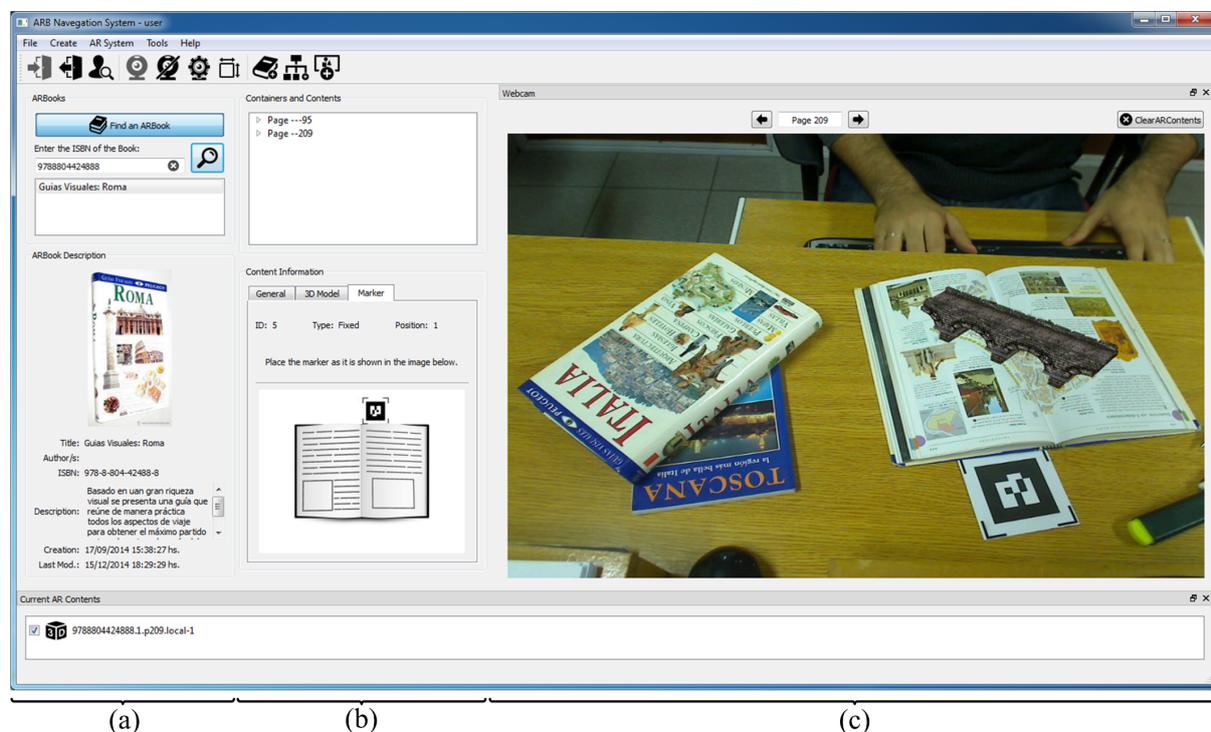


Figura 5.7: Interfaz de usuario del *front-end* del ARBS en la que se destaca: búsqueda de ARBs e información del ARB seleccionado (a), lista de contenidos e información del contenido seleccionado (b) y vista de la escena aumentada y página actual seleccionada (c).

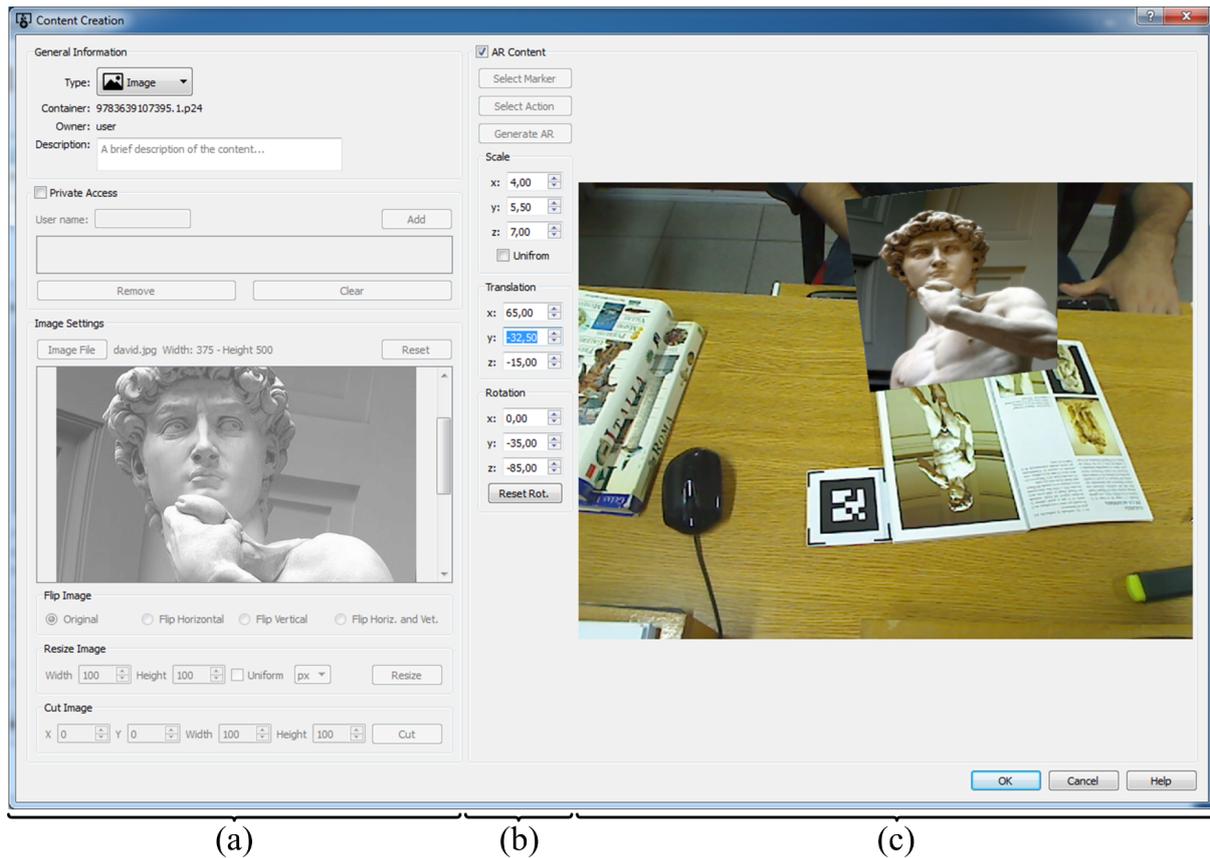


Figura 5.8: Interfaz de usuario para incorporar un nuevo contenido aumentado comprendiendo: tipo de contenido y sus atributos (a), selección de marcadores y transformaciones geométricas (b) y vista en tiempo real del contenido aumentado (c).

5.3.3. Detalles de Implementación

La implementación del sistema ARBS se hizo tomando como base la arquitectura descrita en la Sección 5.2. Tanto la aplicación correspondiente al *front-end* como la correspondiente al *back-end* fueron implementadas siguiendo el enfoque de *framework* lo que hace posible extender de manera sencilla las facilidades del sistema ARBS, integrando interacciones más complejas o nuevos tipos de contenidos aumentados. Es posible incorporar nuevos módulos a las distintas capas del sistema (ver Fig. 5.9(a)), permitiendo soportar nuevas funcionalidades. A su vez, la arquitectura cliente-servidor utilizada permite establecer comunicación y colaboración entre distintos usuarios, que podrían estar en el mismo lugar físico o distintos lugares, facilitando la colaboración remota (ver Fig. 5.9(b)).

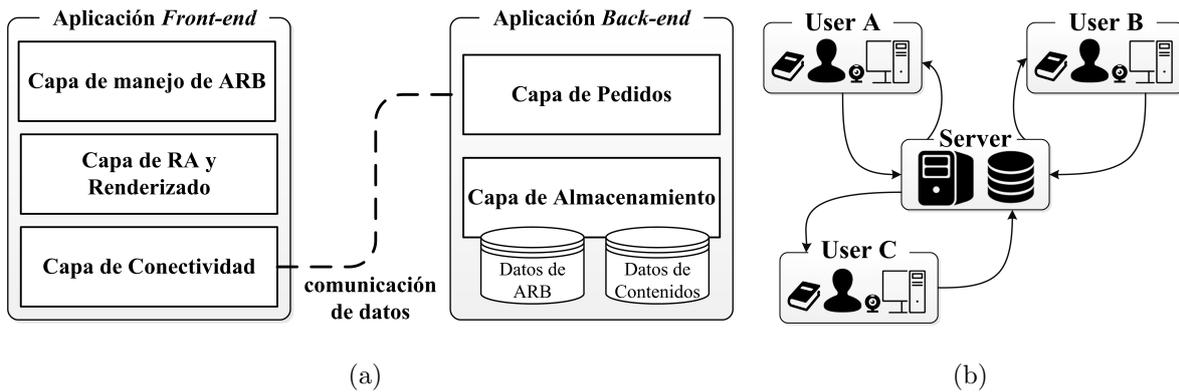


Figura 5.9: Implementación de la arquitectura cliente-servidor basada en un *framework* de tres capas (a) y posibilitando la colaboración entre distintos lectores (b).

El sistema ARBS fue implementado en el lenguaje C++ utilizando el *Qt Framework*¹. Además de proveer soporte para el diseño de interfaces gráficas, el *Qt Framework* ofrece un variado conjunto de módulos y clases para implementar de manera sencilla funcionalidades de la aplicación (comunicación de red, manejo de XML, programación multi-hilos, etc.). El manejo del reconocimiento de marcadores fue implementado mediante la librería ALVAR². Utilizamos la librería OpenCV³ para realizar la captura de imágenes mediante la cámara. La presentación de la escena aumentada fue desarrollada utilizando el *pipeline* programable de OpenGL⁴. Tanto los *frames* capturados por la cámara como con los contenidos aumentados son renderizados conjuntamente utilizando programas de *shaders*, implementados en el lenguaje GLSL.

La comunicación entre el servidor y la aplicación *NavSys* se realiza mediante mensajes de datos XML. Los datos almacenados por el servidor referidos a los elementos tales como el ARB, sus contenedores y sus contenidos fueron representados en base a la especificación ARML 2.0⁵. Esta representación interna de los componentes de un ARB fue diseñada cuidadosamente para que resulte flexible y fácilmente extensible.

¹<http://www.qt.io/>

²<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/index.html>

³<http://opencv.org/>

⁴<http://www.opengl.org/>

⁵ARML (*Augmented Reality Markup Language*) 2.0 es un formato de datos descriptivo basado en XML para aplicaciones de RA (<http://www.opengeospatial.org/projects/groups/arml2.0swg>).

5.4. Conclusiones

En este capítulo se ha introducido un nuevo concepto de libro aumentado, contemplando y proveyendo soluciones a las limitaciones que se han expuesto en la literatura. De esta manera se presenta al ARB como una extensión a los libros aumentados tradicionales, permitiendo generar un ARB para cualquier libro físico pre-existente y, a su vez, ofreciendo la posibilidad de interactuar de manera colaborativa con los ARBs y sus contenidos. También se introdujo una arquitectura de software básica que contempla el modelo del ARB especificado y que fue formada como base para la implementación de la aplicación.

Adicionalmente, se implementa el ARBS, un sistema interactivo y colaborativo para la creación de libros aumentados. El sistema descrito se ha desarrollado como un primer prototipo de investigación para poder evaluar el uso de este tipo de aplicaciones de RA. El sistema ARBS, además de proveer un visualizador de contenidos aumentados, es también una herramienta de creación y edición de libros aumentados (i.e. aplicación de autoría) y asimismo permite realizar un trabajo colaborativo entre los lectores ya que ofrece interacciones para compartir los contenidos aumentados generados. La clasificación de interacciones descrita en el Capítulo 4 se ha empleado como guía para describir actividades complejas a ser incorporadas al sistema. Finalmente, se ha detallado como se llevó a cabo la implementación del sistema, describiendo el diseño modular empleado que permite incorporar de manera sencilla nuevas interacciones y facilidades al sistema.

5.5. Trabajo Futuro

Si bien el ARB propuesto presenta nuevas capacidades que complementan los libros aumentados tradicionales, quedan pendientes puntos de exploración. Uno de estos puntos es contemplar diferentes características de los libros físicos que no han sido contempladas por la especificación; por ejemplo libros que carezcan de código ISBN o diferentes presentaciones de un libro que tienen distinto ISBN pero cuyo contenido impreso es el mismo (e.g. libro de encuadernación de tapa dura y su versión de encuadernación de tapa blanda).

También podría ser de interés extender el concepto de libro aumentado a otros soportes impresos como lo son folletos, mapas, tarjetas, manuales, impresiones artísticas, etc. ya

que estos medios, además de carecer de un código distintivo como lo es el ISBN, poseen otras características diferentes a los libros que deberían ser tenidas en cuenta para la extensión del concepto. Incluso sería interesante explorar cómo abarcar o combinar la RA con medios totalmente digitales como lo son los libros electrónicos.

En cuanto a la implementación, queda pendiente continuar el desarrollo del sistema para obtener un prototipo más completo. Esto podría realizarse incorporando nuevas interacciones (e.g. interacciones multimodales), nuevos contenidos aumentados y portando el sistema a dispositivos móviles. Consideraciones más puntuales que deberían contemplarse de la implementación fueron obtenidas en base a los resultados de la evaluación conducida y son detalladas en el siguiente capítulo.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Capítulo 6

Evaluación de Usuario

La comunidad científica concuerda en la importancia de evaluar las interfaces de RA. Sin embargo, desde el punto de vista de la RA no existe un punto de vista común en cuanto al método más apropiado para evaluar sistemas de RA [Dünser y Billingham, 2011]; de hecho, es escasa la cantidad de evaluaciones formales realizadas [Edward et al., 2005; Dünser et al., 2007, 2008b]. Por lo tanto se asume al menos por el momento que no existe un único método que sea considerado el más apropiado. El método a ser utilizado para evaluar un sistema de RA está únicamente dedicado a responder la pregunta que los investigadores se plantean.

Este contexto general de los sistemas de RA, naturalmente se refleja en particular en las aplicaciones de libros aumentados. Se han planteado diferentes propuestas para evaluar estos sistemas [Martín-Gutiérrez et al., 2010; Dünser et al., 2012a; Gutierrez y Fernandez, 2014], donde el experimento realizado está enfocado concretamente en las particularidades de la aplicación. Por consiguiente, las metodologías empleadas hasta el momento están enfocadas a la aplicación en particular de libros aumentados utilizada.

Teniendo en cuenta este contexto, y partiendo de los métodos de evaluación propuestos en la literatura [Grasset et al., 2007], en este capítulo exploramos una pregunta de investigación mediante una evaluación de usuario utilizando una nueva metodología. En lugar de enfocarnos en una métrica de desempeño en particular para los libros aumentados, nos centramos en intentar capturar datos que reflejen cómo se adaptan los usuarios a esta interfaz de RA. Siguiendo esta metodología pudimos arribar a conclusiones que validan nuestra propuesta para extender los libros aumentados tradicionales, facilitando el aprendizaje de RA por parte de usuarios sin experiencia previa en esta tecnología.

En base a estos resultados, se derivan conclusiones que permiten generalizar los datos obtenidos para distintas aplicaciones de RA.

Primero presentamos un breve resumen detallando el objetivo y el procedimiento general de una evaluación de un sistema de software general y en particular de RA. Luego presentamos el diseño y procedimiento de la metodología experimental que proponemos y detallamos los resultados obtenidos. Finalmente, presentamos la discusión de estos resultados, cerrando el capítulo con las conclusiones y el trabajo a futuro que se desprende de la metodología de evaluación utilizada.

6.1. Evaluaciones de Aplicaciones de RA

Como sucede usualmente con las nuevas tecnologías, en un principio los investigadores y desarrolladores debieron resolver inconvenientes tecnológicos. Este comportamiento también puede aplicarse a la RA, donde en un principio la investigación se enfocó en desarrollar *sistemas de tracking*, sistemas de *display*, herramientas de autoría o nuevos dispositivos de entrada. Sin embargo, a medida que se alcanzó un estado más maduro del área y se desarrollaron una gran cantidad de aplicaciones, la evaluación de estos sistemas por parte de los usuarios cobró mayor relevancia. No obstante, los sistemas que han sido evaluados de manera formal aún son escasos [Dünser et al., 2007]. Una de las principales razones es, sin duda, la falta de métodos adecuados de evaluación para las interfaces de RA.

Antes de describir los enfoques más representativos que se han utilizado hasta el momento para evaluar aplicaciones de RA, es importante resaltar los conceptos generales que se evalúan respecto a la usabilidad de un sistema. Ya que en general, éstos son los utilizados para aplicaciones de RA.

6.1.1. Estudio de Usabilidad

Como mencionamos, para la evaluación de usuario nos centraremos en el *test de usabilidad*. Según la Organización Internacional de Estándares, la usabilidad se define identificando tres aspectos: “la extensión en la cual un producto puede ser utilizado por usuarios específicos para alcanzar metas específicas en cuanto a efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto específico de uso” (ISO 9241-11). Nielsen [1993a] define la usabilidad

de un sistema de software asociada a cinco atributos:

- *Facilidad de aprendizaje*: representa qué tan sencillo resulta para un usuario realizar una tarea la primera vez que éste se encuentra en contacto con el sistema.
- *Eficiencia*: identifica con qué eficiencia los usuarios realizan las tareas con el sistema.
- *Facilidad de Memorizar*: representa qué tan sencillo es lograr un uso fluido de la aplicación al realizar sesiones de uso con el sistema en distintos momentos.
- *Errores*: consiste en evaluar durante el uso del sistema cuántos errores comete el usuario, que tan severos son y con qué facilidad puede recobrase de estos errores.
- *Satisfacción*: describe que tan placentero fue el uso del sistema para el usuario.

Estos atributos de un sistema pueden utilizarse en dos tipos de evaluaciones. Estas evaluaciones son la *formativa*, es decir, aquéllas en las que el objetivo es recolectar datos que permitan mejorar la interfaz del sistema como parte de un proceso iterativo de diseño y la *sumativa*, cuyo objetivo es medir la calidad de la interfaz de un sistema como producto final. En cualquier caso, al momento de conducir una evaluación, están estipuladas ciertas etapas básicas [Bailey, 1996] que son:

1. *Definir qué se desea evaluar*: establecer cuál será el objetivo de la evaluación.
2. *Especificar el tipo de usuario a evaluar*: describir el tipo de usuario al que será destinada la evaluación para luego poder seleccionar usuarios representativos.
3. *Definir las hipótesis que conducirán el experimento*: especificar las hipótesis que se desean evaluar mediante el experimento.
4. *Definir un escenario compuesto por tareas*: la evaluación estará compuesta por al menos un escenario, que a su vez estará compuesto por varias tareas. Estas tareas son las acciones que tiene que resolver el participante ¹ y a partir de cuales se recolectarán los resultados.

¹En el contexto de las evaluaciones de sistemas de software, al usuario que participa de la evaluación es denominado participante. Denominaremos indistintamente a usuario y participante.

5. *Establecer cómo será evaluado el escenario:* se deben especificar cuáles serán las métricas a obtener tanto durante las tareas (medir tiempo, errores, observaciones, etc.) como al finalizar el escenario de evaluación (cuestionarios, entrevistas, etc.)
6. *Conducir la evaluación y obtener los datos:* realizar la evaluación con los participantes siguiendo el diseño especificado en las dos etapas anteriores.
7. *Analizar los resultados:* realizar el análisis de los datos recolectados en la etapa anterior, contrastando con las hipótesis definidas.

6.1.2. Interfaces de RA

El objetivo detrás de realizar un experimento en el ámbito de la RA se enfoca en generalizar resultados que respondan a una pregunta de investigación, en lugar de detectar problemas de uso, que podrían ser de mayor utilidad en las primeras etapas de desarrollo del sistema. Por lo tanto, evaluar nuevos diseños con usuarios puede ser una herramienta muy poderosa en el proceso de investigación, siempre y cuando se realice de manera adecuada.

Según Dünser y Billinghurst [2011], los estudios de usuarios pueden agregar gran valor al trabajo de investigación si son realizados en base a un diseño, procedimiento y análisis riguroso, en pos de responder una pregunta significativa de investigación. Las aplicaciones de RA han sido evaluadas utilizando enfoques clásicos de usabilidad [Bach y Scapin, 2003; Sutcliffe y Gault, 2004; Dünser et al., 2007], aunque como argumentan Sutcliffe y Kaur [2000], estos métodos no son adecuados en aquellos casos en los que es necesario evaluar nuevas interfaces que se alejen del concepto clásico WIMP. Stanney et al. [2003] destacan las siguientes limitaciones de los métodos de usabilidad tradicionales aplicados a ambientes virtuales:

- Interacciones tradicionales de *apuntar* y *clickear* son difíciles de comparar con la selección y manipulación de objetos multidimensionales en el espacio 3D.
- Los sistemas de salida multimodal (visual, auditiva o háptica) no son abordados exhaustivamente por los métodos tradicionales.
- La evaluación de los efectos de los ambientes virtuales sobre el usuario no está abarcado por los métodos tradicionales.

- Las medidas tradicionales de desempeño (como medir tiempos o errores al realizar tareas) no siempre caracterizan correctamente los sistemas de interacción virtuales.
- La ausencia de métodos para evaluar la colaboración en un mismo ambiente impide evaluar esta características de los sistemas virtuales.

Estas limitaciones orientadas a ambientes virtuales claramente se manifiestan en el caso de las aplicaciones de RA. Por ejemplo, las conocidas heurísticas de usabilidad propuestas por Nielsen y Molich [1990] no cubren los problemas relacionados a posicionar, seleccionar y manipular objetos en el espacio 3D. De la misma manera, la comunicación entrada/salida que se obtiene en interfaces de RA requiere diferentes enfoques de evaluación. Por lo tanto, las aplicaciones de RA son analizadas mediante evaluaciones diseñadas específicamente para la aplicación en cuestión y el objetivo concreto de investigación. Dünser y Billinghamurst [2011] se basaron en los trabajos de [Edward et al., 2005] y [Dünser et al., 2008a] para identificar las siguientes cuatro categorías de evaluación empleadas en aplicaciones de RA:

1. Experimentos donde analizan la percepción y cognición humana con tareas elementales.
2. Experimentos donde analizan el desempeño o rendimiento del usuario en la realización de tareas.
3. Experimentos donde evalúan la colaboración entre usuarios.
4. Estudios del diseño y la usabilidad del sistema.

Además de estas cuatro categorías identificaron los métodos de evaluación generalmente utilizados, destacándose los siguientes:

1. *Medidas objetivas*: Métodos que provean un considerable número de observaciones confiables y repetibles. Pueden ser medidas obtenidas de manera automática o mediante un evaluador. Generalmente abarcan medidas de tiempo (e.g. tiempo empleado en realizar una tarea), medidas de precisión (e.g. tasas de errores), puntuaciones en la realización de tareas, etc.
2. *Medidas subjetivas*: Métodos que se basan en el juicio u opinión subjetivo de las personas, incluyendo cuestionarios, puntajes u opiniones.

3. *Análisis cualitativo*: Estos métodos no se basan en reflejar los resultados en números. Los datos son obtenidos a través de observaciones estructuradas, como lo son la observación directa y el análisis de la sesión registrada en un video, o bien a través de entrevistas, como lo son las entrevistas estructuradas o semi-estructuradas ².
4. *Técnicas de evaluación sin usuarios*: Estos métodos incluyen las técnicas como análisis heurísticos o que son realizadas por participantes que no serán los usuarios de la aplicación. En general éstos son expertos en usabilidad que utilizan la aplicación para encontrar errores o sugerir mejoras en base a su experiencia.
5. *Análisis informales*: Muchas publicaciones de RA informan sus conclusiones basadas en la observación informal de los usuarios o los comentarios suministrados por estos (e.g. opiniones de usuarios que se podrían obtener durante una demostración pública de la aplicación).

Sin embargo, si se consideran los diferentes tipos de métodos de evaluación empleados hasta el momento, no existe un método que sea el *más adecuado*; incluso ciertos aspectos como lo es el describir la experiencia del usuario al utilizar el sistema carecen de métodos específicos que sean apropiados. Como mencionamos anteriormente, el diseño de la evaluación va a depender de la pregunta de investigación que los investigadores estén interesados en analizar. De hecho, en algunos casos los investigadores deberán acudir a otras disciplinas para encontrar métodos que sean adecuados para analizar determinadas tareas (e.g. colaboración entre usuarios). Por lo tanto, las evaluaciones deberán adaptarse partiendo de los análisis clásicos de usabilidad a los objetivos concretos de investigación. El grado en que se respeten las evaluaciones tradicionales dependerá del criterio de los investigadores y de sus objetivos de investigación concretos. Por lo tanto, queda pendiente la obtención de guías o modelos concretos que permitan a los investigadores diseñar evaluaciones que contemplen las interacciones de las aplicaciones de RA en base a un marco común.

²Con entrevistas *estructuradas* nos referimos a las entrevistas que tienen cierta cantidad de preguntas estipuladas a ser contestadas por el participante. En cambio las entrevistas *semi-estructuradas* son más flexibles y permiten al participante responder preguntas abiertas que deriven en otras.

6.2. Metodología Propuesta

Para evaluar la extensión propuesta a los libros aumentados utilizando el sistema ARBS implementado diseñamos una nueva metodología. Ésta nos permitió evaluar tanto las interacciones con el ARB como la usabilidad del sistema. Nos centramos en un tipo de usuario que no posea conocimientos técnicos previos, ya sea conocimientos informáticos avanzados o de la tecnología de RA. Con esto pretendemos reforzar en el análisis que tan difícil es aprender a utilizar el sistema, o bien, hasta qué punto resulta un impedimento el aprendizaje de la tecnología para usuarios nóveles. Como fue descrito en la sección anterior, al momento de realizar una evaluación de un sistema de RA existen ciertas etapas básicas. A continuación describimos la metodología propuesta en base a dichas etapas.

6.2.1. Objetivo de la Evaluación

El objetivo general que conduce la evaluación propuesta es estudiar cómo usuarios nóveles generan un libro aumentado a partir de un libro tradicional, analizando qué interacciones resultan naturales para llevar a cabo esta tarea. Este objetivo general puede desglosarse específicamente en los siguientes objetivos concretos:

1. Evaluar las interacciones que permiten generar e interactuar con un ARB para determinar cuáles resultan naturales al libro tradicional.
2. Evaluar la usabilidad del sistema ARBS.
3. Analizar las dificultades presentes para aprender a utilizar el sistema y la tecnología de RA por usuarios nóveles.

6.2.2. Tipo de Usuario

Debido a que parte del objetivo de la metodología es analizar la utilización del sistema por parte de usuarios nóveles, consideramos de importancia contemplar usuarios que no sean expertos, es decir, que no posean conocimientos técnicos avanzados de informática, como lo serían conocimientos de programación, computación gráfica o tecnologías de RA. De esta manera, caracterizamos un usuario que deba aprender a utilizar el sistema desarrollado como también la tecnología de RA. Para esto decidimos especificar los tipos

de usuarios en tres niveles como muestra la Tabla 6.1. En base a esta caracterización de usuario propuesta, en la evaluación estamos interesados en los resultados que involucran a participantes que no sean considerados como expertos.

Nóvel	Posee el conocimiento básico del uso de una computadora. (e.g. Windows, Paquete Office, Facebook, Twitter, Skype, etc.)
Intermedio	Posee un uso fluido de la computadora, utilizándola en su trabajo diario.
Experto	Posee conocimientos informáticos avanzados. (e.g. programación, computación gráfica, diseño 3D, etc.)

Tabla 6.1: Caracterización para establecer el conocimiento informático de los participantes.

6.2.3. Hipótesis a Evaluar

En base a los objetivos de la evaluación propuestos, planteamos ciertas hipótesis a contrastar con los resultados que se obtengan de la evaluación. Las hipótesis formuladas se pueden separar en dos grupos, un grupo que guíe el estudio respecto al aprendizaje de la generación y manipulación de los libros aumentados y otro respecto a las propiedades físicas de los elementos involucrados. De esta manera, con el primer grupo de hipótesis nos centramos en el aprendizaje del manejo de libros aumentados y su entorno. Con el otro grupo de hipótesis, intentamos analizar cómo es afectado el uso del sistema considerando las características físicas de los marcadores o las del libro tales como su grosor, la curvatura de sus páginas o el tipo encuadernación.

A continuación se detallan las hipótesis formuladas y que guiarán la evaluación (las primeras cuatro pertenecientes al primer grupo, y las tres restantes al segundo):

H_1 Utilizar el sistema no requiere conocimientos técnicos previos.

H_2 El tiempo empleado en la tarea- n no es afectado por el conocimiento previo de tareas previas.

H_3 Comenzar a utilizar el sistema con un ARB existente no es equivalente en dificultad a comenzar a utilizar el sistema creando un ARB.

H_4 Utilizar la página correcta del libro es relevante al posicionamiento de los contenidos virtuales.

H_5 Utilizar marcadores planos resulta inadecuado (incómodo) para el sistema.

H_6 El grosor del libro afecta el posicionamiento de contenidos aumentados.

H_7 La curvatura de las páginas superiores del libro afecta el posicionamiento de contenidos aumentados.

6.2.4. Escenarios

En base a los objetivos e hipótesis planteadas, decidimos optar por un diseño de evaluación que contemple dos casos bien definidos: (i) cuando el usuario utiliza por primera vez el sistema creando un nuevo ARB, (ii) cuando el usuario utiliza por primera vez el sistema interactuando con un ARB ya creado. Esto nos permite analizar con mayor fidelidad la dificultad de aprendizaje de la propuesta para libros aumentados como también de la utilización de la RA. Por lo tanto, cada caso representará un escenario distinto, contando con un diseño entre-sujetos en el cual intervienen dos grupos de participantes. Cada grupo utilizará el sistema en los escenarios propuestos en distinto orden. Por otra parte, también se contempla un diseño intra-sujetos ya que cada participante efectuará las tareas de los dos escenarios.

La estructura general del experimento fue diseñada en cinco fases como se muestra en la Tabla 6.2. La primera fase está dividida en dos etapas. La primera etapa consiste en responder un cuestionario para recopilar información demográfica y conocimiento informático del participante, en tanto que la segunda está destinada a realizar una breve introducción de la evaluación y del sistema, para asegurar un mismo punto de partida en todos los participantes.

Las fases 2 y 3 consisten en la evaluación de cada escenario. El diseño se basa en dividir la cantidad total de participantes en dos grupos, de manera que cada grupo realice las tareas de los dos escenarios en distinto orden. Para notar cada grupo consideramos denominar los escenarios de la siguiente manera:

1. EI: escenario donde se genera un ARB a partir de un libro tradicional.
2. EA: escenario donde se utiliza un ARB ya existente.

Por lo tanto los dos grupos de participantes los podemos diferenciar notando de la siguiente manera:

	Group GIA	Group GAI
Fase 1a	Cuestionario sobre el conocimiento del participante	
Fase 1b	Breve introducción a la evaluación	
Fase 2	Evaluación Escenario EI	Evaluación Escenario EA
Fase 3	Evaluación Escenario EA	Evaluación Escenario EI
Fase 4	Cuestionario subjetivo	
Fase 5	Entrevista semi-estructurada	

Tabla 6.2: Detalle de la estructura de la metodología propuesta para evaluar el sistema ARBS. Se propone realizar las tareas de dos escenarios, denominados EI y EA, en distinto orden por el grupo de participantes GIA y GAI.

1. GIA: grupo de participantes que realizan primero las tareas del escenario EI y luego las del escenario EA.
2. GAI: grupo de participantes que realizan primero las tareas del escenario EA y luego las del escenario EI.

En cada escenario se llevarán a cabo diferentes tareas que se orientan a evaluar las interacciones provistas para manipular los libros y sus contenidos aumentados. Las tareas en cada escenario serán distintas pero similares, de forma que sea posible analizar el desempeño de los participantes en en cada uno de estos y comparar cómo realizan las tareas. De esta manera se puede analizar y comparar la transferencia de conocimiento de cada grupo de participantes. Con este diseño de medidas repetidas dentro del grupo de participantes (diseño intra-sujetos) podemos estudiar si el aprendizaje del enfoque propuesto tiene una dificultad similar en los dos casos posibles (comenzando a utilizar el sistema creando un nuevo ARB o partiendo desde uno ya existente).

Para cada escenario consideramos tareas donde podamos evaluar las distintas operaciones que se realizan con el sistema ARBS. Como se detalla en la Tabla 6.3, especificamos tareas que abarquen las operaciones en cuanto a la gestión del perfil usuario, el ARB y los contenidos aumentados. Un detalle completo de las tareas a desarrollar en cada escenario es presentado en la Sección 6.3.4.

Finalmente, el objetivo de las fases 4 y 5 es recopilar información subjetiva. La fase 4 consiste en un cuestionario subjetivo basado en cuatro bloques: opiniones sobre usabilidad, opiniones sobre la evaluación, opiniones sobre la tecnología y sugerencias sobre

Tipos de tareas		
Tipo	Operaciones	Tipo Contenido
Usuario	creación	-
	manejo de sesión	-
ARB	creación	-
	búsqueda	-
Contenido		texto
	incorporación	imagen
		modelo 3D
		texto
	visualización	imagen
		modelo 3D

Tabla 6.3: Descripción del tipo de tareas consideradas para los escenarios de la evaluación.

el sistema. La fase 5 se basa en una entrevista semi-estructurada en la cual el evaluador propone preguntas abiertas para obtener opiniones y sugerencias adicionales de los participantes.

6.2.5. Datos a Medir

Para evaluar las hipótesis H_1 y H_2 se mide el tiempo empleado para completar cada tarea como también la tasa de éxito en la realización de éstas [Nielsen, 1993a; Tullis y Albert, 2013]. Las hipótesis (H_3 a H_7) serán contrastadas en base a los resultados que se obtengan de los participantes respecto a los cuestionarios subjetivos y la entrevista realizada por el evaluador. Como complemento a estos datos, el evaluador tomará notas en base a las observaciones que se registren del desempeño de cada participante durante la evaluación.

6.3. Evaluación Conducta

A continuación describimos los detalles más importantes de la evaluación conducta. Detallamos el reclutamiento de los participantes, el ambiente de evaluación, el procedimiento general realizado y la presentación de las tareas que se llevan a cabo en los escenarios.

6.3.1. Participantes

El procedimiento utilizado para el reclutamiento de participantes fue mediante avisos públicos en la Universidad donde se desarrolló esta tesis. Los avisos fueron públicos y distribuidos en los distintos departamentos que conforman la Universidad, de forma que la difusión fuese equitativa y no se produjera ningún desvío en el reclutamiento de los participantes. Es importante destacar que no se ofreció ninguna compensación monetaria por participar de la evaluación, esperando que los participantes que acudieran tuviesen cierto entusiasmo por conocer nuevas tecnologías. Los participantes fueron asignados a los dos grupos de manera aleatoria.

Participaron de la evaluación veinte personas con edades en el rango de 25 a 49 años ($M=34.3$, $DS=11.1$) siendo 10 de ellas hombres y 10 mujeres. Nueve participantes informaron que habían utilizado al menos una aplicación de modelado 3D. Doce participantes informaron que habían escuchado acerca del término de RA pero solamente diez afirmaron que creen saber qué es la RA. Solo dos participantes respondieron haber utilizado una aplicación de RA. La experiencia de los participantes, establecida con la escala propuesta en la Sección 6.2.2 (usuarios nóveles, intermedios o expertos), se divide en diez participantes que se consideraron como usuarios nóveles, seis como usuarios intermedios y solamente cuatro como usuarios expertos. Las principales actividades de los participantes fueron informadas como estudiantes universitarios (6), estudiantes de posgrado (6), profesores (3) y otras (5).

Es importante mencionar que ninguno de los participantes presentó alguna dificultad motriz que pudiese afectar la manipulación de los libros físicos. Podemos concluir que no existió ningún tipo de discapacidad (como algún problema físico o limitación cognitiva) que pudiera afectar los resultados del experimento generando algún tipo de sesgo. De hecho, todos los participantes informaron que podían manipular los libros y marcadores sin ningún impedimento o dificultad.

Finalmente, dado que uno de los objetivos era estudiar el desempeño de usuarios que no fuesen expertos, no hemos tomado en cuenta a este tipo de participantes para el análisis de los resultados. De esta manera, intentamos descartar cualquier tipo de sesgo que pudiera ser ocasionado debido a conocimiento relacionado con programación, gráficos 3D o incluso RA. Es importante destacar que los resultados del único usuario que no era experto y que informó haber utilizado una aplicación de RA no fue descartado

ya que su conocimiento se basaba en una aplicación de RA de tipo móvil basada en geo-posicionamiento. Ese tipo de conocimiento no lo consideramos influyente en el actual experimento. En la Figura 6.1 resumimos de manera gráfica la información descriptiva de los participantes de la evaluación (omitiendo los cuatro participantes expertos).

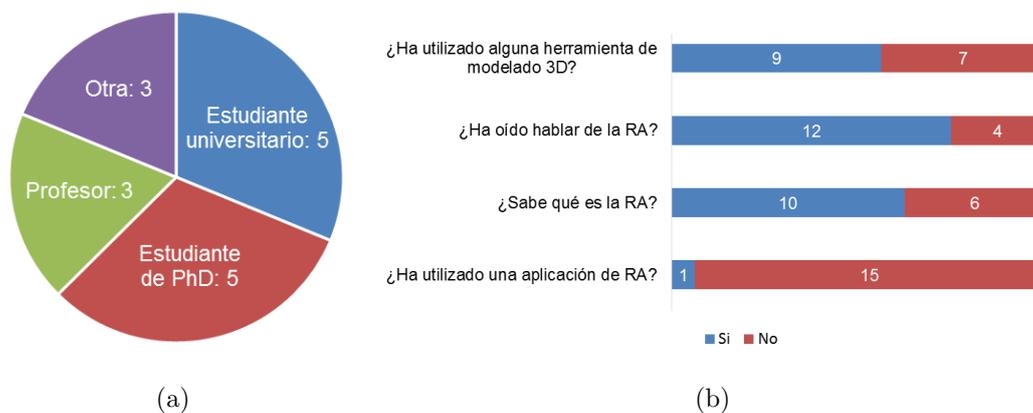


Figura 6.1: Principales actividades de los participantes (a) y detalles de su conocimiento general sobre RA (b). No se tuvieron en cuenta los participantes considerados como usuarios expertos.

6.3.2. Ambiente de Evaluación

La computadora utilizada para correr el sistema ARBS durante el experimento fue una máquina con procesador AMD Phenom II X4 840, 4GB DDR3 de memoria y una tarjeta gráfica ATI Radeon HD 5750; el sistema operativo utilizado fue Microsoft Windows 7 64-bit. Como dispositivo de entrada se utilizó una cámara Logitech 9000 pro. Cada participante realizó la evaluación de manera individual en un ambiente como el que se ilustra en la Figura 6.2(a).

Se utilizaron cuatro libros con diferentes características físicas, como lo son libros de tapa dura/blanda, distinto tamaño y distinta cantidad distribuida de texto/ilustraciones; también se proveyeron cuatro marcadores planos blanco y negro como muestra la Figura 6.2(b)). Dadas las características particulares de los libros físicos, se consideró incluir tareas que implicasen evaluar cómo la curvatura de las hojas era, por ejemplo, percibida por los usuarios al momento de posicionar los elementos virtuales (ver Fig. 6.2(c)-(d)). De manera similar, se consideraron libros que contenían páginas con diferente distribución de texto, ilustraciones e imágenes permitiendo estudiar cómo impacta esto en la creación de los libros aumentados (ver Fig. 6.2(e)).



Figura 6.2: Ambiente de evaluación utilizado (a), los cuatro libros y los marcadores utilizados en el experimento (b), ejemplo de la influencia de la curvatura de las páginas (c)-(d) y distintas disposiciones de texto, ilustraciones e imágenes en las páginas (e).

6.3.3. Procedimiento General

La evaluación siguió el diseño presentado en la Tabla 6.2 (ver Sección 6.2.4). Cada participante fue evaluado de manera individual en presencia del evaluador que se limitó a tomar notas en base a las observaciones que resultaran de importancia. Luego del cuestionario inicial para obtener la descripción del participante, se introdujo brevemente la idea de la evaluación en aproximadamente 10 minutos. Esta introducción se le dio a cada participante en una hoja impresa de manera que todos recibieran el mismo contenido informativo y no se hiciera referencia explícita a alguna característica puntual de la interfaz del sistema. Posteriormente, al comienzo de las fases dedicadas a los escenarios de la evaluación, el evaluador suministró al participante cada tarea en hojas impresas. Una vez que el participante informaba que consideraba que había cumplido el objetivo descrito en el papel suministrado, el evaluador le entregaba la próxima tarea a ser llevada a cabo. Los participantes no estaban obligados a terminar la evaluación o la tarea en ejecución en caso de que les resultara incómoda o frustrante su realización. Los participantes fueron alentados a verbalizar sus pensamientos de manera de obtener información de lo que ellos

estaban pensando o haciendo en cada situación. Si bien debían realizar la evaluación de manera individual, estaba permitido que solicitaran asistencia. El evaluador solamente los guiaba sin hacer mención explícita a la interfaz de la aplicación o a cómo debían resolver la tarea puntual; estos casos fueron documentados por el evaluador.

6.3.4. Escenarios y Tareas

Cada uno de los escenarios estaba compuesto por doce tareas (ver Tabla 6.4). Las tareas las podemos separar en dos grupos, las tareas orientadas puramente a la aplicación y las tareas orientadas a las interacciones con el libro aumentado. Con las primeras nos referimos a tareas que eran necesarias para que el participante utilizase el sistema, como lo son crear un usuario o ingresar al sistema. Con el otro grupo de tareas nos referimos a las distintas interacciones que se proponen para generar o explorar un ARB.

Escenario EI			Escenario EA		
N.	Tareas	Observaciones	N.	Tareas	Observaciones
1	crear usuario	opcional	1	crear usuario	opcional
2	iniciar sesión	–	2	iniciar sesión	–
3	crear ARB	–	3	buscar ARB	–
4	buscar ARB	–	4	visualizar contenido	modelo 3D marcador fijo
5	incorporar contenido	texto	5	visualizar contenido	modelo 3D marcador libre
6	incorporar contenido	imagen marcador fijo	6	incorporar contenido	imagen marcador fijo
7	incorporar contenido	modelo 3D marcador libre	7	incorporar contenido	imagen marcador libre
8	incorporar contenido	imagen marcador fijo/libre	8	crear ARB	–
9	buscar ARB	–	9	buscar ARB	–
10	visualizar contenido	imagen marcador fijo	10	incorporar contenido	modelo 3D marcador libre
11	incorporar contenido	imagen mult. libros	11	incorporar contenido	imagen marcador fijo
12	finalizar sesión	–	12	finalizar sesión	mult. libros –

Tabla 6.4: Tareas a realizar en cada escenario.

Respecto a las tareas de cada escenario podemos destacar los siguientes detalles de importancia:

Presentación Las tareas fueron definidas como una descripción de lo que se debía realizar sin ninguna referencia explícita a la interfaz del sistema. La descripción completa de las tareas de cada escenario puede encontrarse en el Apéndice A.1.

Tareas de aplicación Los escenarios poseen tareas que apuntan al manejo de sesión (crear usuario, iniciar y finalizar sesión) que son necesarios para utilizar el sistema.

Tareas de interacciones Se incorporaron tareas para la creación y búsqueda de un ARB como también para la incorporación y visualización de contenidos. Respecto a los contenidos se contemplaron contenidos de tipo texto, imagen y modelo 3D (tanto la imagen como el modelo 3D eran suministrados en la evaluación y no debían crearse con algún software externo). Estas tareas requerían la selección de un contenedor, página y marcador adecuados.

Múltiples libros También fueron consideradas tareas en las que se requería el manejo de múltiples libros. Se consideró la utilización de dos libros de manera concurrente para analizar como influía en el uso del sistema.

Marcadores Consideramos tareas que apuntasen al uso de los dos tipos de marcadores propuestos (marcadores fijos y libres). Se propusieron tareas donde se sugería el uso de uno en particular e incluso tareas donde el participante debía elegir el que consideraba más adecuado. Si bien el sistema puede utilizarse con un único marcador, el contar con cuatro marcadores permitió estudiar cómo los participantes decidían sobre el uso de un único marcador o varios de ellos. En el caso de los marcadores fijos también se estudió el posicionamiento de los contenidos virtuales, ya que se sugería posicionar contenidos en determinadas ubicaciones sobre las hojas del libro (ver Fig. 6.3).

6.4. Resultados

En esta sección presentamos los resultados de la evaluación respecto a las variables medidas. Detallamos las mediciones del tiempo empleado en las tareas, las tasas de éxito en la realización de las mismas y los resultados subjetivos de los cuestionarios. Finalmente comparamos los resultados en base a los datos obtenidos de ambos grupos de participantes.

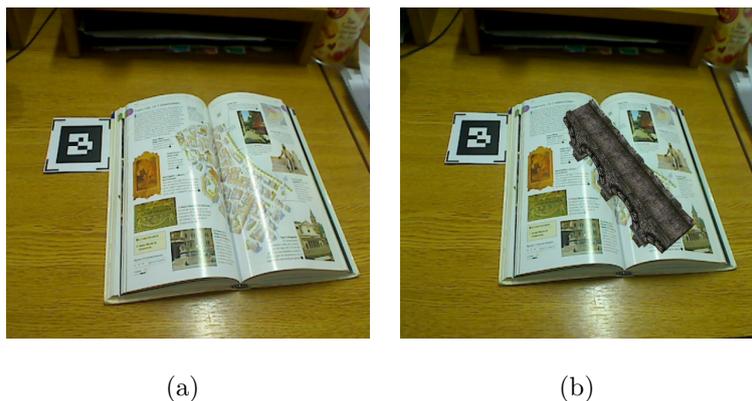


Figura 6.3: Incorporación de contenidos en ubicaciones específicas de las páginas utilizando marcadores fijos. Se sugería ubicar un modelo 3D a lo largo de la ilustración impresa en las páginas del libro como muestran las figuras (a) y (b).

6.4.1. Tiempo Empleado

Medimos el tiempo empleado por cada participante para realizar las tareas de ambos escenarios. El tiempo promedio total de los escenarios correspondientes a cada grupo es presentado de manera gráfica en la Figura 6.4 (mayor detalle de los tiempos empleados en cada tarea puede consultarse en el Apéndice A.2). Estos resultados fueron analizados mediante un estudio de t-Student con muestras apareadas del cual se obtienen diferencias significativas en el escenario de cada grupo (Grupo GIA $t(8)=6.978$, $p=0.0002$ y Grupo GAI $t(8)=7.749$, $p=0.0001$). De este análisis inicial podemos inferir que el segundo escenario realizado por cada grupo de participantes revela una operación más ágil. Por lo tanto, podemos considerar los resultados de este análisis como un primer indicio de transferencia de conocimiento del primero al segundo escenario.

Un análisis en mayor profundidad del tiempo medido también revela un decrecimiento en el tiempo promedio empleado en las tareas del mismo tipo. En la Figura 6.5 se muestra el tiempo promedio empleado por los participantes del Grupo GIA en los tres tipos distintos de tareas relativas a los contenidos aumentados. Dentro de las seis tareas que involucraban la incorporación de contenido aumentado se evidencian diferencias altamente significativas determinadas por un análisis ANOVA Simple ($F(5, 42)=11.03$, $p<0.001$). El mismo análisis demuestra que también existen diferencias altamente significativas en las tres tareas relacionadas con la visualización de contenidos aumentados ($F(2, 21)=24.14$, $p<0.001$). En el caso de las dos tareas que implicaban el uso de múltiples libros, la comparación de éstas solamente revela diferencias significativas ($F(1, 14)=6.29$,

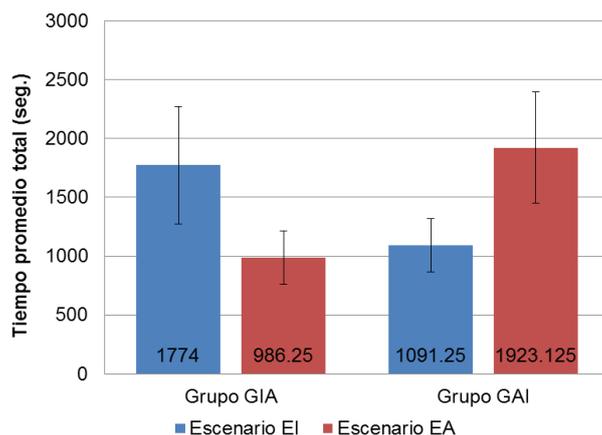
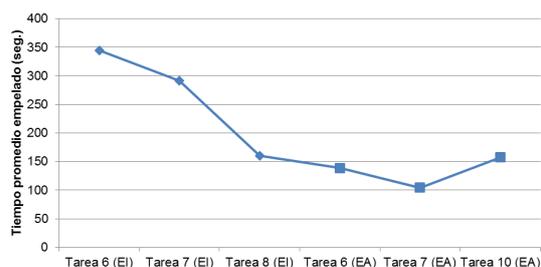


Figura 6.4: Tiempo promedio total empleado por los participantes para completar ambos escenarios. Notar que el Grupo GIA realizó primero el Escenario EI y luego el Escenario EA, en tanto que el Grupo GAI realizó primero el Escenario EA y luego el Escenario EI. Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95 %.

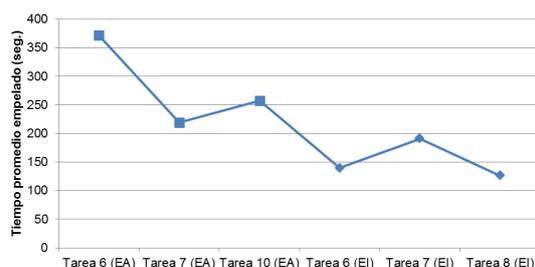
$p < 0.025$).

Un análisis posterior en base a la prueba *post hoc* de Tukey sobre los resultados del análisis ANOVA Simple es detallado en la Tabla 6.5. Este análisis aplicado a las tareas que involucraban la incorporación de contenido al libro revelaron que el tiempo promedio empleado en las tareas del segundo escenario fueron significativamente menores al tiempo empleado en las tareas del primer escenario. En particular, las tareas 6 y 7 del primer escenario presentan diferencias significativas respecto al resto de las tareas. Realizando el mismo análisis en los resultados de las tareas de visualización de contenidos también se encuentran diferencias significativas. Este análisis *post hoc* claramente demuestra la presencia del efecto de aprendizaje que influencia el tiempo que los participantes del Grupo GIA emplearon en el segundo escenario.

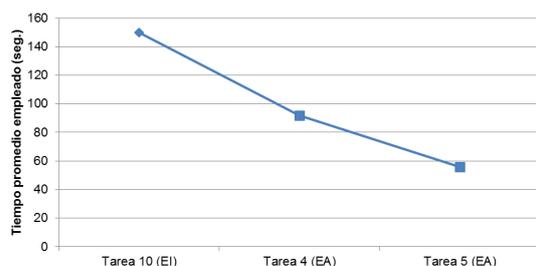
Los participantes del Grupo GAI también revelan un decrecimiento general en el tiempo empleado en las diferentes tareas del segundo escenario realizado (EIA), detallado de manera gráfica en la Figura 6.5. El análisis de ANOVA Simple refleja diferencias altamente significativas en las seis tareas relacionadas a la incorporación de contenido ($F(5, 42) = 14.26$, $p < 0.001$). Para el caso de las tareas que involucraban la visualización de contenidos aumentados también se observan diferencias altamente significativas ($F(2, 21) = 32.29$, $p < 0.001$). Finalmente, en el caso de las dos tareas en las que se empleaban múltiples libros encontramos solamente diferencias significativas ($F(1, 14) = 5.56$,



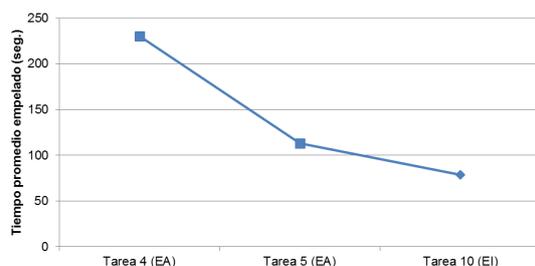
(a) Grupo GIA: incorporación de contenido.



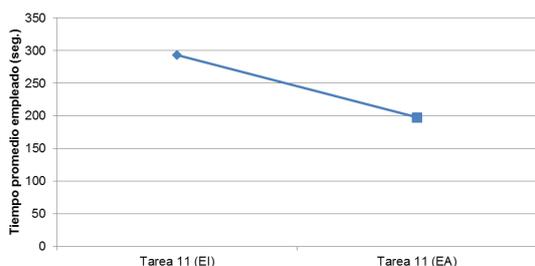
(d) Grupo GAI: incorporación de contenido.



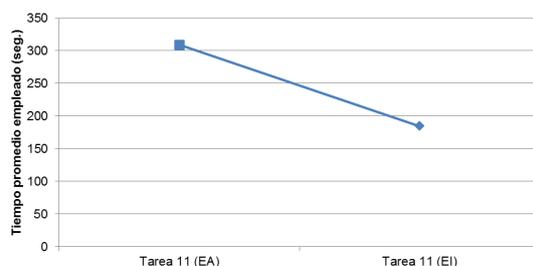
(b) Grupo GIA: visualización de contenido.



(e) Grupo GAI: visualización de contenido.



(c) Grupo GIA: manipulando múltiples libros.



(f) Grupo GAI: manipulando múltiples libros.

Figura 6.5: Tiempo promedio empleado por ambos grupos de participantes para realizar las tareas de los escenarios (en cada gráfico las tareas son presentadas en el orden en que fueron realizadas).

$p < 0.033$).

Como detallamos con el Grupo GIA, también realizamos una prueba adicional *post hoc* de Tukey sobre los resultados del análisis ANOVA Simple de las tareas de incorporación y visualización de contenidos del Grupo GAI, que es presentado en la Tabla 6.6. En ambos casos el análisis revela que el tiempo promedio empleado en la primera tarea de cada uno de estos tipos de tareas es significativamente más alto que el tiempo empleado en el resto de las tareas. De manera similar al otro grupo, esta prueba *post hoc* demuestra la presencia del efecto de aprendizaje que influencia el tiempo que emplearon los participantes del Grupo GAI para realizar las tareas de su segundo escenario.

En base a los resultados estadísticos expuestos de ambos grupos de participantes

Incorporación de Contenido (Grupo GIA)						Visualización de Contenido (Grupo GIA)		
Tareas	6 (EI)	7 (EI)	8 (EI)	6 (EA)	7 (EA)	Tareas	10 (EI)	4 (EA)
6 (EI)	-	-	-	-	-	10 (EI)	-	-
7 (EI)	<i>ns</i>	-	-	-	-	4 (EA)	**	-
8 (EI)	**	*	-	-	-	5 (EA)	**	<i>ns</i>
6 (EA)	**	**	<i>ns</i>	-	-			
7 (EA)	**	**	<i>ns</i>	<i>ns</i>	-			
10 (EA)	**	*	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>			

Tabla 6.5: Resultados de la prueba *post hoc* de Tukey comparando de a pares las distintas tareas relacionadas a la incorporación y visualización de contenidos aumentados del Grupo de participantes GIA. Las diferencias significativas con $p < .005$ son expresadas como *; las diferencias altamente significativas con $p < .001$ son expresadas como **; cuando no existen diferencias significativas es expresado como *ns*.

Incorporación de Contenido (Grupo GAI)						Visualización de Contenido (Grupo GAI)		
Tareas	6 (EA)	7 (EA)	10 (EA)	6 (EI)	7 (EI)	Tareas	4 (EA)	5 (EA)
6 (EA)	-	-	-	-	-	4 (EA)	-	-
7 (EA)	**	-	-	-	-	5 (EA)	**	-
10 (EA)	**	<i>ns</i>	-	-	-	10 (EI)	**	<i>ns</i>
6 (EI)	**	<i>ns</i>	<i>ns</i>	-	-			
7 (EI)	**	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	-			
8 (EI)	**	<i>ns</i>	**	<i>ns</i>	<i>ns</i>			

Tabla 6.6: Resultados de la prueba *post hoc* de Tukey comparando de a pares las distintas tareas relacionadas a la incorporación y visualización de contenidos aumentados del Grupo de participantes GAI. Las diferencias significativas con $p < .005$ son expresadas como *; las diferencias altamente significativas con $p < .001$ son expresadas como **; cuando no existen diferencias significativas es expresado como *ns*.

podemos confirmar la presencia de diferencias significativas en el tiempo empleado para realizar las tareas. Por lo tanto, tenemos evidencia concreta que soporta el aprendizaje y la facilidad de uso del sistema propuesto para libros aumentados (apoyando H_1 y rechazando H_2).

6.4.2. Tasa de Éxito

Medimos con qué efectividad los participantes fueron capaces de completar las tareas de ambos escenarios. Dado que uno de los objetivos del experimento era estudiar la facilidad de aprendizaje y de uso del sistema propuesto, decidimos medir la tasa de éxito con cuatro escalas [Tullis y Albert, 2013] en lugar de utilizar el modelo binario

(éxito/fracaso). Esta decisión está fundada en el hecho de que el modelo binario de tasa de éxito no permite reflejar información relevante respecto a la ejecución de las tareas, como lo son los casos en los que las tareas son completadas parcialmente (e.g. incorporar un modelo 3D sin editar sus transformaciones geométricas de posicionamiento). Por lo tanto, definimos distintos niveles de éxito basados tanto en el grado de éxito en completar la tarea como en la necesidad de asistencia para completar la misma (es importante recordar que el evaluador solamente guiaba cuando el participante pedía asistencia, y nunca se respondía de manera explícita su inquietud). La Tabla 6.7 describe los cuatro niveles de grado de éxito considerados.

Nivel	Descripción
éxito completo	completa satisfactoriamente la tarea
éxito parcial	completa satisfactoriamente la tarea pero necesitó asistencia
fallo parcial	completa satisfactoriamente la tarea pero tuvo problemas mayores
fallo completo	el participante se da por vencido y no completa la tarea

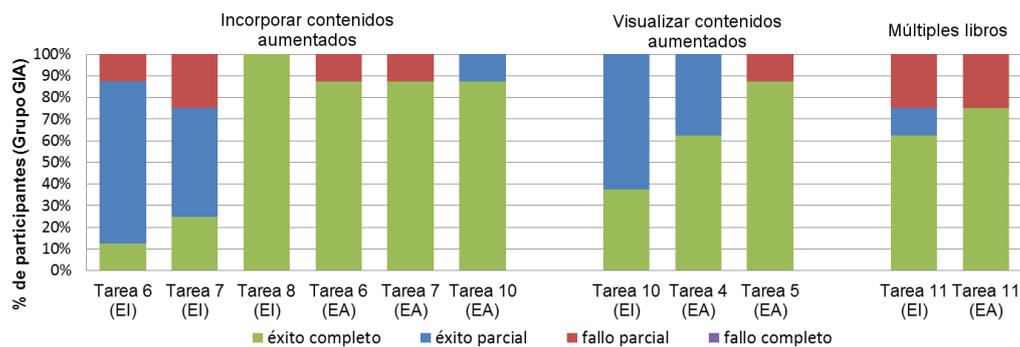
Tabla 6.7: Niveles de grado de éxito utilizados para evaluar la realización de las tareas.

Utilizando las categorías descritas, el grado de éxito de cada tarea puede especificarse de manera porcentual como lo muestra la Figura 6.6 (un detalle completo de los resultados obtenidos es provisto en el Apéndice A.2). Ninguno de los dos grupos de participantes dejó tareas inconclusas. Los participantes fueron capaces de completar todas las tareas, aunque el segundo escenario realizado por cada grupo de participantes muestra un incremento en el grado de éxito de las tareas. En el caso de los participantes del Grupo GIA, el 20% de éstos realizó las tareas de incorporación de contenidos en su primer escenario sin ningún tipo de asistencia. En el segundo escenario realizado por este grupo, se puede observar que el 80% de los participantes fueron capaces de realizar las tareas de manera correcta sin asistencia. Un incremento similar se desprende de los valores de las tareas referentes a la visualización de contenidos. Sin embargo, las tareas orientadas al uso de múltiples libros muestran que en ambos escenarios el 70% de los participantes lo completó de manera correcta.

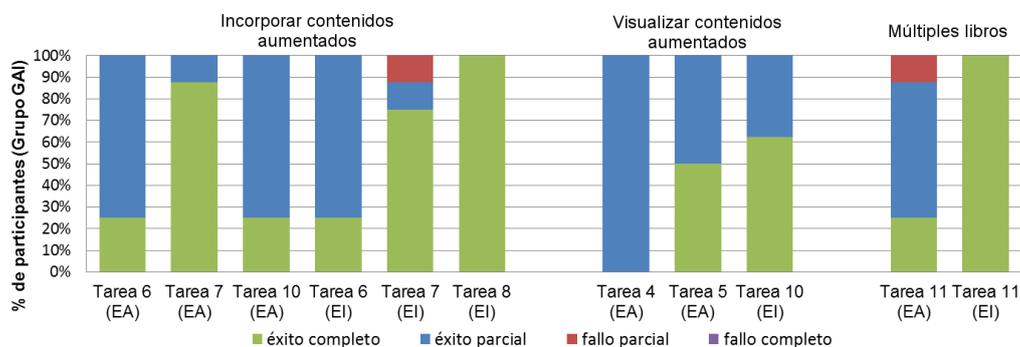
Por otra parte, en los participantes del Grupo GAI observamos resultados similares en el grado de éxito de las tareas realizadas. En el primer escenario se percibe un considerable porcentaje de asistencia; sin embargo, en el segundo escenario cerca del 70% de los

participantes realizaron las tareas de manera exitosa. No obstante, los resultados de la visualización de contenidos muestran que todos los participantes completaron el segundo escenario pero necesitaron algún tipo de asistencia (la última tarea del Escenario EI muestra que solamente el 60% de los participantes completaron esta tarea sin ningún tipo de asistencia).

En base a los datos obtenidos, podemos concluir que estos resultados también avalan el aprendizaje y facilidad de uso del sistema para libros aumentados propuesto (apoyando H_1).



(a) Grupo GIA



(b) Grupo GAI

Figura 6.6: Resultados del grado de tasa de éxito en las tareas realizadas por ambos grupos de participantes.

6.4.3. Resultados Subjetivos

La cuarta fase de la evaluación consistió en un cuestionario dividido en cuatro bloques para obtener opiniones subjetivas (el cuestionario utilizado es detallado en el Apéndice A.3). El primer bloque del cuestionario consistía en preguntas referentes a la usabilidad del sistema utilizando para las respuestas una escala *likert* de cinco niveles; los resultados

más relevantes son detallados en la Figura 6.7(a). En general, ambos grupos presentaron opiniones similares. El posicionamiento de marcadores en las inmediaciones del libro no fue percibido como un problema para los participantes, como tampoco fue considerado un inconveniente tener que utilizar marcadores planos impresos (rechazando H_5). Respecto a las propiedades físicas del libro, como la curvatura de las páginas superiores o el grosor del libro, tampoco fueron consideradas como un inconveniente en el uso del sistema. Las opiniones obtenidas respecto a estos aspectos sugieren que los participantes no percibieron estas características como un inconveniente (rechazando H_6 y H_7). Respecto a ingresar el número de página del libro de manera manual, ambos grupos no están de acuerdo ni en desacuerdo (no hay evidencia para rechazar/aceptar H_4).

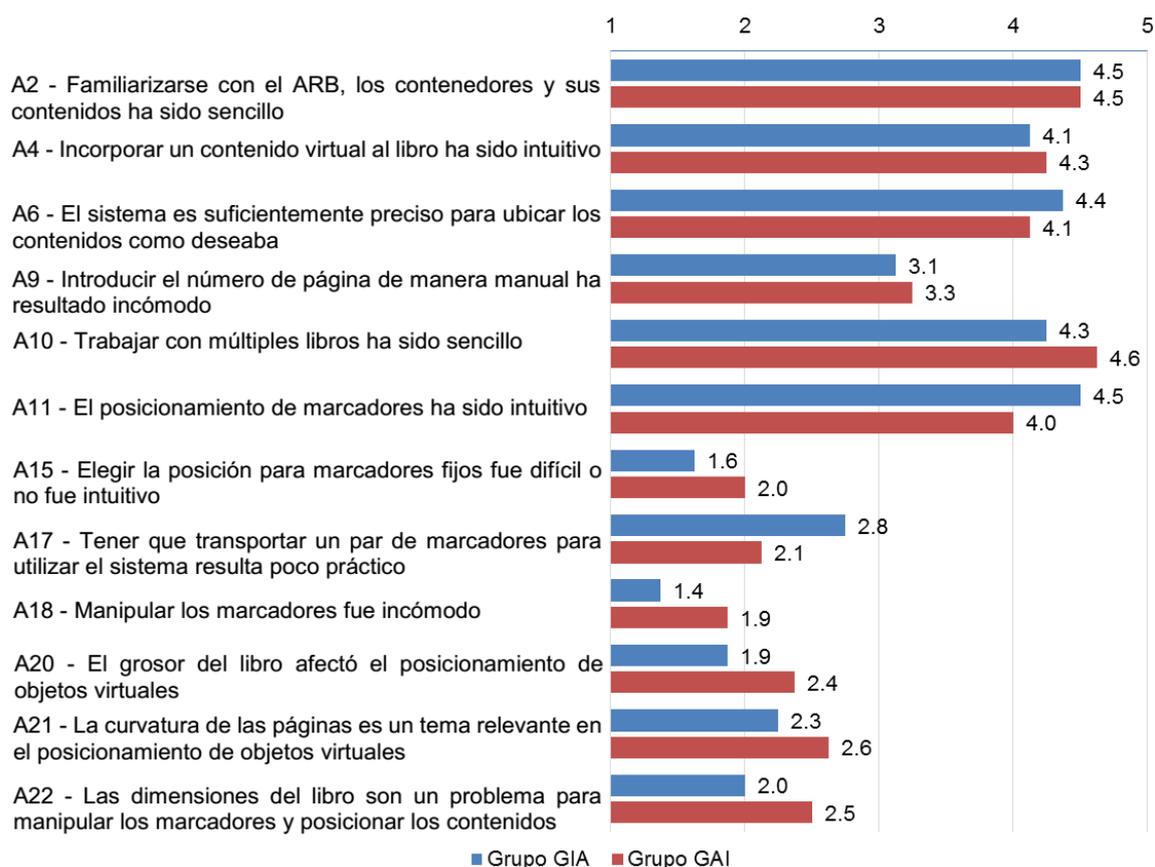
El segundo bloque de preguntas, referentes a la evaluación (ver Fig. 6.7(b)), muestra que sendos grupos de participantes están de acuerdo en el hecho de que ambos escenarios fueron percibidos equivalentes en dificultad y que fueron adquiriendo experiencia en el uso del sistema a lo largo de la evaluación. Estos resultados fueron sometidos a una prueba de t-Student, detallados en la Tabla 6.8. De este análisis se puede concluir que no existen diferencias significativas en las respuestas de ambos grupos. Por lo tanto, podemos afirmar que comenzar a utilizar el sistema con un libro aumentado existente o creando uno, resulta en una dificultad equivalente (rechazando H_3).

Prueba t-Student apareada					
Preguntas	B1	B2	B6	B7	B9
Significancia	–	0,15	0,51	0,52	0,80

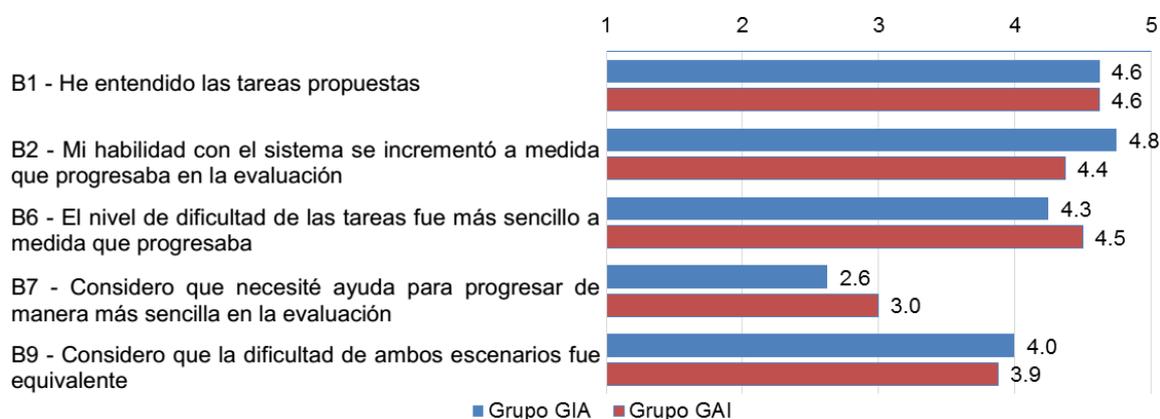
Tabla 6.8: Prueba t-Student con los resultados del cuestionario respecto a la evaluación.

Respecto a las opiniones acerca de la tecnología utilizada, todos los participantes coincidieron en que utilizar RA en conjunto con libros físicos resultó una propuesta interesante. Están de acuerdo en que el sistema ARBS es un complemento adecuado para que los libros tradicionales resulten más atractivos o atrapantes. Por otra parte, los participantes coinciden en que aprender a utilizar el sistema y esta tecnología no resulta restrictivo o un problema. Por ejemplo, el 70 % (11 de 16) de los participantes consideran que esta tecnología es adecuada para ser utilizada en una biblioteca, en la universidad o incluso en el hogar.

Finalmente, en base a las sugerencias recibidas y teniendo en cuenta la última fase de



(a)



(b)

Figura 6.7: Resultados subjetivos de las preguntas de usabilidad del sistema ARBS (a) y de la evaluación (b). La escala utilizada fue *Totalmente en desacuerdo*(1), *En desacuerdo*(2), *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*(3), *De acuerdo*(4) y *Totalmente de acuerdo*(5).

la evaluación correspondiente a la entrevista semi-estructurada, obtuvimos detalles adicionales respecto a la evaluación conducida. Todos los participantes concordaron en que ambos escenarios les parecieron de similar dificultad y expresaron que el segundo esce-

nario resultó más sencillo gracias al conocimiento adquirido a partir del primer escenario completado. La mayoría de los participantes (15 de 16) consideraron a esta tecnología capaz de mejorar la atención o motivar en la lectura de libros. Aunque el 70% (11 de 16) mencionaron que los tipos de contenidos provistos eran adecuados, también propusieron algunas sugerencias sobre otros contenidos o tecnologías a ser incorporadas como, por ejemplo, videos o interacciones más complejas como lo serían juegos interactivos.

6.4.4. Comparación de Grupos

Dado que los dos grupos de participantes realizaron las tareas de los escenarios en distinto orden, presentamos el análisis de la comparación de los resultados obtenidos. Si bien los resultados expuestos anteriormente dan indicios de que ambos escenarios son equivalentes, aquí reforzamos este hecho mediante los resultados del análisis estadístico.

Realizando una prueba de t-Student sobre el tiempo global promedio del primer escenario de cada grupo no se obtienen diferencias significativas ($t(14)=-0.61, p<.55$). De esta forma, las tareas efectuadas del primer escenario por cada grupo de participantes indican una dificultad similar y equivalente en cuanto al aprendizaje y a la facilidad de uso del sistema (rechazando H_3), en concordancia con las opiniones subjetivas obtenidas. Por otra parte, el mismo análisis conducido sobre los resultados de las tareas efectuadas del segundo escenario de ambos grupos de participantes tampoco revelan diferencias significativas ($t(14)=-0.92, p<.37$). Esto también refuerza el hecho de que la eficiencia alcanzada por los usuarios en el segundo escenario resulta equivalente para ambos grupos.

En base a estos resultados podemos concluir que los datos arrojan pruebas para considerar que el aprendizaje y la facilidad de uso del sistema resultan equivalentes tanto en el caso en que el usuario utiliza por primera vez el mismo con un libro aumentado ya existente, como para el caso en el que debe crear uno.

6.5. Análisis de los Resultados

En base a las observaciones realizadas durante la evaluación y a las opiniones de los participantes, detallamos a continuación el análisis respecto a la usabilidad del enfoque propuesto para libros aumentados mediante el sistema ARBS, a la influencia de las propiedades físicas del libro y al uso de los marcadores planos.

6.5.1. Usabilidad del Sistema ARBS

Los resultados obtenidos reflejan que el Sistema ARBS resulta sencillo de aprender a utilizar. Las opiniones de los participantes apoyan esta conclusión, ya que afirman que la falta de conocimientos técnicos no fue un impedimento para aprender la tecnología de RA y, en particular, el sistema propuesto para libros aumentados. Por otra parte, los resultados de los cuestionarios muestran que resultó sencillo para los participantes volverse competentes con el sistema y el uso de RA.

Si bien esperábamos encontrar dificultades en la incorporación de contenidos aumentados al libro, esto no fue así en el caso de los usuarios nóveles dado que todos los participantes fueron capaces de completar las tareas de ambos escenarios. Sin embargo, observamos ciertos inconvenientes con la interfaz del sistema. No estaba claro para los usuarios, por ejemplo cómo iniciar la cámara por primera vez (requerimiento que naturalmente era imperativo para incorporar o visualizar contenidos aumentados). Por lo tanto, la primera tarea realizada por los participantes que requería el uso de la cámara requirió asistencia del evaluador. Las preguntas abiertas también revelaron que la asistencia requerida no fue producto de las características de la RA, como lo son el manejo de marcadores o el posicionamiento de contenido virtual, apoyando el objetivo de investigación.

Durante la entrevista semi-estructurada obtuvimos opiniones muy positivas en cuanto al aprendizaje del sistema propuesto. En general, los participantes estaban sorprendidos por la facilidad con la que se acostumbraron a utilizar esta tecnología totalmente nueva para ellos. Opiniones tales como *“Suponía que iba a ser más complicado”* o *“No esperaba que la evaluación fuera entretenida”* resaltan el aspecto positivo de la facilidad de uso de nuestra propuesta para transformar un libro tradicional en un libro aumentado. No obstante, basándonos en las observaciones realizadas en cuanto a la interfaz del sistema, consideramos que incluir un sistema de guía automática resolvería la mayoría de estos inconvenientes encontrados.

6.5.2. Propiedades Físicas del Libro

Las observaciones tomadas durante la evaluación revelan que las diferentes propiedades físicas de los libros utilizados no influenciaron de manera negativa el uso del sistema ARBS. Esperábamos encontrar algunas reacciones negativas en los participantes cuando

éstos debían incorporar contenidos aumentados en situaciones donde la curvatura de las páginas o el grosor del libro podrían afectar dicha tarea. Sin embargo, resultó sorprendente la naturalidad con la que los usuarios manejaron estas situaciones. Podemos concluir que este comportamiento es debido a la interfaz natural que ofrece el libro.

Otra observación interesante se refiere a cómo los participantes se desarrollaron en las tareas que involucraban el uso de múltiples libros. En general no había una manera definida de conducir este tipo de tareas, ya que cada participante utilizó un patrón particular. Algunos, por ejemplo, utilizaron diferentes marcadores planos para cada libro permitiendo el uso de los libros en paralelo. Otros utilizaron los libros de manera concurrente cambiándolos a medida que fuera necesario, o bien, manteniendo siempre un libro sobre el otro. Finalmente, se observó que algunos participantes desestimaron los libros utilizando solamente el marcador plano. Podemos concluir que esta última situación, aunque no fue la norma, es debido a la falta de reconocimiento de la página (debido a que no es requerido tener visible la página actual del libro).

Por último, dentro de las preguntas del cuestionario estaba la propuesta de incorporar un sistema automático para el reconocimiento del número de página. Las opiniones respecto a esta pregunta fueron diversas. Todos los participantes estaban de acuerdo en que esta característica sería un beneficio positivo. Sin embargo, a su vez, todos coincidieron en que ingresar el número de página de manera manual no resultaba en una práctica incómoda. Estas opiniones contrapuestas requieren un mayor análisis para concluir qué opción sería la más conveniente (e.g. estudiar ambas posibilidades).

6.5.3. Marcadores

En general, los participantes no resultaron distraídos con la ubicación de los marcadores; sin embargo, debían ser cuidadosos de no tapar el marcador para impedir su reconocimiento. No encontramos dificultades en el uso de marcadores planos fijos sobre los marcadores planos libres. No obstante, observamos que en las tareas en las que se sugería elegir un tipo de marcador, la preferencia fue equivalente.

La mayoría de los participantes (14 de 16) estuvo de acuerdo en el uso de varios marcadores por sobre utilizar un único marcador. Durante la entrevista, la opinión general fue que la utilización de un único marcador resultaba muy restrictivo. También estuvieron de acuerdo en que tener que transportar un par de marcadores no era visto como un

problema para utilizar el sistema.

Observamos que los participantes se acostumbraron al posicionamiento de los marcadores rápidamente. Los resultados subjetivos confirman esto, dado que los participantes no informaron comentarios negativos en cuanto a las ubicaciones propuestas para los marcadores fijos. Por otra parte, algunos participantes comentaron que entendían el uso de los marcadores planos fijos para posicionar contenidos sobre la hoja del libro; sin embargo, los marcadores libres resultaban más atractivos ya que podían manipularse libremente. Consideramos interesante este hecho dado que la posibilidad de poder manipular los marcadores de manera directa, y por consiguiente el contenido aumentado, permite un mayor grado de interacción concluyendo que éste resulta en una característica muy importante de las tecnologías de RA.

6.6. Conclusiones

Dado que en la literatura no existe un acuerdo común de cómo evaluar sistemas de RA, presentamos una nueva metodología para evaluar un sistema de libros aumentados. La metodología propuesta permite evaluar el desempeño de usuarios sin conocimientos previos en RA, a la vez que se analiza la usabilidad del sistema de libros aumentados, para clarificar qué tan natural resulta su utilización como complemento de los libros tradicionales.

Los resultados experimentales obtenidos a partir de la evaluación de 16 participantes en dos escenarios, nos permitieron obtener resultados cuantitativos y cualitativos respecto al sistema desarrollado. De éstos se resalta que:

- Pudimos comprobar que el enfoque utilizado para el sistema ARBS resulta sencillo de aprender, incluso por usuarios noveles en este tipo de tecnologías.
- Las opiniones de los participantes refuerzan la idea de que la RA, y en particular el sistema propuesto, son un complemento positivo a los libros tradicionales.
- El uso de marcadores planos como elemento de registración y *tracking* de RA no fue percibido como un problema; incluso la mayoría de los participantes remarcaron el tipo de marcador libre como opción que les resultó novedosa y más atractiva.

- La metodología de evaluación utilizada resultó un enfoque totalmente satisfactorio para evaluar el desempeño en dos escenarios de primer contacto con el sistema y la RA.

Por otra parte, la evaluación conducida nos permitió en base a las observaciones generalizar conclusiones de cómo es el primer contacto de un usuario con una aplicación de RA. De estas conclusiones de cómo interactúan usuarios noveles de RA podemos destacar:

- La manipulación directa de contenidos aumentados mediante objetos tangibles (el caso de los marcadores planos libres) resultó en el concepto más atrapante para los usuarios. De esto podemos concluir que en este tipo de interacción, en la que hay una completa combinación entre el mundo real y el virtual, es más fácil de interpretar para el usuario convirtiéndose en una característica sumamente positiva de este tipo de aplicaciones.
- La utilización de marcadores para posibilitar el uso de RA podría, en principio, resultar distractiva de acuerdo a como se menciona en la literatura; sin embargo, una vez que el usuario comprende el vínculo que existe entre este método de *registro y tracking* y el contenido aumentado, ya no se percibe una distracción evidente en los usuarios.
- Cuando el usuario comienza a interiorizarse con esta tecnología, comienza a buscar sus propios métodos de uso. Algunos usuarios, por ejemplo, notaron que el libro no era necesario, y que podían efectuar las tareas únicamente con el marcador. De esta observación podemos concluir que se debería evitar dejar abierta la posibilidad a que el usuario realice prácticas de manera que le resten sentido a la aplicación (para este ejemplo, utilizar el reconocimiento de las páginas del libro).

6.7. Trabajo Futuro

En base a los resultados experimentales podemos destacar dos posibles tipos de trabajo a futuro. Por un lado, consideraciones a tener en cuenta con el diseño del sistema, y por otro, modificaciones al experimento realizado para recolectar más datos.

En lo referido a las consideraciones respecto al sistema podemos destacar los siguientes puntos:

1. Si bien el sistema ARBS provee distintos tipos de contenidos aumentados y sus interacciones asociadas, se pueden contemplar otros tipos de contenidos a ser incorporados (e.g. videos) como también otra clase de interacciones (e.g. interacciones multimodales).
2. A pesar de que el enfoque de utilizar un único marcador ha sido efectivo, sería positivo contar con características como el *sistema de registración y tracking markerless*, de manera de tener más alternativas e incluso una interfaz más natural con el libro.
3. Otra característica interesante sería portar el sistema a dispositivos móviles, ya que se facilitaría el uso del mismo en ambientes donde resulta complicado tener una computadora de escritorio para cada lector (e.g. una biblioteca).

En cuanto al experimento realizado, consideramos que se podrían realizar tres modificaciones para obtener otros resultados de interés:

1. Modificar el tiempo transcurrido entre los escenarios realizados por cada participante. En nuestro experimento hemos considerado el transcurso de 15 minutos entre el primero y el segundo escenario. Considerando distintos tiempos transcurridos entre escenarios permitiría evaluar si esto tiene algún efecto sobre el aprendizaje y la facilidad de uso del sistema (por ejemplo considerar intervalos de un día o de una semana).
2. Agregar tareas en las que se consideren las capacidades colaborativas del sistema. Esto implica diseñar el experimento de manera que se realice con más de un usuario en simultáneo.
3. Realizar el experimento con usuarios expertos y comparar los resultados obtenidos con los de usuarios principiantes. De este modo se podría ver si existen diferencias significativas en el aprendizaje del sistema y la tecnología entre estos dos tipos de usuarios. Esta comparación no se realizó en esta instancia ya que los datos de usuarios expertos eran escasos para obtener resultados significativos.

Capítulo 7

Conclusiones y Trabajo a Futuro

El libro tradicional es el resultado de un proceso tecnológico que ha alcanzado una perfección envidiable, sobre todo, en cuanto a su capacidad para estimular nuestros sentidos y fomentar el placer de la lectura. Como consecuencia, hay una gran distancia aún de lo que se evidenciaba como la oficina libre de papeles impresos [Sellen y Harper, 2003], y por consiguiente, el libro tradicional sigue siendo un medio que perdurará por muchos años más.

Mediante la RA es posible complementarlo y achicar la brecha entre el mundo físico y el digital, con el beneficio de no perder las cualidades del primero. La característica intrínseca de la RA es que en ningún momento intenta suprimir la realidad, sino que su objetivo es potenciarla. En lo que respecta a los libros, permite que las propiedades del libro tradicional se mantengan y se vean enriquecidas por el mundo virtual.

En la presente tesis exploramos las aplicaciones conocidas como *libros aumentados*, desafiando sus límites y aportando una extensión tanto en lo que respecta a las características del libro aumentado como en lo relativo a las formas de interactuar con el mismo. En el presente capítulo, sintetizamos los objetivos alcanzados durante el desarrollo de la tesis e identificamos futuras líneas de investigación en base al trabajo realizado.

7.1. Síntesis de los Aportes de esta Tesis

Si bien el concepto de libro aumentado no es nuevo, aún son muchos y muy variados los desafíos que se plantean para lograr que el mismo sea realmente una alternativa enriquecida del libro tradicional. En esta tesis hemos analizado las características de la

RA en el contexto de los libros aumentados. De este análisis surgió un nuevo concepto de libro aumentado que extiende al existente en la literatura; es decir que consideramos que un libro aumentado no es sólo un libro tradicional al que se le incorpora contenido digital y que está complementado con marcadores incorporados al mismo sino que es cualquier libro tradicional pre-existente al que puede incorporarse contenido aumentado y que, además, puede compartirse con otros lectores en lo que respecta a su contenido aumentado.

Por otro lado, también se analizaron en profundidad las interacciones con el libro aumentado en su conjunto. Se consideró un conjunto de interacciones básicas que permitieran describir actividades más complejas. Esto condujo a la propuesta de una clasificación de interacciones en torno a este tipo de libros, contribuyendo al diseño de las actividades que se pueden desarrollar en las aplicaciones de libros tradicionales.

Este nuevo concepto de libro aumentado en conjunto con la clasificación de interacciones especificada constituyeron la base del sistema de autoría de libros aumentados denominado *Augmented Reality Book System (ARBS)*. En lo que respecta al mismo, se propone una arquitectura para una aplicación de libros aumentados y se implementa un prototipo basado en éste. Este sistema permitió evaluar nuestra propuesta de libro aumentado.

Para esto diseñamos una novedosa metodología en torno a la evaluación de libros aumentados mediante una evaluación estadísticamente robusta del sistema implementado. Los resultados de esta evaluación nos permitieron comprobar la utilidad del enfoque desarrollado y a partir del contexto de los libros aumentados generalizar cómo se lleva a cabo el aprendizaje de la RA.

ARB: un Nuevo Libro Aumentado

A partir del análisis del estado del arte de los libros aumentados se diseñó un nuevo libro aumentado que permite extender el concepto original basado en el *MagicBook* de Billingham et al. [2001b]. Esta extensión, a la que denominamos ARB, considera la generación de un libro aumentado a partir de cualquier libro pre-existente; además se considera que tanto su edición como su generación sean colaborativa permitiendo que distintos lectores pueden incorporar contenidos a un mismo libro aumentado.

Interacciones con los Libros Aumentados

Se estudiaron las posibles interacciones con el libro aumentado y se desarrolló una clasificación que, mediante interacciones elementales, permite describir actividades de más alto nivel, considerando tanto las interacciones propias de un libro tradicional como las que se agregan mediante la RA. Por medio de esta clasificación es posible describir las actividades que se pueden realizar con un libro aumentado, de manera que pueda modelarse actividades complejas a ser incorporadas en una aplicación de libros aumentados.

Sistema de Autoría de Libros Aumentados

Basándonos en el libro aumentado diseñado y en la clasificación de interacciones propuesta, se detalló una arquitectura que sirvió como base para la implementación de un sistema de autoría que permite tanto generar un libro aumentado como interactuar los contenidos del mismo. Este sistema, denominado ARBS, también contempla la posibilidad de compartir estos libros generados con otros lectores, soportando la extensión de libros aumentados propuesta.

Propuesta para la Evaluación del Sistema ARBS

El sistema implementado permitió que tanto usuarios sin conocimientos técnicos en informática y en programación, como usuarios a los que no les resulten familiares las aplicaciones de RA, evaluaran los libros aumentados. Para realizar esta evaluación se diseñó un experimento novedoso, que permitió analizar la usabilidad y la facilidad de uso del sistema ARBS. Los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos confirman la validez de la propuesta y abren puertas para trabajos que complementen esta línea de investigación.

7.2. Direcciones Futuras de Investigación

En base al trabajo realizado podemos plantear dos tipos de direcciones futuras de investigación, aquéllas que complementan el trabajo realizado y aquéllas que lo extienden con nuevas líneas de investigación:

1. *Trabajos futuros complementarios.* El trabajo desarrollado puede complementarse mediante las alternativas que se puntualizan a continuación:

- El concepto de libro aumentado propuesto puede complementarse extendiéndose para contemplar otros formatos impresos, como por ejemplo revistas, folletos o carteles, e incluso analizar su extensión a los libros electrónicos.
- El sistema implementado puede extenderse incorporando nuevos tipos de contenidos e implementando nuevas interacciones.
- Se realizó una evaluación del sistema con usuarios sin experiencia computacional ni de RA. Se podría extender la evaluación a usuarios con experiencia y comparar el desempeño entre ambos grupos de usuarios.

2. *Trabajos futuros derivados.* Si bien el trabajo realizado en esta tesis está enfocado en los libros aumentados, se propone extender y generalizar el mismo a la RA en general:

- La clasificación propuesta de interacciones para libros aumentados contempla tanto las interacciones propias de un libro físico como las que se incorporan mediante la RA. Sería de interés poder generalizar esta clasificación para incluir las interacciones pertenecientes a cualquier tipo de aplicación de RA.
- Para evaluar el sistema ARBS se diseñó una novedosa metodología que permite analizar el desempeño de usuarios sin conocimientos técnicos ni de RA. Un punto interesante es la extensión de este enfoque para contemplar los diferentes interfaces de RA, de manera de obtener una metodología de evaluación general de aplicaciones de RA.

Apéndice A

Información Adicional de la Evaluación

A.1. Descripción de las Tareas de los Escenarios

Se detallan a continuación las tareas que componen los dos escenarios utilizados en la evaluación. El escenario EI donde el participante debía generar un nuevo ARB, y el escenario EA donde el participante debía interactuar con un ARB ya existente.

A.1.1. Escenario EI

- **Tarea 1** Abra la aplicación *NavSys* e intente completar la siguiente tarea:

- Cree un perfil de usuario válido.
-

- **Tarea 2** Intente completar la siguiente tarea:

- Ingrese al sistema utilizando su perfil de usuario.
-

- **Tarea 3** Tome el libro físico *Guías Visuales: Italia* e intente completar la siguiente tarea:

- Genere un ARB para este libro.

Nota: el archivo de imagen para la tapa del libro lo puede encontrar en la carpeta informada por el evaluador al principio de esta sesión de evaluación.

- **Tarea 4** Utilizando la aplicación *NavSys* intente completar la siguiente tarea:

- Busque en el sistema el libro *Guías Visuales: Italia* mediante su código ISBN.
 - Verifique la información que se muestra del libro (puede simplemente mencionar en voz alta la información que está visualizando).
-
- **Tarea 5** Diríjase a la página 74 del libro físico *Guías Visuales: Italia* y basado en la información gastronómica que se muestra en dicha página, intente completar la siguiente tarea:
- Cree un nuevo **contenedor** para esta página.
 - Incorpore al contenedor creado un contenido de tipo **texto** que consista en algún comentario que usted considere importante para otro lector respecto a algún plato que se muestra en dicha página.
-
- **Tarea 6** Diríjase a la página 414 del libro físico *Guías Visuales: Italia* e intente completar la siguiente tarea:
- Cree un nuevo **contenedor** para esta página.
 - Incorpore al contenedor creado un nuevo contenido de tipo **imagen**. Este contenido debe ser una ilustración de *Miguel Angel* con las siguientes consideraciones:
 - Ingrese una **descripción** apropiada para este contenido.
 - Debe ser un **contenido aumentado**.
 - El marcador a ser utilizado debe ser **Blanco y Negro** de **tipo fijo**. Debe elegir el número de marcador a utilizar como también su ubicación respecto al libro.
 - El contenido aumentado debe ser posicionado espacialmente donde considere más apropiado.
- Nota: el archivo de imagen a ser utilizado lo puede encontrar en la carpeta informada por el evaluador al principio de esta sesión de evaluación.*
-
- **Tarea 7** Diríjase a la página 493 del libro físico *Guías Visuales: Italia* y respecto a la sección *Castel del Monte* intente completar la siguiente tarea:
- Cree un nuevo **contenedor** para esta página.
 - Incorpore al contenedor creado un nuevo contenido de tipo **modelo 3D**. Este contenido debe ser un modelo 3D de un castillo con las siguientes consideraciones:
 - Ingrese una **descripción** apropiada para este contenido.
 - Debe ser un **contenido aumentado**.
 - El marcador a ser utilizado debe ser **Blanco y Negro** de **tipo libre**.

- El contenido aumentado debe ser posicionado sobre el marcador. Puede elegir una escala adecuada para el modelo.

Nota: el archivo para el modelo 3D a ser utilizado lo puede encontrar en la carpeta informada por el evaluador al principio de esta sesión de evaluación.

- **Tarea 8** Diríjase a la página 493 del libro físico *Guías Visuales: Italia* y respecto a la sección *Castel del Monte* intente completar la siguiente tarea:
 - En caso de que no haya un contenedor para esta página, cree uno.
 - Incorpore al contenedor un nuevo contenido de tipo **imagen**. Este contenido debe ser una imagen del *Castel del Monte* con las siguientes consideraciones:
 - Ingrese una **descripción** apropiada para este contenido.
 - Debe ser un **contenido aumentado**.
 - El marcador a ser utilizado debe ser **Blanco y Negro**. Debe elegir el número de marcador a utilizar como también el tipo de marcador (**libre** o **fijo**).
 - El contenido aumentado debe ser posicionado espacialmente donde considere más apropiado.

Nota: el archivo de imagen a ser utilizado lo puede encontrar en la carpeta informada por el evaluador al principio de esta sesión de evaluación.

- **Tarea 9** Tome el libro físico *Toscana* en el sistema e intente completar la siguiente tarea:
 - Busque en el sistema el libro *Toscana* mediante su código ISBN.
 - Verifique la información que se muestra del libro (puede simplemente mencionar en voz alta la información que está visualizando).
-

- **Tarea 10** Diríjase a la página 24 del libro físico *Toscana* e intente completar la siguiente tarea:
 - En el contenedor correspondiente a esta página puede encontrar un **contenido aumentado** de tipo **imagen**, visualice este contenido en la aplicación.
 - Posicione el marcador en la ubicación indicada.
-

- **Tarea 11** Diríjase a la página 24 del libro físico *Toscana* e intente completar la siguiente tarea:
 - Verifique esta página del libro (puede simplemente mencionar en voz alta lo que usted ve en esta página).

- Diríjase nuevamente a la página 414 del libro físico *Guías Visuales: Italia* e intente visualizar el contenido aumentado de esta página.
- Agregue el mismo contenido de tipo **imagen** que visualizó en el libro *Guías Visuales: Italia* a la página 24 del libro físico *Toscana* con las siguientes consideraciones:
 - Ingrese la misma **descripción** a este contenido.
 - Debe ser un **contenido aumentado**.
 - El marcador a ser utilizado debe ser **Blanco y Negro** de **tipo fijo**. Debe elegir el número de marcador a utilizar como también su ubicación respecto al libro.
 - El contenido aumentado puede ser posicionado espacialmente donde considere más apropiado.

Nota: Esta tarea puede realizarse únicamente si completó la Tarea 6.

- **Tarea 12** Utilizando la aplicación *NavSys* intente completar la siguiente tarea:
 - En caso de que no haya compartido los contenidos creados durante este escenario, intente compartirlos.
 - Cierre su sesión en el sistema.
-

A.1.2. Escenario EA

- **Tarea 1** Abra la aplicación *NavSys* e intente completar la siguiente tarea:
 - Cree un perfil de usuario válido.
-
- **Tarea 2** Intente completar la siguiente tarea:
 - Ingrese al sistema utilizando su perfil de usuario.
-
- **Tarea 3** Tome el libro físico *Guías Visuales: Roma* e intente completar la siguiente tarea:
 - Busque en el sistema el libro *Guías Visuales: Roma* mediante su código ISBN.
 - Verifique la información que se muestra del libro (puede simplemente mencionar en voz alta la información que está visualizando).
-
- **Tarea 4** Diríjase a la página 209 del libro físico *Guías Visuales: Roma* e intente completar la siguiente tarea:

-
- En el contenedor correspondiente a esta página puede encontrar un **contenido aumentado** de tipo **modelo 3D**, visualice este contenido en la aplicación.
 - Posicione el marcador en la ubicación indicada.
-
- **Tarea 5** Diríjase a la página 95 del libro físico *Guías Visuales: Roma* e intente completar la siguiente tarea:
- En el contenedor correspondiente a esta página puede encontrar un **contenido aumentado** de tipo **imagen**, visualice este contenido en la aplicación.
 - Posicione el marcador en la ubicación indicada.
-
- **Tarea 6** Diríjase a la página 159 del libro físico *Guías Visuales: Roma* e intente completar la siguiente tarea:
- Cree un nuevo **contenedor** para esta página.
 - Incorpore al contenedor creado un nuevo contenido de tipo **imagen**. Este contenido debe ser una ilustración de la *Fontana di Trevi* con las siguientes consideraciones:
 - Ingrese una **descripción** apropiada para este contenido.
 - Debe ser un **contenido aumentado**.
 - El marcador a ser utilizado debe ser **Blanco y Negro** de **tipo fijo**. Debe elegir que número de marcador a utilizar como también su ubicación respecto al libro.
 - El contenido aumentado puede ser posicionado espacialmente donde considere más apropiado.
- Nota: el archivo de imagen a ser utilizado lo puede encontrar en la carpeta informada por el evaluador al principio de esta sesión de evaluación.*
-
- **Tarea 7** Diríjase a la página 225 del libro físico *Guías Visuales: Roma* y respecto a la sección del *Vaticano* intente completar la siguiente tarea:
- Cree un nuevo **contenedor** para esta página.
 - Incorpore al contenedor creado un nuevo contenido de tipo **imagen**. Este contenido debe ser una imagen del *Vaticano* con las siguientes consideraciones:
 - Ingrese una **descripción** apropiada para este contenido.
 - Debe ser un **contenido aumentado**.
 - El marcador a ser utilizado debe ser **Blanco y Negro** de **tipo libre**.

- El contenido aumentado debe ser posicionado sobre el marcador. Puede elegir una escala adecuada para el modelo 3D.

Nota: el archivo para el modelo 3D a ser utilizado lo puede encontrar en la carpeta informada por el evaluador al principio de esta sesión de evaluación.

- **Tarea 8** Tome el libro físico *Historia del Mundo en la Edad Media (Tomo III)* e intente completar la siguiente tarea:

- Genere un ARB para este libro.

Nota: el archivo de imagen para la tapa del libro lo puede encontrar en la carpeta informada por el evaluador al principio de esta sesión de evaluación.

- **Tarea 9** Utilizando la aplicación *NavSys* intente completar la siguiente tarea:

- Busque en el sistema el libro *Historia del Mundo en la Edad Media (Tomo III)* mediante su código ISBN.
 - Verifique la información que se muestra del libro (puede simplemente mencionar en voz alta la información que está visualizando).
-

- **Tarea 10** Diríjase a la página 1097 del libro físico *Historia del Mundo en la Edad Media (Tomo III)* y respecto a la ilustración de la iglesia intente completar la siguiente tarea:

- Cree un nuevo **contenedor** para esta página.
- Incorpore al contenedor creado un nuevo contenido de tipo **modelo 3D**. Este contenido debe ser un modelo 3D de una iglesia con las siguientes consideraciones:
 - Ingrese una **descripción** apropiada para este contenido.
 - Debe ser un **contenido aumentado**.
 - El modelo 3D debe tener una superficie texturada.
 - El marcador a ser utilizado debe ser **Blanco y Negro** de **tipo libre**.
 - El contenido aumentado puede ser posicionado espacialmente donde considere más apropiado.

Nota: el archivo para el modelo 3D a ser utilizado lo puede encontrar en la carpeta informada por el evaluador al principio de esta sesión de evaluación.

- **Tarea 11** Diríjase a la página 1046 del libro físico *Historia del Mundo en la Edad Media (Tomo III)* e intente completar la siguiente tarea:

- Diríjase a la página 225 del libro físico *Guías Visuales: Roma* e intente visualizar los contenidos de esta página.
- Agregue el mismo contenido de tipo **imagen** que visualizó en el libro *Guías Visuales: Roma* a la página 1046 del libro físico *Historia del Mundo en la Edad Media (Tomo III)* con las siguientes consideraciones:
 - Cree un nuevo **contenedor** para esta página.
 - ◊ Ingrese la misma **descripción** para este contenido
 - ◊ Debe ser un **contenido aumentado**.
 - ◊ El marcador a ser utilizado debe ser **Blanco y Negro** de **tipo fijo**. Debe elegir que número de marcador a utilizar como también su ubicación respecto al libro.
 - ◊ El contenido aumentado debe ser posicionado espacialmente donde considere más apropiado.

Nota: el archivo para el modelo 3D a ser utilizado lo puede encontrar en la carpeta informada por el evaluador al principio de esta sesión de evaluación.

- **Tarea 12** Utilizando la aplicación *NavSys* intente completar la siguiente tarea:
 - En caso de que no haya compartido los contenidos creados durante este escenario, intente compartirlos.
 - Cierre su sesión en el sistema.
-

A.2. Detalle de los Resultados

Presentamos los datos detallados el análisis estadístico respecto al tiempo empleado (Tabla A.1) y la tasa de éxito (Tabla A.2) de las tareas realizadas por los participantes.

Grupo GIA					
Escenario EI			Escenario EA		
Tarea	Promedio	DS	Tarea	Promedio	DS
1	75.250	51.015	1	-	-
2	14.750	5.312	2	16.375	4.984
3	156.750	40.042	3	49.125	17.868
4	51.125	25.318	4	91.750	35.999
5	158.000	40.960	5	55.750	14.607
6	344.125	116.196	6	138.750	45.169
7	291.125	128.520	7	104.375	34.213
8	160.125	55.098	8	104.500	42.625
9	51.125	37.908	9	27.500	13.384
10	149.875	64.359	10	157.375	56.840
11	292.875	89.649	11	197.500	59.392
12	104.125	33.043	12	43.250	19.804

Grupo GAI					
Escenario EI			Escenario EA		
Tarea	Promedio	DS	Tarea	Promedio	DS
1	-	-	1	73.250	43.007
2	14.125	6.578	2	14.375	3.777
3	97.750	34.923	3	112.625	62.942
4	30.125	8.659	4	230.250	44.064
5	96.000	52.658	5	113.125	44.569
6	181.125	28.175	6	372.125	104.491
7	191.125	32.087	7	219.000	85.765
8	126.500	42.892	8	139.625	42.098
9	39.500	8.586	9	47.750	15.746
10	78.625	27.702	10	256.875	44.134
11	184.500	63.935	11	308.875	134.794
12	51.875	17.820	12	108.500	41.658

Tabla A.1: Tiempo empleado (medido en segundos) por los dos grupos de participantes en las tareas de ambos escenarios.

Group GIA									
Escenario EI					Escenario EA				
Tarea	A	B	C	D	Tarea	A	B	C	D
1	8	0	0	0	1	-	-	-	-
2	8	0	0	0	2	8	0	0	0
3	8	0	0	0	3	8	0	0	0
4	8	0	0	0	4	5	3	0	0
5	7	1	0	0	5	7	0	1	0
6	1	6	1	0	6	7	0	1	0
7	2	4	2	0	7	7	0	1	0
8	8	0	0	0	8	8	0	0	0
9	8	0	0	0	9	8	0	0	0
10	3	5	0	0	10	7	1	0	0
11	5	1	2	0	11	6	0	2	0
12	7	1	0	0	12	8	0	0	0

Group GAI									
Escenario EI					Escenario EA				
Tarea	A	B	C	D	Tarea	A	B	C	D
1	-	-	-	-	1	7	1	0	0
2	8	0	0	0	2	8	0	0	0
3	7	1	0	0	3	5	3	0	0
4	8	0	0	0	4	0	8	0	0
5	6	2	0	0	5	4	4	0	0
6	2	6	0	0	6	2	6	0	0
7	6	1	1	0	7	7	1	0	0
8	8	0	0	0	8	8	0	0	0
9	8	0	0	0	9	8	0	0	0
10	5	3	0	0	10	2	6	0	0
11	8	0	0	0	11	2	5	1	0
12	8	0	0	0	12	6	1	1	0

Tabla A.2: Niveles de éxito medidos en los dos grupos de participantes en las tareas de ambos escenarios. Escala utilizada: *éxito completo* (A), *éxito parcial* (B), *fallo parcial* (C) y *fallo completo* (D).

A.3. Cuestionarios Utilizados

Se proveen en las siguientes páginas los cuestionarios completados por los participantes para obtener datos y opiniones subjetivas.

3.. Opiniones sobre esta tecnología

C1 Cuéntanos que piensas respecto a...

	Si	No
C1.1 La Realidad Aumentada ha sido interesante para utilizar con los libros	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.2 ¿Cree que es útil utilizar realidad aumentada con libros?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.3 ¿Le parece útil esta tecnología?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.4 Aprender a utilizar el sistema es un problema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.5 Utilizar este sistema me resulta poco claro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.6 Creo que los libros resultan más atractivos con el sistema ARBS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.7 Me gustaría utilizar el sistema en otra oportunidad.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.8 ¿Cree que el código ISBN debería reconocerse de manera automática?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.9 ¿Le gustaría contar con un reconocimiento automático de las páginas del libro?.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.10 Introducir manualmente la página me parece bien.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.11 Los tipos de contenidos provistos por el sistema son suficientes.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

C2 ¿Donde considera que utilizaría esta tecnología?

Lugar	Marque la/s respuesta/s
En una biblioteca	[]
En una computadora en mi hogar	[]
En un laboratorio de la universidad	[]
_____	(¿Otro?)

C3 ¿Cómo considera al sistema ARBS para mejorar las capacidades de los libros?

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo
- Muy malo

C4 Esta tecnología me parece

- Muy interesante
- Interesante
- No muy interesante

C5 Esta tecnología me parece

- Muy original
- Original
- Poco original

C6 Esta tecnología me parece

- Muy útil
- Útil
- Poco útil

C7 Esta tecnología me parece

- Placentera
- Normal
- Frustrante

C8 Esta tecnología me parece

- Flexible
- Normal
- Rígida

4.. Su opinión nos interesa

D1 ¿Usted cree que el uso de la Realidad Aumentada con los libros puede mejorar la atención y motivación para utilizar o estudiar con los libros físicos? (Si/No). ¿Por qué?

.....
.....

D2 Además de la Realidad Aumentada, ¿Usted cree que sería necesario agregar otro tipo de tecnología? (Si/No). ¿Por qué?

.....
.....

D3 Además de los tipos de contenidos aumentados que se pueden incorporar al sistema ARBS, ¿Usted cree que sería necesario agregar otro tipo de contenido? (Si/No). ¿Cuáles?

.....
.....

D4 ¿Algún otro comentario que usted cree que es importante mencionar?

.....
.....
.....
.....

Bibliografía

- A. Ansar y K. Daniilidis. Linear pose estimation from points or lines. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 25(5):578–589, May. 2003. ISSN 0162-8828.
- Ibrahim Arief, Simon McCallum, y Jon Yngve Hardeberg. Realtime estimation of illumination direction for augmented reality on mobile devices. En *Color and Imaging Conference*, pág. 111–116, Los Angeles, CA, USA, Nov. 2012. IS&T and SID.
- Clemens Arth, Raphael Grasset, Lukas Gruber, Tobias Langlotz, Alessandro Mulloni, y Daniel Wagner. The history of mobile augmented reality. *CoRR*, abs/1505.01319, 2015.
- K. Asai, H. Kobayashi, y T. Kondo. Augmented instructions - a fusion of augmented reality and printed learning materials. En *Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, 2005. ICALT 2005*, pág. 213–215, 2005.
- Ronald Azuma. A survey of augmented reality. *Presence*, 6(4):355–385, 1997.
- Ronald Azuma, III Neely, H., M. Daily, y J. Leonard. Performance analysis of an outdoor augmented reality tracking system that relies upon a few mobile beacons. En *IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2006. ISMAR 2006*, pág. 101–104, Oct. 2006.
- Cédric Bach y Dominique Scapin. Ergonomic criteria adapted to human virtual environment interaction. En *Proceedings of the 15th French-speaking Conference on Human-computer Interaction on 15Eme Conference Francophone Sur L'Interaction Homme-Machine*, IHM 2003, pág. 24–31, New York, NY, USA, 2003. ACM. ISBN 1-58113-803-2.

- P. Bahl y V.N. Padmanabhan. Radar: an in-building rf-based user location and tracking system. En *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, volumen 2, pág. 775–784 vol.2, 2000.
- Robert W. Bailey. *Human Performance Engineering (3rd Ed.): Designing High Quality Professional User Interfaces for Computer Products, Applications and Systems*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 1996. ISBN 0-13-149634-4.
- Istvan Barakonyi, Tamer Fahmy, y Dieter Schmalstieg. Remote collaboration using augmented reality videoconferencing. En *Proceedings of Graphics Interface 2004, GI '04*, pág. 89–96, School of Computer Science, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2004. Canadian Human-Computer Communications Society. ISBN 1-56881-227-2.
- Phil J. Bartie y William A. Mackaness. Development of a speech-based augmented reality system to support exploration of cityscape. *Transactions in GIS*, 10(1):63–86, Ene. 2006. ISSN 1361-1682.
- Herbert Bay, Andreas Ess, Tinne Tuytelaars, y Luc Van Gool. Speeded-Up Robust Features (SURF). *Computer Vision and Image Understanding*, 110(3):346 – 359, 2008. ISSN 1077-3142. Similarity Matching in Computer Vision and Multimedia.
- Michel Beaudouin-Lafon. Instrumental interaction: An interaction model for designing post-wimp user interfaces. En *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '00*, pág. 446–453, New York, NY, USA, 2000. ACM. ISBN 1-58113-216-6.
- Richard A. Becker, William S. Cleveland, y Allan R. Wilks. Dynamic graphics for data analysis. *Statist. Sci.*, 2(4):392–395, 11 1987.
- Blaine Bell, Steven Feiner, y Tobias Höllerer. Information at a glance. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 22(4):6–9, 2002.
- C. Bichlmeier, F. Wimme, S.M. Heining, y N. Navab. Contextual anatomic mimesis hybrid in-situ visualization method for improving multi-sensory depth perception in

- medical augmented reality. En *6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2007. ISMAR 2007*, pág. 129–138, Nov. 2007.
- M. Billinghurst, H. Kato, y I. Poupyrev. The magicbook - moving seamlessly between reality and virtuality. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 21(3):6 – 8, May./Jun. 2001a. ISSN 0272-1716.
- Mark Billinghurst y Andreas Dünser. Augmented reality in the classroom. *Computer*, 45 (7):56–63, 2012. ISSN 0018-9162.
- Mark Billinghurst y Hirokazu Kato. Collaborative augmented reality. *Commun. ACM*, 45(7):64–70, Jul. 2002. ISSN 0001-0782.
- Mark Billinghurst, Hirokazu Kato, y Ivan Poupyrev. The magicbook: a transitional ar interface. *Computers & Graphics*, 25(5):745 – 753, 2001b. ISSN 0097-8493. Mixed realities - beyond conventions.
- Mark Billinghurst, Hirokazu Kato, y Seiko Myojin. Advanced interaction techniques for augmented reality applications. En Randall Shumaker, editor, *Virtual and Mixed Reality*, volumen 5622 de *Lecture Notes in Computer Science*, pág. 13–22. Springer Berlin Heidelberg, 2009. ISBN 978-3-642-02770-3.
- O. Bimber, Bernd Frohlich, D. Schmalsteig, y L.M. Encarnacao. The virtual showcase. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 21(6):48–55, Nov. 2001. ISSN 0272-1716.
- Oliver Bimber y Ramesh Raskar. *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*. A. K. Peters, Ltd., Natick, MA, USA, 2005. ISBN 1568812302.
- J. Y. Bouguet. Camera calibration toolbox for Matlab, 2008. http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/.
- Brother. Head Mounted Display: AiRScouter, 2015. Disponible en: <<http://www.brother.co.uk/business-solutions/communication-and-collaboration/airscouter/about>> (Accedido 29 de Julio, 2015).
- Bernd Brügge, Asa MacWilliams, y Thomas Reicher. Study on software architectures for augmented reality systems – report to the ARVIKA consortium. Technical Report TUM-I0410, Technische Universität München, Jul. 2004.

- Nicolas C. Buchs, Francesco Volonte, François Pugin, Christian Toso, Matteo Fusaglia, Kate Gavaghan, Pietro E. Majno, Matthias Peterhans, Stefan Weber, y Philippe Morel. Augmented environments for the targeting of hepatic lesions during image-guided robotic liver surgery. *Journal of Surgical Research*, 184(2):825 – 831, 2013. ISSN 0022-4804.
- María Luz Caballero, Ting-Ray Chang, María Menéndez, y Valentina Occhialini. Behand: Augmented virtuality gestural interaction for mobile phones. En *Proceedings of the 12th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '10, pág. 451–454, New York, NY, USA, 2010. ACM. ISBN 978-1-60558-835-3.
- Julie Carmigniani y Borko Furht. Augmented reality: An overview. En Borko Furht, editor, *Handbook of Augmented Reality*, pág. 3–46. Springer New York, 2011. ISBN 978-1-4614-0063-9.
- Paul Castro, Patrick Chiu, Ted Kremenek, y Richard R. Muntz. A probabilistic room location service for wireless networked environments. En *Proceedings of the 3rd International Conference on Ubiquitous Computing*, UbiComp '01, pág. 18–34, London, UK, UK, 2001. Springer-Verlag. ISBN 3-540-42614-0.
- George Chang, Patricia Morreale, y Padmavathi Medicherla. Applications of augmented reality systems in education. En David Gibson y Bernie Dodge, editores, *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2010*, pág. 1380–1385, San Diego, CA, USA, March 2010. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Kun-Hung Cheng y Chin-Chung Tsai. Children and parents' reading of an augmented reality picture book: Analyses of behavioral patterns and cognitive attainment. *Computers & Education*, 72(0):302 – 312, 2014. ISSN 0360-1315.
- A.D. Cheok, Fong Siew Wan, Xubo Yang, Wang Weihua, Lee Men Huang, M. Billinghurst, y H. Kato. Game-city: a ubiquitous large area multi-interface mixed reality game space for wearable computers. En *Sixth International Symposium on Wearable Computers, 2002 (ISWC 2002)*, pág. 156–157, 2002.

- Irene Alice Chicchi Giglioli, Federica A Pallavicini, Elisa A Pedroli, Silvia A Serino, y Giuseppe A Riva. Augmented reality: A brand new challenge for the assessment and treatment of psychological disorders. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, págs. en prensa, 2015.
- Youngkwan Cho y Ulrich Neumann. Multi-ring fiducial systems for scalable fiducial-tracking augmented reality. *Presence*, 10(6):599–612, 2001.
- Han Kyun Choi, Hyun Soo Kim, Seung Joo Lee, Min Ki Park, Kwang Hee Ko, y K.H. Lee. Deformation and simulation of 3d contents for the digilog book. En *International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality (ISUVR) 2010*, pág. 24–27, Jul. 2010.
- Maha Choubassi, Oscar Nestares, Yi Wu, Igor Kozintsev, y Horst Haussecker. An augmented reality tourist guide on your mobile devices. En Susanne Boll, Qi Tian, Lei Zhang, Zili Zhang, y Yi-PingPhoebe Chen, editores, *Advances in Multimedia Modeling*, volumen 5916 de *Lecture Notes in Computer Science*, pág. 588–602. Springer Berlin Heidelberg, 2010. ISBN 978-3-642-11300-0.
- Adrian Clark y Andreas Dünser. An interactive augmented reality coloring book. En *IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI), 2012*, pág. 7–10, Mar. 2012.
- Céline Coutrix y Laurence Nigay. Mixed reality: A model of mixed interaction. En *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces, AVI '06*, pág. 43–50, New York, NY, USA, 2006. ACM. ISBN 1-59593-353-0.
- Andy Crabtree, Steve Benford, Tom Rodden, Chris Greenhalgh, Martin Flintham, Rob Anastasi, Adam Drozd, Matt Adams, Ju Row-Farr, Nick Tandavanitj, y Anthony Steed. Orchestrating a mixed reality game 'on the ground'. En *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '04*, pág. 391–398, New York, NY, USA, 2004. ACM. ISBN 1-58113-702-8.
- Sébastien Cuendet, Quentin Bonnard, Son Do-Lenh, y Pierre Dillenbourg. Designing augmented reality for the classroom. *Computers & Education*, 68(0):557 – 569, 2013. ISSN 0360-1315.
- Dragos Datcu y Stephan Lukosch. Free-hands interaction in augmented reality. En

- Proceedings of the 1st Symposium on Spatial User Interaction, SUI '13*, pág. 33–40, New York, NY, USA, 2013. ACM. ISBN 978-1-4503-2141-9.
- Philip David, Daniel Dementhon, Ramani Duraiswami, y Hanan Samet. Softposit: Simultaneous pose and correspondence determination. *Int. J. Comput. Vision*, 59(3): 259–284, Sep. 2004. ISSN 0920-5691.
- Daniel F. Dementhon y Larry S. Davis. Model-based object pose in 25 lines of code. *International Journal of Computer Vision*, 15(1-2):123–141, 1995. ISSN 0920-5691.
- Albertina Dias. Technology enhanced learning and augmented reality: An application on multimedia interactive books. *International Business and Economics Review*, 1(1), 2009. ISSN 1647-189.
- S. DiVerdi y T. Hollerer. Groundcam: A tracking modality for mobile mixed reality. En *Virtual Reality Conference, 2007. VR '07. IEEE*, pág. 75–82, Mar. 2007.
- Alan Dix, Janet E. Finlay, Gregory D. Abowd, y Russell Beale. *Human-Computer Interaction (3rd Edition)*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 2003. ISBN 0130461091.
- Emmanuel Dubois, Philip Gray, y Andrew Ramsay. A Model-Based Approach to Describing and Reasoning about the Physicality of Interaction. En Devina Ramduny-Ellis, Alan Dix, Joanna Hare, y Steve Gill, editores, *Physicality, Lancaster, 02/09/2007-03/09/2007*, pág. 77–82. UK Simulation Society, 2007.
- Andreas Dünser y Mark Billinghurst. Evaluating augmented reality systems. En Borko Furht, editor, *Handbook of Augmented Reality*, pág. 289–307. Springer New York, 2011. ISBN 978-1-4614-0063-9.
- Andreas Dünser y Eva Hornecker. Lessons from an ar book study. En *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction, TEI '07*, pág. 179–182, New York, NY, USA, 2007. ACM. ISBN 978-1-59593-619-6.
- Andreas Dünser, Raphael Grasset, Hartmut Seichter, y Mark Billinghurst. Applying HCI Principles in AR Systems Design. En *2nd International Workshop on Mixed Reality User Interfaces: Specification, Authoring, Adaptation (MRUI '07)*, 2007.

- Andreas Dünser, Raphael Grasset, y Mark Billinghurst. A survey of evaluation techniques used in augmented reality studies. En *ACM SIGGRAPH ASIA 2008 courses*, pág. 5:1–5:27, New York, NY, USA, 2008a. ACM.
- Andreas Dünser, Raphael Grasset, y Mark Billinghurst. A Survey of Evaluation Techniques Used in Augmented Reality Studies. Technical report, University of Canterbury, 2008b.
- Andreas Dünser, Lawrence Walker, Heather Horner, y Daniel Bentall. Creating interactive physics education books with augmented reality. En *Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference, OzCHI '12*, pág. 107–114, New York, NY, USA, 2012a. ACM. ISBN 978-1-4503-1438-1.
- Andreas Dünser, Lawrence Walker, Heather Horner, y Daniel Bentall. Creating interactive physics education books with augmented reality. En *Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference, OzCHI '12*, pág. 107–114, New York, NY, USA, 2012b. ACM. ISBN 978-1-4503-1438-1.
- J. Edward, Swan Li, y Joseph L. Gabbard. Survey of user-based experimentation in augmented reality. En *In 1st International Conference on Virtual Reality, Las Vegas, 2005*.
- Niklas Elmqvist, David Axblom, Jonas Claesson, Joseph Hagberg, Daniel Segerdahl, Yan Tai So, Anders Svensson, Mattias Thorén, y Martin Wiklander. 3dvn: A mixed reality platform for mobile navigation assistance. Technical Report 2006-12, Department of Computer Science & Engineering, Chalmers University of Technology and Goteborg Universit, 2006.
- M. Fiala. Artag, a fiducial marker system using digital techniques. En *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005 (CVPR 2005)*, volumen 2, pág. 590–596, Jun. 2005.
- James D. Foley, Andries Van Dam, Steven K. Feiner, y John F. Hughes. *Computer Graphics: Principles and Practice in C*. Pearson, 2nd edition, 1995. ISBN 8131705056.
- Leopoldina Fortunati y Jane Vincent. Sociological insights on the comparison of wri-

- ting/reading on paper with writing/reading digitally. *Telematics and Informatics*, 31(1):39 – 51, 2014. ISSN 0736-5853.
- Juergen Gausemeier, Juergen Freund, Carsten Matysczok, Beat Bruederlin, y David Beier. Development of a real time image based object recognition method for mobile ar-devices. En *Proceedings of the 2Nd International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa, AFRIGRAPH '03*, pág. 133–139, New York, NY, USA, 2003. ACM. ISBN 1-58113-643-9.
- Google. Google Glass, 2012. Disponible en: <<http://www.google.com/glass/>> (Accedido Marzo 21, 2015).
- S. Goose, S. Sudarsky, Xiang Zhang, y N. Navab. Speech-enabled augmented reality supporting mobile industrial maintenance. *Pervasive Computing, IEEE*, 2(1):65–70, Ene. 2003. ISSN 1536-1268.
- Stuart Goose, Sinem Güven, Xiang Zhang, Ra Sudarsky, y Nassir Navab. Paris: Fusing vision-based location tracking with standards-based 3d visualization and speech interaction on a pda. En *International Conference on Distributed Multimedia Systems 2004*, volumen 8-10, pág. 75–80, Sep. 2004.
- Raphael Grasset, Andreas Duenser, Hartmut Seichter, y Mark Billinghurst. The mixed reality book: A new multimedia reading experience. En *CHI '07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '07*, pág. 1953–1958, New York, NY, USA, 2007. ACM. ISBN 978-1-59593-642-4.
- Raphael Grasset, Andreas Dunser, y Mark Billinghurst. The design of a mixed-reality book: Is it still a real book? En *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR '08*, pág. 99–102, Washington, DC, USA, 2008. IEEE Computer Society. ISBN 978-1-4244-2840-3.
- J.M. Gutiérrez y M.D.M. Fernández. Applying augmented reality in engineering education to improve academic performance & student motivation. *International Journal of Engineering Education*, 30(3):625–635, 2014.
- Jorge Martin Gutierrez y Maria Dolores Meneses Fernandez. Applying augmented reality

- in engineering education to improve academic performance & student motivation. *International Journal of Engineering Education*, 30(3):625–635, 2014.
- Daniel A. Guttentag. Virtual reality: Applications and implications for tourism. *Tourism Management*, 31(5):637 – 651, 2010. ISSN 0261-5177.
- Taejin Ha, Woontack Woo, Youngho Lee, Junhun Lee, Jeha Ryu, Hankyun Choi, y Kwangheng Lee. Artalet: Tangible user interface based immersive augmented reality authoring tool for digilog book. En *International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality (ISUVR 2010)*, pág. 40 –43, Jul. 2010.
- Taejin Ha, Youngho Lee, y Woontack Woo. Digilog book for temple bell tolling experience based on interactive augmented reality. *Virtual Reality*, 15:295–309, 2011. ISSN 1359-4338.
- Nicholas Hanlon, Brian Mac Namee, y John Kelleher. Just say it: An evaluation of speech interfaces for augmented reality design applications. En Lorcan Coyle y Jill Freyne, editores, *Artificial Intelligence and Cognitive Science*, volumen 6206 de *Lecture Notes in Computer Science*, pág. 134–143. Springer Berlin Heidelberg, 2010. ISBN 978-3-642-17079-9.
- Matthias Harders, Gerald Bianchi, y Benjamin Knoerlein. Multimodal augmented reality in medicine. En Constantine Stephanidis, editor, *Universal Access in Human-Computer Interaction. Ambient Interaction*, volumen 4555 de *Lecture Notes in Computer Science*, pág. 652–658. Springer Berlin Heidelberg, 2007. ISBN 978-3-540-73280-8.
- R. I. Hartley y A. Zisserman. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press, ISBN: 0521540518, second edition, 2004.
- Tatu Harviainen, Otto Korkalo, y Charles Woodward. Camera-based interactions for augmented reality. En *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE '09*, pág. 307–310, New York, NY, USA, 2009. ACM. ISBN 978-1-60558-864-3.
- Anders Henrysson, Mark Billinghurst, y Mark Ollila. Virtual object manipulation using a mobile phone. En *Proceedings of the 2005 International Conference on Augmented*

- Tele-existence*, ICAT '05, pág. 164–171, New York, NY, USA, 2005. ACM. ISBN 0-473-10657-4.
- T. Höllerer y S. Feiner. Mobile augmented reality. En H. Karimi y A. Hammad, editores, *Teleinformatics: Location-Based Computing and Services*. Taylor and Francis Books Ltd, London, UK, 2004.
- T. Hollerer, S. Feiner, y J. Pavlik. Situated documentaries: embedding multimedia presentations in the real world. En *The Third International Symposium on Wearable Computers, 1999. Digest of Papers*, pág. 79–86, Oct. 1999.
- Sylvia Irawati, Scott Green, Mark Billingham, Andreas Duenser, y Heedong Ko. An evaluation of an augmented reality multimodal interface using speech and paddle gestures. En Zhigeng Pan, Adrian Cheok, Michael Haller, Rynson W.H. Lau, Hideo Saito, y Ronghua Liang, editores, *Advances in Artificial Reality and Tele-Existence*, volumen 4282 de *Lecture Notes in Computer Science*, pág. 272–283. Springer Berlin Heidelberg, 2006. ISBN 978-3-540-49776-9.
- Hiroshi Ishii y Brygg Ullmer. Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms. En *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '97*, pág. 234–241, New York, NY, USA, 1997. ACM. ISBN 0-89791-802-9.
- Shahram Izadi, Steve Hodges, Stuart Taylor, Dan Rosenfeld, Nicolas Villar, Alex Butler, y Jonathan Westhues. Going beyond the display: A surface technology with an electronically switchable diffuser. En *Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '08*, pág. 269–278, New York, NY, USA, 2008. ACM. ISBN 978-1-59593-975-3.
- Robert J.K. Jacob, Audrey Girouard, Leanne M. Hirshfield, Michael S. Horn, Orit Shaer, Erin Treacy Solovey, y Jamie Zigelbaum. Reality-based interaction: A framework for post-wimp interfaces. En *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '08*, pág. 201–210, New York, NY, USA, 2008. ACM. ISBN 978-1-60558-011-1.
- Hyung-Keun Jee, Sukhyun Lim, JinYoung Youn, y Junsuk Lee. An immersive authoring

- tool for augmented reality-based e-learning applications. En *Information Science and Applications (ICISA), 2011 International Conference on*, pág. 1–5, Abr. 2011.
- M. C. Juan, B. Rey, D. Perez, D. Tomas, y M. Alcañiz. The memory book. En *Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE '05*, pág. 379–380, New York, NY, USA, 2005a. ACM. ISBN 1-59593-110-4.
- M.C. Juan, C. Botella, M. Alcaniz, R. Banos, C. Carrion, M. Melero, y J.A. Lozano. An augmented reality system for treating psychological disorders: application to phobia to cockroaches. En *Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2004)*, pág. 256–257, Nov. 2004.
- M.C. Juan, M. Alcaniz, C. Monserrat, C. Botella, R.M. Banos, y B. Guerrero. Using augmented reality to treat phobias. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 25 (6):31–37, Nov. 2005b. ISSN 0272-1716.
- H. Kato y M. Billinghurst. Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. En *2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, 1999. (IWAR '99)*, pág. 85–94, 1999.
- H. Kato, K. Tachibana, M. Tanabe, T. Nakajima, y Y. Fukuda. Magiccup: a tangible interface for virtual objects manipulation in table-top augmented reality. En *Augmented Reality Toolkit Workshop, 2003. IEEE International*, pág. 75–76, Oct. 2003.
- Kiyoung Kim, Jonghee Park, y Woontack Woo. Marker-less tracking for multi-layer authoring in ar books. En Stéphane Natkin y Jérôme Dupire, editores, *Entertainment Computing - ICEC 2009*, volumen 5709 de *Lecture Notes in Computer Science*, pág. 48–59. Springer Berlin - Heidelberg, 2009. ISBN 978-3-642-04051-1.
- Kiyoung Kim, Vincent Lepetit, y Woontack Woo. Scalable real-time planar targets tracking for digilog books. *The Visual Computer*, 26(6-8):1145–1154, 2010. ISSN 0178-2789.
- T.G. Kirner, F.M.V. Reis, y C. Kirner. Development of an interactive book with augmented reality for teaching and learning geometric shapes. En *7th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI 2012)*, pág. 1–6, 2012.

- Martin Knecht, Christoph Traxler, Oliver Mattausch, Werner Purgathofer, y Michael Wimmer. Differential instant radiosity for mixed reality. En *Proceedings of the 2010 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2010)*, pág. 99–107, Oct. 2010. Best Paper Award!
- Martin Knecht, Andreas Dünser, Christoph Traxler, Michael Wimmer, y Raphael Grasset. A framework for perceptual studies in photorealistic augmented reality. En Pete Willemssen Frank Steinicke, editor, *Proceedings of the 3rd IEEE VR 2011 Workshop on Perceptual Illusions in Virtual Environments*, pág. 27–32, Mar. 2011.
- Hoshang Kolivand y Mohd Shahrizal Sunar. Realistic real-time outdoor rendering in augmented reality. *PLoS ONE*, 9(9):e108334, Sept. 2014.
- Jakub Krolewski y Piotr Gawrysiak. The mobile personal augmented reality navigation system. En Tadeusz Czachorski, Stanislaw Kozielski, y Urszula Stanislaw Kozielskiczky, editores, *Man-Machine Interactions 2*, volumen 103 de *Advances in Intelligent and Soft Computing*, pág. 105–113. Springer Berlin Heidelberg, 2011. ISBN 978-3-642-23168-1.
- P. Kuhlreiber, M. Knecht, y C. Traxler. BRDF approximation and estimation for augmented reality. En *15th International Conference on System Theory, Control, and Computing (ICSTCC 2011)*, pág. 1–6, Oct. 2011.
- Kangdon Lee. Augmented reality in education and training. *TechTrends*, 56(2):13–21, 2012. ISSN 8756-3894.
- V. Lepetit, P. Laguerre, y P. Fua. Randomized trees for real-time keypoint recognition. En *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005 (CVPR 2005)*, volumen 2, pág. 775–781, Jun. 2005.
- Vincent Lepetit y Pascal Fua. Towards recognizing feature points using classification trees. Epfl technical report, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Sep. 2004.
- Tzung-Jin Lin, Henry Been-Lirn Duh, Nai Li, Hung-Yuan Wang, y Chin-Chung Tsai. An investigation of learners' collaborative knowledge construction performances and behavior patterns in an augmented reality simulation system. *Computers & Education*, 68(0):314 – 321, 2013. ISSN 0360-1315.

- T.-Y. Liu. A context-aware ubiquitous learning environment for language listening and speaking. *Journal of Computer Assisted Learning*, 25(6):515–527, 2009. ISSN 1365-2729.
- David G. Lowe. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60(2):91–110, Nov. 2004. ISSN 0920-5691.
- D.G. Lowe. Fitting parameterized three-dimensional models to images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13(5):441–450, May. 1991. ISSN 0162-8828.
- C.-P. Lu, G.D. Hager, y E. Mjolsness. Fast and globally convergent pose estimation from video images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(6):610–622, Jun. 2000. ISSN 0162-8828.
- Paul Luff, Christian Heath, Moira Norrie, Beat Signer, y Peter Herdman. Only touching the surface: Creating affinities between digital content and paper. En *Proceedings of the 2004 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW '04*, pág. 523–532, New York, NY, USA, 2004. ACM. ISBN 1-58113-810-5.
- Paul Luff, Guy Adams, Wolfgang Bock, Adam Drazin, David Frohlich, Christian Heath, Peter Herdman, Heather King, Nadja Linketscher, Rachel Murphy, Moira Norrie, Abigail Sellen, Beat Signer, Ella Tallyn, y Emil Zeller. Augmented paper: developing relationships between digital content and paper. En Norbert Streitz, Achilles Kameas, y Irene Mavrommati, editores, *The disappearing computer*, capítulo Augmented Paper: Developing Relationships Between Digital Content and Paper, pág. 275–297. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007. ISBN 978-3-540-72725-5.
- Xun Luo, T. Kline, H.C. Fischer, K.A. Stubblefield, R.V. Kenyon, y D.G. Kamper. Integration of augmented reality and assistive devices for post-stroke hand opening rehabilitation. En *27th Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society, 2005. IEEE-EMBS 2005*, pág. 6855–6858, 2005.
- Asa MacWilliams, Thomas Reicher, Gudrun Klinker, y Bernd Brügge. Design patterns for augmented reality systems. En *MIXER '04, Exploring the Design and Engineering of Mixed Reality Systems, Proceedings of the IUI-CADUI*04 Workshop on Exploring*

- the Design and Engineering of Mixed Reality Systems, Funchal, Island of Madeira, 2004.*
- Franz Madritsch y Michael Gervautz. Ccd-camera based optical beacon tracking for virtual and augmented reality. *Computer Graphics Forum*, 15(3):207–216, 1996. ISSN 1467-8659.
- Carsten Magerkurth, Adrian David Cheok, Regan L. Mandryk, y Trond Nilsen. Pervasive games: Bringing computer entertainment back to the real world. *Comput. Entertain.*, 3(3):4–4, Jul. 2005. ISSN 1544-3574.
- Catherine C. Marshall. Reading and interactivity in the digital library: Creating an experience that transcends paper. En *In Proceedings of the CLIR/Kanazawa Institute of Technology Roundtable*, pág. 3–4. MIT Press, 2005.
- Jorge Martín-Gutiérrez, José Luís Saorín, Manuel Contero, Mariano Alcázar, David C. Pérez-López, y Mario Ortega. Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students. *Computers & Graphics*, 34(1):77 – 91, 2010. ISSN 0097-8493.
- J Matas, O Chum, M Urban, y T Pajdla. Robust wide-baseline stereo from maximally stable extremal regions. *Image and Vision Computing*, 22(10):761 – 767, 2004. ISSN 0262-8856. British Machine Vision Computing 2002.
- W. Matcha y D.R. Awang Rambli. Design consideration for augmented reality book-based application for collaborative learning environment. En *International Conference on Computer Information Science (ICCIS 2012)*, volumen 2, pág. 1123–1126, 2012.
- S. Matsutomo, T. Miyauchi, S. Noguchi, y H. Yamashita. Real-time visualization system of magnetic field utilizing augmented reality technology for education. *IEEE Transactions on Magnetics*, 48(2):531–534, Feb. 2012. ISSN 0018-9464.
- Carsten Matyszcok, Rafael Radkowski, y Jan Berssenbruegge. Ar-bowling: Immersive and realistic game play in real environments using augmented reality. En *Proceedings of the 2004 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE '04*, pág. 269–276, New York, NY, USA, 2004. ACM. ISBN 1-58113-882-2.

- John McKenzie y Doreen Darnell. The eyemagic book: A report into augmented reality storytelling in the context of a children's workshop. Technical report, Christchurch Collee of Education, 2004.
- J.P. Mellor. Enhanced reality visualization in a surgical environment. Ai technical report no. 1544, MIT, 1995.
- C. Menk y R. Koch. Interactive visualization technique for truthful color reproduction in spatial augmented reality applications. En *10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2011)*, pág. 157–164, Oct. 2011.
- C. Menk y R. Koch. Truthful color reproduction in spatial augmented reality applications. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(2):236–248, 2013. ISSN 1077-2626.
- Metaio. Metaio Creator, 2014. Disponible en: <<http://www.metaio.com/creator/>> (accedido Noviembre 21, 2014).
- K. Mikolajczyk y C. Schmid. An affine invariant interest point detector. En *Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision-Part I, ECCV '02*, pág. 128–142, London, UK, UK, 2002. Springer-Verlag. ISBN 3-540-43745-2.
- Krystian Mikolajczyk y Cordelia Schmid. Scale & affine invariant interest point detectors. *Int. J. Comput. Vision*, 60(1):63–86, Oct. 2004. ISSN 0920-5691.
- Paul Milgram y Fumio Kishino. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D(12), Dic. 1994.
- MohammadReza Mirzaei, Seyed Ghorshi, y Mohammad Mortazavi. Audio-visual speech recognition techniques in augmented reality environments. *The Visual Computer*, 30(3):245–257, 2014. ISSN 0178-2789.
- Pranav Mistry, Tsuyoshi Kuroki, y Chaochi Chang. Tapuma: Tangible public map for information acquirement through the things we carry. En *Proceedings of the 1st International Conference on Ambient Media and Systems, Ambi-Sys '08*, pág. 12:1–12:5, ICST, Brussels, Belgium, Belgium, 2008. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering). ISBN 978-963-9799-16-5.

- F. Moreno-Noguer, V. Lepetit, y P. Fua. Accurate non-iterative $o(n)$ solution to the pnp problem. En *IEEE 11th International Conference on Computer Vision, 2007 (ICCV 2007)*, pág. 1–8, Oct. 2007.
- Ann Morrison, Antti Oulasvirta, Peter Peltonen, Saija Lemmela, Giulio Jacucci, Gerhard Reitmayr, Jaana Näsänen, y Antti Juustila. Like bees around the hive: A comparative study of a mobile augmented reality map. En *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '09*, pág. 1889–1898, New York, NY, USA, 2009. ACM. ISBN 978-1-60558-246-7.
- Ann Morrison, Alessandro Mulloni, Saija Lemmelä, Antti Oulasvirta, Giulio Jacucci, Peter Peltonen, Dieter Schmalstieg, y Holger Regenbrecht. Collaborative use of mobile augmented reality with paper maps. *Computers & Graphics*, 35(4):789 – 799, 2011. ISSN 0097-8493. Semantic 3D Media and Content.
- Peter Mountney, Stamatia Giannarou, Daniel Elson, y Guang-Zhong Yang. Optical biopsy mapping for minimally invasive cancer screening. En *Proceedings of the 12th International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention: Part I, MICCAI 09*, pág. 483–490, Berlin, Heidelberg, 2009. Springer-Verlag. ISBN 978-3-642-04267-6.
- L. Naimark y E. Foxlin. Circular data matrix fiducial system and robust image processing for a wearable vision-inertial self-tracker. En *Proceedings. International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2002 (ISMAR 2002)*, pág. 27–36, 2002.
- Tomohiro Nakai, Koichi Kise, y Masakazu Iwamura. Use of affine invariants in locally likely arrangement hashing for camera-based document image retrieval. En *Proceedings of the 7th International Conference on Document Analysis Systems, DAS'06*, pág. 541–552, Berlin, Heidelberg, 2006. Springer-Verlag. ISBN 3-540-32140-3, 978-3-540-32140-8.
- A.Y.C. Nee, S.K. Ong, G. Chryssolouris, y D. Mourtzis. Augmented reality applications in design and manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61(2):657 – 679, 2012. ISSN 0007-8506.
- Joseph Newman, Gerhard Schall, István Barakonyi1, Andreas Schürzinger, y Dieter Schmalstieg. Wide-area tracking tools for augmented reality. En *Adjunct Proceedings of Pervasive 2006*, editor, *Advances in Pervasive Computing 2006*. Dublin, 2006.

- William Newman y Pierre Wellner. A desk supporting computer-based interaction with paper documents. En *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '92, pág. 587–592, New York, NY, USA, 1992. ACM. ISBN 0-89791-513-5.
- S.A. Nicolau, X. Pennec, L. Soler, y N. Ayache. A complete augmented reality guidance system for liver punctures: First clinical evaluation. En James S. Duncan y Guido Gerig, editores, *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention - MICCAI 2005*, volumen 3749 de *Lecture Notes in Computer Science*, pág. 539–547. Springer Berlin Heidelberg, 2005. ISBN 978-3-540-29327-9.
- Stéphane Nicolau, Luc Soler, Didier Mutter, y Jacques Marescaux. Augmented reality in laparoscopic surgical oncology. *Surgical Oncology*, 20(3):189 – 201, 2011. ISSN 0960-7404. Special Issue: Education for Cancer Surgeons.
- Jakob Nielsen. *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 1993a. ISBN 0125184050.
- Jakob Nielsen. Noncommand user interfaces. *Commun. ACM*, 36(4):83–99, Abr. 1993b. ISSN 0001-0782.
- Jakob Nielsen y Rolf Molich. Heuristic evaluation of user interfaces. En *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '90, pág. 249–256, New York, NY, USA, 1990. ACM. ISBN 0-201-50932-6.
- Alexander Nischelwitzer, Franz-Josef Lenz, Gig Searle, y Andreas Holzinger. Some aspects of the development of low-cost augmented reality learning environments as examples for future interfaces in technology enhanced learning. En Constantine Stephanidis, editor, *Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services*, volumen 4556 de *Lecture Notes in Computer Science*, pág. 728–737. Springer Berlin Heidelberg, 2007. ISBN 978-3-540-73282-2.
- David Nister y Henrik Stewenius. Scalable recognition with a vocabulary tree. En *Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition - Volume 2*, CVPR '06, pág. 2161–2168, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society. ISBN 0-7695-2597-0.

- Denis Oberkamp, Daniel DeMenthon, y Larry S. Davis. Iterative pose estimation using coplanar feature points. *Computer Vision and Image Understanding*, 63(3):495–511, 1996.
- OpenCV. Open Source Computer Vision, 2015. <http://opencv.org/>.
- George Papagiannakis, Sébastien Schertenleib, Brian O’Kennedy, Marlene Arevalo-Poizat, Nadia Magnenat-Thalmann, Andrew Stoddart, y Daniel Thalmann. Mixing virtual and real scenes in the site of ancient pompeii. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 16(1):11–24, 2005. ISSN 1546-427X.
- George Papagiannakis, Gurminder Singh, y Nadia Magnenat-Thalmann. A survey of mobile and wireless technologies for augmented reality systems. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 19(1):3–22, 2008. ISSN 1546-427X.
- Arum Park, Kyoung Jun Lee, y F. Casalegno. The three dimensions of book evolution in ubiquitous computing age: Digitalization, augmentation, and hypermediation. En *IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (SUTC 2010)*, pág. 374–378, 2010.
- Jonghee Park y Woontack Woo. Hybrid document matching method for page identification of digilog books. En Maiga Chang, Wu-Yuin Hwang, Ming-Puu Chen, y Wolfgang Müller, editores, *Edutainment Technologies. Educational Games and Virtual Reality/Augmented Reality Applications*, volumen 6872 de *Lecture Notes in Computer Science*, pág. 1–1. Springer Berlin Heidelberg, 2011. ISBN 978-3-642-23455-2.
- Youngmin Park, V. Lepetit, y Woontack Woo. Esm-blur: Handling & rendering blur in 3d tracking and augmentation. En *8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2009 (ISMAR 2009)*, pág. 163–166, Oct. 2009.
- Youngmin Park, V. Lepetit, y Woontack Woo. Handling motion-blur in 3d tracking and rendering for augmented reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18(9):1449–1459, Sep. 2012. ISSN 1077-2626.
- K. Pentenrieder, C. Bade, F. Doil, y P. Meier. Augmented reality-based factory planning - an application tailored to industrial needs. En *6th IEEE and ACM International*

- Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2007 (ISMAR 2007)*, pág. 31–42, Nov. 2007.
- W. Piekarski, B. Gunther, y B. Thomas. Integrating virtual and augmented realities in an outdoor application. En *2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, 1999. (IWAR '99)*, pág. 45–54, 1999.
- Wayne Piekarski y Bruce Thomas. Arquake: The outdoor augmented reality gaming system. *Commun. ACM*, 45(1):36–38, Ene. 2002. ISSN 0001-0782.
- William A. Pike, John Stasko, Remco Chang, y Theresa A. O'Connell. The science of interaction. *Information Visualization*, 8(4):263–274, Dic. 2009. ISSN 1473-8716.
- Thammathip Piumsomboon, Adrian Clark, Mark Billingham, y Andy Cockburn. User-defined gestures for augmented reality. En *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '13*, pág. 955–960, New York, NY, USA, 2013. ACM. ISBN 978-1-4503-1952-2.
- R. Plamondon y S.N. Srihari. Online and off-line handwriting recognition: a comprehensive survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(1): 63–84, Ene. 2000. ISSN 0162-8828.
- Long Quan y Zhongdan Lan. Linear n-point camera pose determination. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 21(8):774–780, Ago. 1999. ISSN 0162-8828.
- Wojciechowski Rafal y Wojciech Cellary. Evaluation of learners' attitude toward learning in aries augmented reality environments. *Computers & Education*, 68(0):570 – 585, 2013. ISSN 0360-1315.
- Ramesh Raskar, Jeroen van Baar, Paul Beardsley, Thomas Willwacher, Srinivas Rao, y Clifton Forlines. ilamps: Geometrically aware and self-configuring projectors. *ACM Trans. Graph.*, 22(3):809–818, Jul. 2003. ISSN 0730-0301.
- Malinda Rauhala, Ann-Sofie Gunnarsson, y Anders Henrysson. A novel interface to sensor networks using handheld augmented reality. En *Proceedings of the 8th Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '06*, pág. 145–148, New York, NY, USA, 2006. ACM. ISBN 1-59593-390-5.

- Karl Rehrl, Elisabeth Häusler, Renate Steinmann, Sven Leitinger, Daniel Bell, y Michael Weber. Pedestrian navigation with augmented reality, voice and digital map: Results from a field study assessing performance and user experience. En Georg Gartner y Felix Orttag, editores, *Advances in Location-Based Services*, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, pág. 3–20. Springer Berlin Heidelberg, 2012. ISBN 978-3-642-24197-0.
- T. Reicher, A. Mac Williams, B. Brugge, y Gudrun Klinker. Results of a study on software architectures for augmented reality systems. En *The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings*, pág. 274–275, Oct. 2003.
- Gerhard Reitmayr y T.W. Drummond. Going out: robust model-based tracking for outdoor augmented reality. En *IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2006 (ISMAR 2006)*, pág. 109–118, Oct. 2006.
- J. Rekimoto. Matrix: a realtime object identification and registration method for augmented reality. En *Computer Human Interaction, 1998. Proceedings. 3rd Asia Pacific*, pág. 63–68, Jul. 1998.
- M. Ribo, A. Pinz, y A.L. Fuhrmann. A new optical tracking system for virtual and augmented reality applications. En *Proceedings of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference 2001 (IMTC 2001)*, volumen 3, pág. 1932–1936, 2001.
- Patrick Riess, Didier Stricker, Gerrit Voss, y Wolfgang Müller-Wittig. Ultra: An augmented reality system for handheld platforms, targeting industrial maintenance applications. En *11th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, Ghent, Belgium, 2005.
- Edward Rosten y Tom Drummond. Fusing points and lines for high performance tracking. En *Tenth IEEE International Conference on Computer Vision 2005 (ICCV 2005)*, volumen 2, pág. 1508–1515, Oct. 2005.
- Christian Sandor y Gudrun Klinker. A rapid prototyping software infrastructure for user interfaces in ubiquitous augmented reality. *Personal Ubiquitous Comput.*, 9(3):169–185, May. 2005. ISSN 1617-4909.

- M.E.C. Santos, A. Chen, T. Taketomi, G. Yamamoto, J. Miyazaki, y H. Kato. Augmented reality learning experiences: Survey of prototype design and evaluation. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 7(1):38–56, Ene. 2014. ISSN 1939-1382.
- Camille Scherrer, Julien Pilet, Pascal Fua, y Vincent Lepetit. The haunted book. En *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, ISMAR '08, pág. 163–164, Washington, DC, USA, 2008. IEEE Computer Society. ISBN 978-1-4244-2840-3.
- G. Schweighofer y A. Pinz. Robust pose estimation from a planar target. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 28(12):2024–2030, Dic. 2006. ISSN 0162-8828.
- Abigail J. Sellen y Richard H.R. Harper. *The Myth of the Paperless Office*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 2003. ISBN 026269283X.
- Ángela Di Serio, María Blanca Ibáñez, y Carlos Delgado Kloos. Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. *Computers & Education*, 68(0):586 – 596, 2013. ISSN 0360-1315.
- M.M. Shah, H. Arshad, y Riza Sulaiman. Occlusion in augmented reality. En *8th International Conference on Information Science and Digital Content Technology (ICIDT 2012)*, volumen 2, pág. 372–378, Jun. 2012.
- Brett E. Shelton y Reed R. Stevens. Using coordination classes to interpret conceptual change in astronomical thinking. En *Proceedings of the 6th International Conference on Learning Sciences*, ICLS '04, pág. 634–634. International Society of the Learning Sciences, 2004.
- Beat Signer. *Fundamental concepts for interactive paper and cross-media information spaces*. Tesis Doctoral (PhD), ETH Zurich, 2008.
- David Canfield Smith, Charles Irby, Ralph Kimball, y Eric Harslem. The star user interface: An overview. En *Proceedings of the June 7-10, 1982, National Computer Conference*, AFIPS '82, pág. 515–528, New York, NY, USA, 1982. ACM. ISBN 0-88283-035-X.

- Stephen M. Smith y J. Michael Brady. SUSAN – a new approach to low level image processing. *Int. J. Comput. Vision*, 23(1):45–78, May. 1997. ISSN 0920-5691.
- Robert Spence. *Information Visualization: Design for Interaction (2nd Edition)*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 2007. ISBN 0132065509.
- Kay M. Stanney, Mansooreh Mollaghasemi, Leah Reeves, Robert Breaux, y David A. Graeber. Usability engineering of virtual environments (VEs): identifying multiple criteria that drive effective VE system design. *International Journal of Human-Computer Studies*, 58(4):447 – 481, 2003. ISSN 1071-5819.
- Jürgen Steimle. *Pen-and-Paper User Interfaces - Integrating Printed and Digital Documents*. Human-Computer Interaction Series. Springer, 2012. ISBN 978-3-642-20275-9.
- A. G. Sutcliffe y K. Deol Kaur. Evaluating the usability of virtual reality user interfaces. *Behaviour & Information Technology*, 19(6):415–426, 2000.
- Alistair Sutcliffe y Brian Gault. Heuristic evaluation of virtual reality applications. *Interacting with Computers*, 16(4):831 – 849, 2004. ISSN 0953-5438. Human Computer Interaction in Latin America.
- Ivan E. Sutherland. The ultimate display. En *Proceedings of the IFIP Congress*, pág. 506–508, 1965.
- Ivan E. Sutherland. A head-mounted three dimensional display. En *Proceedings of the December 9-11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I, AFIPS '68 (Fall, part I)*, pág. 757–764, New York, NY, USA, 1968. ACM.
- Z. Szalavári, D. Schmalstieg, A. Fuhrmann, y M. Gervautz. Studierstube: An environment for collaboration in augmented reality. *Virtual Reality*, 3(1):37–48, 1998. ISSN 1359-4338.
- Nobuko Taketa, Kenichi Hayashi, Hirokazu Kato, y Shogo Noshida. Virtual pop-up book based on augmented reality. En *Proceedings of the 2007 conference on Human interface: Part II*, pág. 475–484, Berlin, Heidelberg, 2007. Springer-Verlag. ISBN 978-3-540-73353-9.

- Ella Tallyn, David Frohlich, Nadja Linketscher, Beat Signer, y Guy Adams. Using paper to support collaboration in educational activities. En *Proceedings of the 2005 Conference on Computer Support for Collaborative Learning: Learning 2005: The Next 10 Years!*, CSCCL '05, pág. 672–676. International Society of the Learning Sciences, 2005. ISBN 0-8058-5782-6.
- Hideyuki Tamura. Steady steps and giant leap toward practical mixed reality systems and applications. En *Proc. Int. Status Conf. on Virtual and Augmented Reality*, pág. 3 – 12, Leipzig, Germany, Nov. 2002.
- Craig S. Tashman y W. Keith Edwards. Liquidtext: A flexible, multitouch environment to support active reading. En *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, pág. 3285–3294, New York, NY, USA, 2011. ACM. ISBN 978-1-4503-0228-9.
- Ana Arias Terry. Electronic ink technologies: showing the way to a brighter future. *Library Hi Tech*, 19(4):376–389, 2001.
- M. Tonnis, Christian Sandor, Gudrun Klinker, C. Lange, y H. Bubb. Experimental evaluation of an augmented reality visualization for directing a car driver's attention. En *Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2005*, pág. 56–59, Oct. 2005.
- Trivisio. Head Mounted Display: SXGA61 3D, 2015. Disponible en: <<http://www.trivisio.com/trivisio-products/sxga61-3d-7/>> (Accedido Julio 29, 2015).
- Thomas Tullis y William Albert. *Measuring the User Experience, Second Edition: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2nd edition, 2013. ISBN 0124157815, 9780124157811.
- Tinne Tuytelaars y Krystian Mikolajczyk. Local invariant feature detectors: a survey. *Found. Trends. Comput. Graph. Vis.*, 3(3):177–280, Jul. 2008. ISSN 1572-2740.
- Hideaki Uchiyama y H. Saito. Augmenting text document by on-line learning of local arrangement of keypoints. En *8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2009 (ISMAR 2009)*, pág. 95–98, Oct. 2009.

- John Underkoffler y Hiroshi Ishii. Urp: A luminous-tangible workbench for urban planning and design. En *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '99, pág. 386–393, New York, NY, USA, 1999. ACM. ISBN 0-201-48559-1.
- Luca Vacchetti, Vincent Lepetit, Michal Ponder, George Papagiannakis, Pascal Fua, Daniel Thalmann, y NadiaMagnenat Thalmann. A stable real-time ar framework for training and planning in industrial environments. En S.K. Ong y A.Y.C. Nee, editores, *Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing*, pág. 129–145. Springer London, 2004. ISBN 978-1-84996-921-5.
- Andries Van Dam. Post-wimp user interfaces. *Commun. ACM*, 40(2):63–67, Feb. 1997. ISSN 0001-0782.
- D. W. F. Van Krevelen y R. Poelman. A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. *The International Journal of Virtual Reality*, 9(2):1–20, Jun. 2010.
- LLC Virtual Realities. Head Mounted Display: VR Pro AR, 2015. Disponible en: <<http://www.vrealities.com/products/head-mounted-displays/vrproar>> (Accedido Julio 29, 2015).
- V. Vlahakis, N. Ioannidis, J. Karigiannis, M. Tsotros, M. Gounaris, D. Stricker, T. Gleue, P. Daehne, y L. Almeida. Archeoguide: an augmented reality guide for archaeological sites. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 22(5):52–60, Sep. 2002. ISSN 0272-1716.
- Vuforia. Unity Extension - Vuforia v3.0, 2014. Disponible en: <<https://developer.vuforia.com/resources/sdk/unity>> (Accedido Noviembre 21, 2014).
- Daniel Wagner y D. Schmalstieg. Handheld augmented reality displays. En *Virtual Reality Conference, 2006*, pág. 321–321, Mar. 2006.
- Daniel Wagner, Tobias Langlotz, y D. Schmalstieg. Robust and unobtrusive marker tracking on mobile phones. En *7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008 (ISMAR 2008)*, pág. 121–124, Sep. 2008.
- Krzysztof Walczak y Rafal Wojciechowski. Dynamic creation of interactive mixed reality presentations. En *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software*

and Technology, VRST '05, pág. 167–176, New York, NY, USA, 2005. ACM. ISBN 1-59593-098-1.

Benjamin Walther-Franks y Rainer Malaka. Evaluation of an augmented photograph-based pedestrian navigation system. En Andreas Butz, Brian Fisher, Antonio Krüger, Patrick Olivier, y Marc Christie, editores, *Smart Graphics*, volumen 5166 de *Lecture Notes in Computer Science*, pág. 94–105. Springer Berlin Heidelberg, 2008. ISBN 978-3-540-85410-4.

Ching-Sheng Wang, Ding-Jung Chiang, y Yi-Yun Ho. 3D augmented reality mobile navigation system supporting indoor positioning function. En *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Cybernetics (CyberneticsCom) 2012*, pág. 64–68, Jul. 2012.

Sabine Weibel, Uli Bockholt, Timo Engelke, Nirit Gavish, Manuel Olbrich, y Carsten Preusche. An augmented reality training platform for assembly and maintenance skills. *Robotics and Autonomous Systems*, 61(4):398 – 403, 2013. ISSN 0921-8890. Models and Technologies for Multi-modal Skill Training.

Greg Welch, Gary Bishop, Leandra Vicci, Stephen Brumback, Kurtis Keller, y D'nardo Colucci. The hiball tracker: High-performance wide-area tracking for virtual and augmented environments. En *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '99, pág. 1–ff., New York, NY, USA, 1999. ACM. ISBN 1-58113-141-0.

Pierre Wellner. The digitaldesk calculator: Tangible manipulation on a desk top display. En *Proceedings of the 4th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '91, pág. 27–33, New York, NY, USA, 1991. ACM. ISBN 0-89791-451-1.

Pierre Wellner. Interacting with paper on the digitaldesk. *Commun. ACM*, 36(7):87–96, Jul. 1993. ISSN 0001-0782.

Daniel Wigdor y Dennis Wixon. *Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 1st edition, 2011. ISBN 0123822319, 9780123822314.

- Matthias M. Wloka y Brian G. Anderson. Resolving occlusion in augmented reality. En *Proceedings of the 1995 Symposium on Interactive 3D Graphics*, I3D '95, pág. 5–12, New York, NY, USA, 1995. ACM. ISBN 0-89791-736-7.
- Eric Woods, Mark Billinghurst, Julian Looser, Graham Aldridge, Deidre Brown, Barbara Garrie, y Claudia Nelles. Augmenting the science centre and museum experience. En *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australasia and South East Asia*, GRAPHITE '04, pág. 230–236, New York, NY, USA, 2004. ACM. ISBN 1-58113-883-0.
- Harald Wuest. *Efficient Line and Patch Feature Characterization and Management for Real-time Camera Tracking*. Tesis Doctoral (PhD), TU Darmstadt, Nov. 2008.
- Harald Wuest. *Real-time Camera Tracking for Augmented Reality Applications: Efficient Line and Patch Feature Characertization and Management*. VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, Alemania, 2009. ISBN 978-3-639-10739-5.
- Mingmin Zhang, Mingliang Xu, Lizhen Han, Yong Liu, Pei Lv, y Gaoqi He. Virtual network marathon with immersion, scientificness, competitiveness, adaptability and learning. *Computers & Graphics*, 36(3):185 – 192, 2012. ISSN 0097-8493. Novel Applications of VR.
- Feng Zhou, H.B.-L. Duh, y M. Billinghurst. Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ismar. En *7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008 (ISMAR 2008)*, pág. 193–202, Sep. 2008.