

# La realidad aumentada en la educación: usabilidad y ejemplos de su aplicación

Memoria de Proyecto Final de Grado

**Grado Multimedia**

Usabilidad e interfaces

**Autor: Alfonso Gustavo Chico Fernández de Terán**

Consultor: Judit Casacuberta Bagó

Profesor: Ferrán Gimenez Prado

Fecha de entrega: 16-6-19

## Copyright



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

## **Abstract**

La realidad aumentada, por su naturaleza, ofrece numerosas ventajas para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje en muchas áreas del conocimiento. No obstante, no se ha generalizado su uso en la práctica educativa, debido sobre todo a razones de índole económico y de usabilidad. La generalización del uso de dispositivos móviles con la potencia de cálculo suficiente, y el desarrollo de tecnologías como WebAR, que facilitan la utilización del navegador como visor, ofrecen la posibilidad de integrar por fin la realidad aumentada como una herramienta más en entornos educativos reales.

Este proyecto explora las posibilidades de esta tecnología en la educación desde una perspectiva práctica, haciendo hincapié en mejorar su usabilidad e implementando ejemplos prácticos que demuestran su utilidad.

Palabras clave: realidad aumentada, usabilidad, educación, WebAR, herramientas educativas, aprendizaje.

## **Abstract (english version).**

Augmented reality, by its nature, offers numerous advantages to improve teaching-learning procedures in many areas of knowledge. However, its use in educational practice has not been generalized, mainly due to economic and usability reasons. The generalization of the use of mobile devices with sufficient computing power, and the development of technologies such as WebAR, which facilitates the use of the browser as a viewer, offers the possibility of finally integrating augmented reality as a tool in real-world educational environments.

This project explores the possibilities of such technology in education from a practical perspective, with a focus on improving its usability and implementing practical examples that demonstrates its usefulness.

Keywords: augmented reality, usability, education, WebAR, educational tools, learning.

# Índice

1. Introducción .....	8
2. Descripción .....	9
3. Objetivos.....	10
3.1 Principales .....	10
3.2 Secundarios .....	10
4. Marco teórico/Escenario.....	11
4.1. Realidad aumentada: antecedentes y modalidades .....	11
4.2. La realidad aumentada en la educación: escenario actual .....	12
5. Contenidos .....	14
6. Metodología.....	15
7. Arquitectura de la aplicación .....	16
8. Plataforma de desarrollo .....	17
8.1. Software.....	17
8.2. Hardware .....	17
8.3. Otros .....	17
9. Planificación .....	18
10. Proceso de trabajo .....	20
10.2. PEC2: investigación y concepción del producto .....	20
10.3. PEC3: diseño y creación de los contenidos .....	24
10.4. Entrega final: implementación .....	27
12. Prototipos .....	29
12.1. Visor 3d de realidad aumentada.....	29
12.2. Marcador 3d en realidad aumentada.....	30
12.3. Reproductor 3d en realidad aumentada .....	34
12.4. Visor de acordes de guitarra en realidad aumentada .....	35
13. Guiones .....	37
13.1. Materiales educativos del tipo “libro mágico” .....	37
13.2. Visor de acordes de guitarra en realidad aumentada .....	40
14. Perfiles de usuario.....	41
15. Usabilidad/UX.....	42
16. Seguridad .....	43
17. Tests.....	44
18. Versiones de la aplicación/servicio .....	46
19. Requisitos de implantación y uso.....	47

19.1. Requisitos de implantación.....	47
19.2. Requisitos de uso .....	47
20. Instrucciones de implantación .....	48
21. Instrucciones de uso .....	49
22. Bugs.....	50
23. Proyección a futuro.....	51
24. Conclusiones .....	52
Anexo 1. Entregables del proyecto .....	53
Anexo 2. Código fuente (extractos).....	56
Anexo 3. Librerías/Código externo utilizado .....	57
Anexo 4. Capturas de pantalla .....	58
Anexo 5. Guía de usuario.....	64
Anexo 6. Glosario .....	66
Anexo 7: encuesta realizada a profesores.....	67
Anexo 8. Bibliografía .....	68

# Figuras

## Índice de figuras

Figura 1: Continuo de la realidad mixta .....	11
Figura 2: Diagrama de Gantt .....	18
Figura 3: códigos de marcas integrados.....	22
Figura 4: códigos de marcas separados.....	22
Figura 5: diseño de marca sencilla .....	26
Figura 6: marca sin simetría radial .....	26
Figura 7: diferentes diseños de marcas.....	26
Figura 8: Maqueta funcional del visor 3D .....	29
Figura 9: interfaz final del visor 3D .....	29
Figura 10: maqueta funcional del marcador 3D.....	30
Figura 11: marca de 6cm, móvil .....	31
Figura 12: marca de 6cm, tablet.....	32
Figura 13: marca de 2cm, móvil .....	33
Figura 14: maqueta funcional del reproductor 3D .....	34
Figura 15: maqueta funcional del visor de acordes .....	35
Figura 16: utilizando el visor de acordes .....	35
Figura 17: wireframe con la interfaz de usuario del visor de acordes .....	36
Figura 18: implementación final de la aplicación .....	36
Figura 19: estructura de la aplicación "libro mágico de la célula".....	37
Figura 20: estructura de la aplicación "visor de acordes" .....	40
Figura 21: Montaje para los test locales .....	44
Figura 22: Modelado de la célula en 3D en Blender.....	58
Figura 23: Diseño y creación del icono de la marca de AR 3D chords en Adobe Illustrator .....	58
Figura 24: Diseño y creación de la marca de AR 3D chords en Adobe Photoshop .....	59
Figura 25: Diseño y creación de los diagramas de acordes en Adobe Illustrator.....	59
Figura 26: Diseño y creación de la interfaz de usuario de AR 3D chords en Omnigraffle.....	60
Figura 27: Creación y rotulado de los gráficos de la célula en Omnigraffle .....	60
Figura 28: Creación de las marcas del magic book en Adobe Photoshop .....	61
Figura 29: Edición y rotulación del video en Final Cut Pro .....	61
Figura 30: Conversión y compresión del video en Compressor .....	62
Figura 31: Captura y recorte de las imágenes de la mitosis en Capto .....	62
Figura 32: Redacción de los contenidos textuales en Ulysses.....	63
Figura 33: Diseño y maquetación de los contenidos de las páginas físicas en un editor de textos .....	63

# 1. Introducción

Tras algo más de 15 años dando clases de tecnología aplicada a la música a estudiantes y profesores he podido experimentar, tanto en primera persona como a través de las experiencias de otros docentes, diferentes aproximaciones respecto de la utilización de la tecnología en la educación. Algunos de estos enfoques, en los que el planteamiento es utilizar la tecnología más como un fin que como un medio, no contribuyen a conseguir un aprendizaje significativo en el alumno; más aún, la tecnología llega a convertirse en un obstáculo para la enseñanza.

Por otra parte, cuando el enfoque parte de utilizar la tecnología como una herramienta, ajustando su uso a las tareas más adecuadas, el proceso de enseñanza-aprendizaje puede verse enormemente facilitado. En estos casos la tecnología suele cumplir tres **funciones básicas**:

- **Motivacional**, al despertar en el alumno el deseo de realizar las tareas que involucran el uso de la tecnología.
- **Facilitadora**, al hacer más sencilla la realización de determinadas tareas que resultan más difíciles sin su uso.
- **Posibilitadora**, al permitir la realización de tareas que no son posibles sin utilizar dicha tecnología.

En este sentido, la **realidad aumentada** (RA en adelante) es una tecnología especialmente capaz de cumplir estas tres funciones: despierta la curiosidad y fomenta el descubrimiento, facilita añadir capas extra de información virtual interrelacionada y localizada en un entorno real y posibilita nuevas tareas como acceder y manipular modelos 3D. Tanto es así que, ya desde el siglo pasado, se ha investigado acerca de sus posibilidades educativas, aunque las dificultades tecnológicas y el alto coste de los dispositivos necesarios hicieron que su uso en la práctica educativa real fuese anecdótico.

En la actualidad, la popularización de los dispositivos móviles y el aumento de potencia de los mismos, junto con el avance de tecnologías como WebAR, que permiten utilizar el navegador junto con la cámara del móvil como visor de RA, hacen posible plantearse un uso práctico de esta tecnología en la educación. No obstante, para que este uso facilite el proceso de enseñanza-aprendizaje es preciso establecer y definir las tipologías de experiencias RA más adecuadas considerando su uso educativo y las características diferenciadoras de esta tecnología, al igual que cuidar la usabilidad de su aplicación.

Así, en este trabajo de fin de grado me propongo explorar las posibilidades de la RA en la educación, desde el punto de vista de su uso práctico, e implementar ejemplos de su aplicación que demuestren su efectividad. Al mismo tiempo, mi intención es que el resultado de este trabajo sirva también para sentar las bases del futuro desarrollo de una *herramienta de autor* que facilite la creación de experiencias de RA por parte de los docentes (o cualquier otra persona) sin experiencia en programación.

## 2. Descripción

La realidad aumentada es una tecnología que posee las siguientes características (Azuma, 1997):

- Combina objetos reales y objetos virtuales que coexisten en un entorno compartido.
- Facilita a los usuarios algún grado de interacción con los objetos virtuales
- Permite que los objetos virtuales puedan estar alineados espacialmente con los objetos reales.

Esto puede aportar una serie de ventajas a la hora de utilizar la RA en la transmisión de conocimientos, ya que se facilita la adaptación y la contextualización de los contenidos (Miglino & Walker, 2010; Roblyer et al., 2006). Concretamente, se ha determinado (Radu, 2012; Radu, 2014) que el aprendizaje con RA tiene un impacto positivo en el incremento de la comprensión del contenido, el aprendizaje de estructuras espaciales, asociaciones lingüísticas, memoria a largo plazo y motivación.

No obstante, diferentes estudios (Radu, 2012; Radu, 2014) han determinado que su uso educativo conlleva también algunos efectos negativos, como la “visión túnel”<sup>1</sup>, dificultades de usabilidad o integración poco efectiva en el aula, entre otros. Estos problemas pueden estar causados, en gran medida, por varios factores:

- La utilización de **visores** (head mounted displays) de relativo gran peso y tamaño que dificultan y encarecen el acceso a la experiencia de RA.
- La necesidad de comprar/installar **software específico** no universal.
- El **diseño ineficaz** de las experiencias de RA en relación a la práctica educativa real y la dificultad de los docentes para elaborar materiales adaptados a su metodología de enseñanza.

En el presente trabajo se intentarán solventar en cierta medida estos problemas combinando el uso de dispositivos móviles con tecnologías de RA a través del navegador, a la vez que utilizando una metodología de diseño centrado en el usuario que permita mejorar la usabilidad de las experiencias de RA.

Así, en una primera fase, se concretarán los ámbitos educativos más adecuados para el uso de la RA como herramienta, se establecerán las tipologías de experiencias RA (videos, tooltips, modelos 3d, etc.) más adecuadas considerando su uso educativo y se realizará el diseño de la interfaz de cada una de las tipologías seleccionadas.

En una segunda fase se seleccionarán algunos ejemplos de aplicación en diversas materias y se diseñarán y crearán los contenidos necesarios para desarrollar una aplicación de RA.

Por último, en la tercera fase del proyecto se implementará y se desarrollará la aplicación utilizando las tecnologías descritas.

---

<sup>1</sup> Pérdida momentánea de la visión periférica (VVAA, 2019).

## **3. Objetivos**

### **3.1 Principales**

- Explorar las posibilidades de la realidad aumentada en la educación.
- Mejorar la usabilidad de las experiencias de realidad aumentada aprovechando tecnologías como WebAR y los códigos QR.
- Implementar ejemplos de realidad aumentada aplicados a diferentes materias Educativas.

### **3.2 Secundarios**

- Establecer las bases para el desarrollo de una herramienta de autor destinada al profesorado.

## 4. Marco teórico/Escenario

### 4.1. Realidad aumentada: antecedentes y modalidades

Aunque las primeras manifestaciones de RA se remontan a la década de 1950, con el sensorama de Morton Heiling, el término “realidad aumentada” fue introducido por Tom Caudell a principios de la década de 1990 (Yilmaz, 2018). Forma parte de un conjunto más amplio experiencias que Paul Milgram llamó “*realidad mixta*” (Milgram & Kishino, 1994), y que ordenó en función del grado de importancia que tenía su grado de realidad o virtualidad.

Así, estos autores propusieron un eje que iba desde las experiencias situadas en el “*entorno real*” (la visión o percepción de las imágenes reales) hasta aquellas situadas en el “*entorno virtual*” (la visión de objetos generados de forma artificial). La realidad aumentada estaría situada en el extremo más cercano a la realidad:

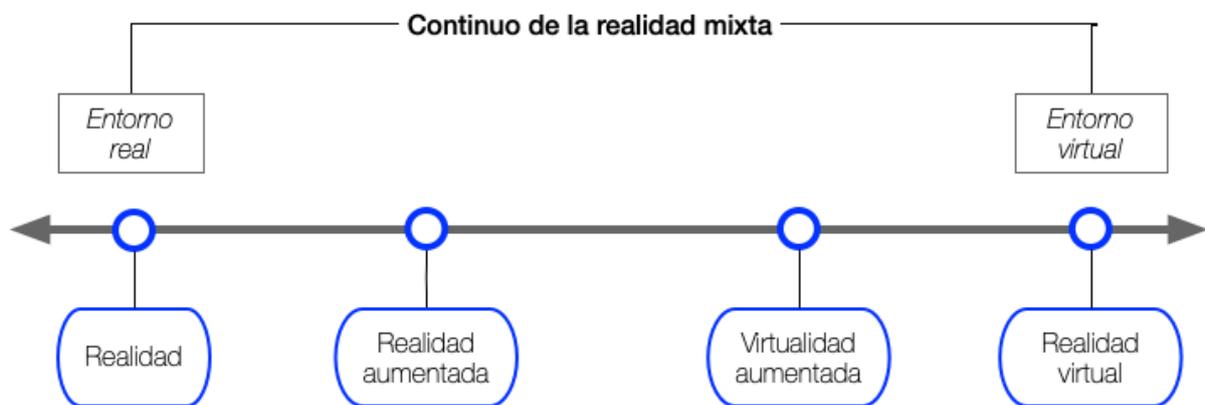


Figura 1: Continuo de la realidad mixta

A finales de los años noventa la RA se convirtió en un campo autónomo de investigación, con simposios internacionales como el *International Workshop and Symposium on Augmented Reality* o el *International Symposium on Mixed Reality*, y con organizaciones dedicadas como el *Mixed Reality Systems Laboratory* (MRLab) de Japón y el *Arvika consortium* de Alemania.

Fruto de esta evolución surgieron diferentes modalidades de RA (Yilmaz, 2018); en función de *cómo se vincula la información digital al mundo real* podemos distinguir:

- **RA basada en reconocimiento de superficies.** El sistema genera en tiempo real un modelo volumétrico basado en las imágenes del mundo real captadas por la cámara, identificando las superficies sobre las que situar los objetos virtuales. ARKit de Apple o ARCore de Google utilizan esta modalidad.
- **RA geoposicionada.** Los objetos virtuales se asocian a coordenadas geográficas del mundo real. Un popular ejemplo de esta modalidad es el juego “Pokémon Go!”.

- **RA basada en reconocimiento de marcas.** Los objetos virtuales se asocian a unas marcas visuales concretas; la posición, escala y orientación de estas marcas en el mundo real determina la posición, escala y orientación de los objetos virtuales. Vuforia o ARToolKit son tecnologías que utilizan esta modalidad de RA.

Por otra parte, considerando el *tipo de visualización* podemos distinguir entre:

- **RA por superposición óptica.** Los objetos virtuales se superponen a la imagen procedente directamente del mundo físico con un sistema de miniproyectores combinados con espejos. Es el sistema utilizado en visores como las Google Glass, por ejemplo.
- **RA holográfica.** Utilizada en visores de última generación (como HoloLens o MagicLeap) permite mejorar la opacidad de los objetos virtuales sobre los físicos mejorando su integración.
- **RA por superposición digital.** El sistema combina digitalmente los objetos virtuales y la imagen real captada por una cámara, mostrando el resultado en una pantalla. Es la modalidad utilizada por las aplicaciones de RA de ordenador o dispositivos móviles.

## 4.2. La realidad aumentada en la educación: escenario actual

Desde sus orígenes la RA ha sido considerada como una herramienta útil a la hora de adquirir conocimientos de determinadas áreas, por lo que no es de extrañar que se haya publicado una cantidad considerable de literatura relacionada con la aplicación de la RA en contextos educativos (Bacca et al., 2014), hasta el punto de que incluso nos encontramos con estudios dedicados a revisar los artículos más importantes existentes y extraer conclusiones en base a su análisis (Martin et al., 2011; Radu, 2012; Radu, 2014; Santos et al., 2014).

Las principales conclusiones de estos “meta-estudios” acerca del escenario actual son las siguientes (Bacca et al., 2014):

- A pesar de que el número de artículos muestra una tendencia a incrementarse, **la RA en la educación está aún en sus etapas iniciales.** La tendencia (al menos en educación) es el incremento en la utilización de dispositivos móviles frente a otro tipo de visores dedicados. (Martin et al., 2011)
- En cuanto a las **áreas educativas en la que se aplica de forma efectiva la RA**, las predominantes son las disciplinas relacionadas con las ciencias (matemáticas y geometría, biología, y en general aquellos campos en los que es difícil visualizar determinadas cosas en el mundo real sin un dispositivo especializado), seguidas por humanidades y artes.
- En relación con el **nivel educativo**, la RA se aplica sobre todo en educación superior, seguido de educación secundaria y primaria.
- La **principal modalidad utilizada**, con relación al método de vinculación, es la basada en reconocimiento de marcas.
- Hay tres **tipos principales de material educativo basado en RA** que han demostrado su efectividad (Santos et al., 2014): los libros mágicos (libros físicos a los que se añaden contenidos virtuales), los artefactos de aprendizaje (objetos reales con información virtual) y los contenidos educativos geolocalizados (espacios físicos en los que se insertan objetos virtuales). Los investigadores consideran que los primeros son una de las mejores maneras de introducir la RA en la educación.

Por otra parte, y considerando los dispositivos utilizados para visualizar, Santos et al. (2014) proponen una categorización muy interesante, agrupándolos en aquellos que utilizan la **metáfora del espejo** (al mostrar una perspectiva en tercera persona en la que el usuario se convierte en un observador de sí mismo) y los que usan la **metáfora de las gafas** (mostrando una perspectiva en primera persona, de forma que el usuario puede ver los que está delante suya).

Por último, en muchos estudios se subraya de qué forma y porqué las características diferenciales de RA pueden ser beneficiosas para el aprendizaje, en base a distintas teorías cognitivas y pedagógicas. Así, Santos et al. (2014) establecen **tres formas de usar la RA para mejorar la experiencia educativa**:

1. **Anotación del mundo real** (Real world annotation). Consiste en la yuxtaposición de objetos reales y objetos virtuales que aportan información a los primeros. Por ejemplo, una aplicación que resalta las teclas a tocar en el piano. Reduce la carga cognitiva mejorando la percepción.
2. **Visualización contextual** (Contextual visualization). La información virtual se presenta contextualizada en el entorno real. Por ejemplo, una aplicación que muestra en otro idioma el nombre de los objetos. Mejora la etapa de elaboración en el aprendizaje al facilitar la creación de asociaciones.
3. **Visualización tacto-visual** (Vision-haptic visualization). Consiste en la integración del sentido de la vista y el sentido del tacto a la hora de percibir la información virtual. Por ejemplo, una aplicación que presenta un objeto virtual que el usuario puede rotar y mover para inspeccionarlo. Mejora la etapa de elaboración gracias a la personificación de la representación del objeto virtual.

## 5. Contenidos

En base a lo expuesto en los apartados anteriores, el presente trabajo consistirá en el diseño de cuatro tipologías de experiencias de RA con las siguientes características:

- Que estén concebidas partiendo de la usabilidad.
- Que utilicen la RA basada en reconocimiento de marcas, dado que:
  1. A diferencia de otras modalidades, aporta una referencia real (la marca) de la experiencia virtual.
  2. Es la principal modalidad utilizada según la literatura consultada.
- Que tengan unos requerimientos mínimos, esto es, que sean compatibles con diferentes dispositivos y no requieran de la instalación de una aplicación para su funcionamiento.
- Que sean representativas de las diferentes metáforas y usos que han probado su efectividad según la literatura consultada.

Así, y teniendo en cuenta también los resultados de las encuestas y entrevistas con profesores realizadas en la primera fase del proyecto, las cuatro experiencias a diseñar serán las siguientes:

- **Visor 3d de realidad aumentada.** Aplicación web que permite visualizar y manipular (rotar, cambiar de tamaño y animar) un objeto virtual que se muestra en el mundo real utilizando un dispositivo móvil. Sería una forma de uso de tipo “*visualización tacto-visual*” que usaría la *metáfora de las gafas*.
- **Marcador 3d en realidad aumentada.** Aplicación web que permite asociar etiquetas textuales a ubicaciones físicas reales en base a marcas utilizando un dispositivo móvil. Sería una forma de uso de tipo “*anotación del mundo real*” que usaría también la *metáfora de las gafas*.
- **Reproductor 3d en realidad aumentada.** Aplicación web que permite reproducir videos y animaciones integrándolos en una imagen real a través de un dispositivo móvil de forma que, aparentemente, cobre vida. Sería una forma de uso de tipo “*visualización contextual*” que usaría también la *metáfora de las gafas*.
- **Visor de acordes de guitarra en realidad aumentada.** Aplicación web que muestra la posición en la que deben pisar los dedos en el mástil de una guitarra para aprender los acordes básicos, utilizando un ordenador con webcam. Sería una forma de uso de tipo “*anotación del mundo real*” que usaría la *metáfora del espejo*.

En una segunda fase se desarrollarán ejemplos concretos de aplicación pedagógica de las tres primeras experiencias creando material educativo del tipo “libro mágico”.

## 6. Metodología

Dado que uno de los objetivos principales del presente trabajo es mejorar la usabilidad, para el desarrollo del proyecto se intentará seguir el enfoque conocido como **diseño centrado en el usuario** (DCU), que consisten en orientar todo el proceso de diseño hacia las necesidades y objetivos del usuario del producto a desarrollar, lo que incide en mejorar la experiencia final de uso con el mismo.

El DCU se basa en varias etapas que se desarrollan de forma iterativa. Para este proyecto se usará un modelo de cinco etapas:

- **Etapa 1: investigación.** Como ya se ha expuesto, se comenzará investigando con objeto de concretar las tipologías de experiencias de RA y los ámbitos educativos más adecuados para el uso de la RA como herramienta en la educación. Para ello se realizarán encuestas y entrevistas entre profesionales de la educación, lo que se complementará con la revisión de la literatura y aplicaciones existentes más relevantes.
- **Etapa 2: Definición.** A partir de las conclusiones extraídas de los resultados de la fase anterior pasaremos a definir los ámbitos y tipologías a utilizar, así como a seleccionar las aplicaciones de ejemplo a desarrollar.
- **Etapa 3: Generación.** Una vez definido el ámbito, se procederá a diseñar la interfaz de las tipologías seleccionadas y las aplicaciones utilizando técnicas como el prototipado. Al mismo tiempo, se generarán los contenidos necesarios para implementar la aplicación.
- **Etapa 4: Evaluación.** Se irá comprobando si las soluciones diseñadas responden a las necesidades detectadas en los usuarios utilizando técnicas como el **test con usuarios** o la **evaluación heurística**. Las etapas de generación y evaluación serán iterativas, testeándose primero los prototipos de las interfaces para ir rediseñando en función de los resultados de la evaluación.
- **Etapa 5: Producción.** Finalmente, se implementará la aplicación diseñada.

## 7. Arquitectura de la aplicación

- **Cliente.** Aplicación web desarrollada con HTML, CSS y javascript.
- **Servidor.** No se utiliza backend.
- **Base de datos.** No se utilizan.

## 8. Plataforma de desarrollo

### 8.1. Software

- **Visual Studio Code.** Utilizado como editor principal de código.
- **Navegadores Safari, Chrome y Mozilla Firefox.** Para la realización de pruebas de funcionalidad.
- **MAMP.** Utilizado para la creación de un servidor local.
- **Adobe Photoshop.** Para la elaboración y edición de las marcas, las hojas de marcas y demás elementos gráficos.
- **Adobe Illustrator.** Usado en la creación y diseño de las imágenes personalizadas de las marcas, de los diagramas de acordes y demás elementos gráficos vectoriales.
- **OmniGraffle.** Empleado en el diseño de la interfaz de usuario y en la rotulación de los gráficos de la célula.
- **Capto.** Utilizado para elaborar las imágenes de la mitosis a partir del video y para realizar capturas de pantalla.
- **Final Cut Pro y Compressor.** Usados en la edición, rotulación, compresión y exportación del video de la mitosis.
- **Ulysses.** Empleado para redactar los contenidos textuales de los materiales.
- **Pages.** Usado en la maquetación de los materiales impresos.

### 8.2. Hardware

- **MacBook Pro.** Ordenador de desarrollo.
- **iPad y iPhone.** Para realizar las pruebas.
- **Webcam USB.** Conectada al ordenador principal para realizar las pruebas.

### 8.3. Otros

- **Github.** Alojamiento del código y servidor web online de pruebas.
- **QR code generator** (<https://www.the-qr-code-generator.com>). Para generar los códigos QR.
- **MSDF font generator** (<https://msdf-bmfont.donmccurdy.com>). Para generar las bmfons.
- **AR.js marker training** (<https://jeromeetienne.github.io/AR.js/three.js/examples/marker-training/examples/generator.html>) Para generar las marcas personalizadas.

## 9. Planificación

Las etapas expuestas en el apartado de metodología se han repartido en tres fases, que coinciden con los plazos de las entregas de las PEC establecidos en la asignatura, tal y como se muestra en el diagrama de Gantt (Figura 2):

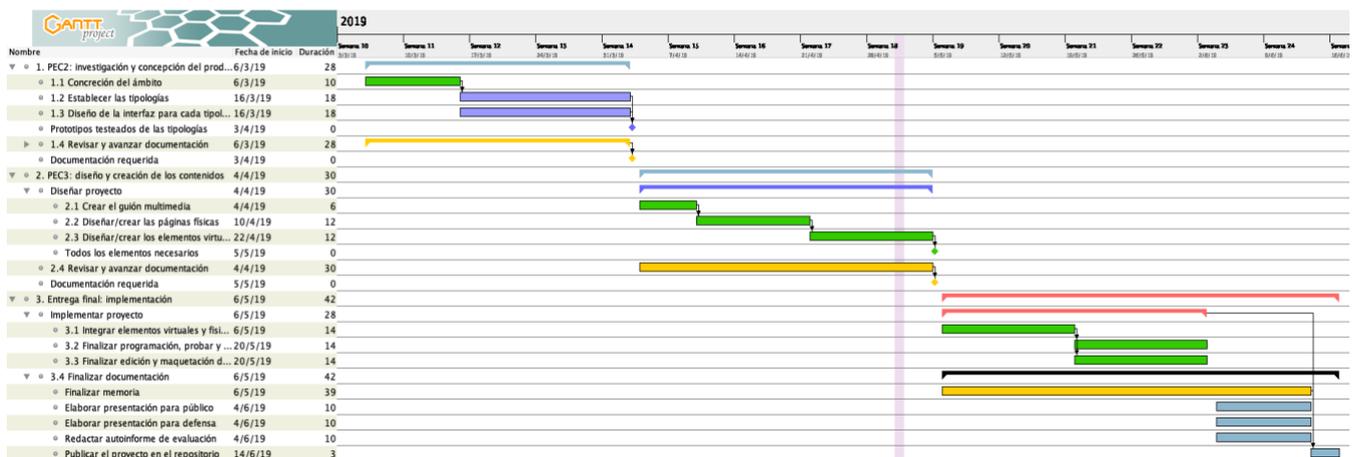


Figura 2: Diagrama de Gantt

Las tareas detalladas serían las siguientes:

### 1. PEC2: investigación y concepción del producto

**1.1. Concretar el ámbito del proyecto.** Realizar encuestas/entrevistas con profesores acerca del potencial de la RA en las asignaturas que imparten y revisar la principal literatura existente al respecto para determinar el ámbito concreto de la aplicación de RA.

**1.2. Establecer las tipologías AR.** Determinar las distintas tipologías de experiencias AR a utilizar en el proyecto (video, imágenes con tooltips, animaciones, modelos 3D, etc.), teniendo en cuenta el uso educativo dentro del ámbito seleccionado, las posibilidades técnicas de implementación y las consideraciones derivadas de la usabilidad del producto.

**1.3. Diseñar la interfaz para cada tipología.** Diseñar y crear un prototipo de la interfaz de cada una de las tipologías seleccionadas, así como realizar las pruebas oportunas para asegurar su funcionalidad.

Los puntos 2 y 3 pueden comenzar a desarrollarse en paralelo con el 1, sobre todo la parte tecnológica, aunque requieren de la concreción del ámbito para la elaboración de los prototipos.

**1.4. Revisar y avanzar la documentación.** Revisar y actualizar la memoria del proyecto conforme se indica en el enunciado de la PEC2.

## 2. PEC3: diseño y creación de los contenidos

**2.1. Crear el guion multimedia.** Seleccionar las aplicaciones de ejemplo a desarrollar y concebir la páginas a incluir en el producto, diseñando la experiencia AR para cada página.

**2.2. Diseñar/crear los contenidos de las páginas físicas.** Generar todos lo contenidos a incluir en la páginas físicas (textos, gráficos, imágenes, etc.) y realizar el diseño de las mismas (tipografías, maquetación, etc.), incluyendo el diseño de los códigos AR.

**2.3. Diseñar/crear los elementos virtuales.** Generar todos los elementos virtuales necesarios para las experiencias AR diseñadas (modelos 3d, tooltips de texto, videos, etc.).

**2.4. Revisar y avanzar la documentación.** Revisar y actualizar la memoria del proyecto conforme se indica en el enunciado de la PEC3.

## 3. Entrega final: implementación

**3.1. Integrar elementos virtuales y físicos.** Realizar la integración de los elementos virtuales y físicos mediante la programación de la aplicación web.

**3.2. Finalizar programación, probar y alojar las aplicaciones web.** Realizar test sobre el código, corregir errores y alojar en servidor público.

**3.3. Finalizar edición y maquetación de las páginas físicas.** Integrar los códigos AR de producción asociados con las aplicaciones web en las páginas físicas, revisar la edición y maquetación y generar los entregables, tanto físicos como electrónicos.

**3.4. Finalizar la documentación.** Finalizar la memoria, redactar el autoinforme de evaluación y elaborar las presentaciones. Publicar el proyecto en el repositorio.

# 10. Proceso de trabajo

## 10.2. PEC2: investigación y concepción del producto

### 10.2.1. Concreción del ámbito

Se comenzó revisando la principal literatura relacionada, buscando artículos relacionados tanto en Google académico como en la biblioteca de la UOC. Ante la cantidad de literatura existente se realizó un proceso de filtrado, priorizando los artículos más citados en Google Scholar y en los meta-estudios existentes. El resultado de esta revisión se ha plasmado en el apartado 4 de este trabajo.

A partir de las conclusiones obtenidas se elaboró una breve encuesta, adjunta en el anexo 9, con objeto de recabar la opinión de profesores acerca del uso práctico de la RA en las aulas y realizar una primera toma de contacto con la realidad de las mismas. La encuesta se realizó a un total de 11 profesores de distintos niveles educativos, y sirvió de base para realizar una entrevista informal en torno al tema a cada uno de los participantes. Las conclusiones obtenidas a partir de estas encuestas/entrevistas son las siguientes:

- El uso de dispositivos móviles en niños de corta edad no resulta recomendable. Puede ser oportuno un uso puntual para este tipo de actividades con la supervisión de los padres a partir de los últimos cursos de primaria, y de forma autónoma a partir de los 14 o 15 años (3º- 4º de ESO).
- Las aulas habituales de clase no son el lugar más adecuado para realizar actividades que impliquen el uso de dispositivos móviles, al menos en aquellos centros educativos en los que su uso no está aún normalizado.
- Las áreas de conocimiento que pueden beneficiarse de esta tecnología serían, a priori, biología seguido de música, matemáticas y geometría.
- Por otra parte, los “libros mágicos” y el uso descrito como “anotación del mundo real” en el apartado 4 de este trabajo fueron considerados como muy adecuados para el aprendizaje por muchos de los profesores entrevistados.

En base a los resultados obtenidos se decidió que los ejemplos a implementar pertenecerían a los ámbitos de la biología y de la música.

### 10.2.2. Establecimiento de las tipologías

De forma paralela a las actividades anteriores se exploraron las posibilidades técnicas de implementación en base a los requisitos establecidos (aplicación web basada en marcas). De todas las alternativas consideradas se optó por utilizar la librería ARToolkit.js para gestionar a parte de integración con la cámara y gestión de las marcas, Tree.js a través de A-Frame para la creación y visualización de los objetos virtuales y AR.js para integrar A-frame con ARToolkit. Esta combinación de librerías ofrece las siguientes ventajas:

- Se trata de software libre
- No requieren instalar ningún programa
- Tienen una compatibilidad amplia, y funcionan incluso en dispositivos no muy potentes.

No obstante, a la hora de implementar las maquetas funcionales he encontrado algunos problemas:

- Resulta complicado manejar objetos 3D generados con animaciones con programas como Blender. Al final se encontró solución a través de otra librería adicional.
- *Three.js* utiliza un tipo de fuente de texto especial denominado *bmfont*, y las tipografías por defecto no incluyen caracteres imprescindibles como las vocales acentuadas. Ha sido necesario generar una tipografía de este tipo con una aplicación web utilizando un juego de caracteres de la fuente Open Sans Regular. El dar formato al texto resulta a su vez difícil.
- El código javascript debe ser incrustado en el sistema de componentes de *A-Frame*, por lo que el desarrollo de las aplicaciones resulta ser diferente de lo habitual.
- Dependiendo del tamaño y la iluminación de las marcas utilizadas la ubicación de los elementos virtuales puede ser inestable.

Tras explorar las posibilidades técnicas, y teniendo en cuenta el uso educativo dentro de los ámbitos seleccionados en el punto anterior, se establecieron las tipologías expuestas en el apartado 5 de este trabajo.

### 10.2.3. Diseño de la interfaz para cada tipología

Para abrir la aplicación web asociada a la marca de cada una de las experiencias se optó por utilizar códigos QR. Esto facilita el acceso a la experiencia de RA ya que los pasos necesarios serían los siguientes:

1. Se escanea el código QR con la cámara del dispositivo móvil (no es necesario instalar ninguna aplicación extra, tan solo abrir la cámara) y se accede a la web sugerida
2. Se permite el uso de la cámara del móvil en el navegador en la ventana emergente (es una restricción de seguridad) y se apunta a la marca.

Se ha experimentado con distintos diseños para integrar las dos marcas, integradas en un sólo elemento y separadas:



Figura 3: códigos de marcas integrados



Figura 4: códigos de marcas separados

La **primera opción** resulta más usable, ya que hay un sólo elemento gráfico al que apuntar la cámara para comenzar y continuar la experiencia; no obstante, sólo funciona bien cuando tiene un tamaño considerable. La **segunda opción** presentó un problema de usabilidad en los test de usuario realizados, ya que el orden de las marcas no sigue el orden de escaneo (los usuarios tendían a escanear primero la marca de la izquierda).

A partir de ahí se procedió a crear una maqueta funcional de cada una de las aplicaciones para realizar test de funcionamiento. El diseño de cada una de las interfaces fue deliberadamente simplificado para poder centrarse en la funcionalidad y no en la estética (pueden verse imágenes en el apartado 12). Sobre esta maqueta se procedió a realizar un test de usuarios inicial para evaluar la funcionalidad del que se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Es preciso aumentar el tamaño de la tipografía en general
- Cuando se usan las marcas separadas, el código QR debe estar a la izquierda
- En el **Visor 3d de realidad aumentada**:
  - Los botones son demasiado pequeños
  - Es preciso ajustar la respuesta del control de rotación para que tenga más efecto en el modelo y pueda usarse en los dos sentidos sin levantar el dedo
  - Sería más adecuado usar un control tipo slider para la rotación y el zoom
  - Con el móvil en forma apaisada queda poco espacio vertical para visualizar el modelo
- En el **Marcador 3d en realidad aumentada**:
  - Hay que mejorar la precisión en la ubicación de las marcas y la oscilación de la posición.
  - Cuando la marca está muy alejada de la etiqueta hay que alejar demasiado el dispositivo para encuadrar los dos elementos y se pierde legibilidad. Es preciso aumentar el tamaño de letra o prescindir de alejar las etiquetas de la marca.
- En el **Reproductor 3d en realidad aumentada**:
  - Hay controles innecesarios (los relacionados con el volumen son prescindibles, ya que se puede manejar con los del dispositivo móvil)
  - La falta de los iconos estándar en los controles de reproducción confunde a algunos usuarios.
  - Se hecha en falta una indicación del estado de reproducción
  - El video no se integra bien con la imagen que se pretende animar
- En el **Visor de acordes de guitarra en realidad aumentada**:
  - Faltan los elementos de la interfaz que muestren el nombre del acorde y permitan cambiar de un acorde a otro.

A pesar de los problemas encontrados, las maquetas han servido para validar la funcionalidad de solución tecnológica encontrada.

## 10.3. PEC3: diseño y creación de los contenidos

### 10.3.1. Creación del guión multimedia

En base a las conclusiones obtenidas tras la investigación y concepción del producto de la fase anterior se procedió al **diseño de ejemplos concretos de aplicación pedagógica** de las tres primeras experiencias diseñadas (*Visor 3d de realidad aumentada*, *Marcador 3d en realidad aumentada* y *Reproductor 3d en realidad aumentada*) con la **creación de material educativo del tipo “libro mágico”**. Además, y considerando los resultados de las entrevistas y las encuestas, **los materiales a diseñar debían tener las siguientes características:**

- Estar dirigidos a niños de 14-15 años (3º/4º de ESO)
- Pertenecer al ámbito de la biología.
- Estar concebidos para su uso en casa.

Para la selección de los ejemplos concretos se consultó el libro de biología de 4º de la ESO de Cabrera Calero, A. (2017) con el siguiente resultado:

- Para ejemplificar el *Visor 3d de realidad aumentada* se desarrollaría una página de contenidos acerca de la célula eucariota. Permitir que un alumno pueda visualizar y manipular un modelo en 3d de una célula es un buen ejemplo de aplicación de la RA.
- Para ejemplificar el *Reproductor 3d en realidad aumentada* se desarrollaría una página de contenidos acerca de la división celular. Hacer que cobre vida una imagen real de una célula y ver el proceso de mitosis en vivo es otro buen ejemplo de aplicación de las RA.
- Por último, para ejemplificar el *Marcador 3d en realidad aumentada* se desarrollaría una página de ejercicios acerca de los contenidos anteriores, en la que las soluciones a los ejercicios se muestran como anotaciones virtuales.

Estos materiales se diseñarían en forma de láminas (las marcas funcionan mejor sobre superficies planas, por lo que si las imprimimos sobre un papel de un gramaje alto la detección será más precisa) como una unidad de aprendizaje que incluirá las instrucciones necesarias para su funcionamiento. A partir de lo anterior se procedió a la creación del guión multimedia expuesto en el apartado 13.

Por otra parte, se definieron los objetivos y contenidos del **Visor de acordes de guitarra en realidad aumentada:**

- Objetivos:
  - Aprender los acordes básicos de la guitarra
  - Comprender cómo se interpretan los diagramas de acordes
- Contenidos:
  - los acordes mayores sin cejilla (DO, RE, MI, SOL Y LA)

A continuación se procedió a la creación del guión multimedia expuesto en el apartado 13.

### 10.3.2. Diseño y creación de los elementos virtuales.

Una vez definidos los contenidos a crear se comenzó diseñando los elementos virtuales, dado que serían necesarios para la creación de los contenidos de las páginas físicas.

#### Modelo en 3D de la célula eucariota

El mayor reto fue la creación del modelo de la célula, ya que, por una parte, se utilizó Blender, un programa diferente al utilizado en el grado para aprender a modelar (3d studio). Por otra parte, el modelo a crear tenía cierta complejidad al estar compuesto por numerosos elementos orgánicos no geométricos. Por último, el tamaño final no debía ser excesivo para que no se diesen tiempos de descarga demasiado elevados que estropearan la experiencia de uso de la aplicación.

Así, se utilizaron diferentes técnicas de modelado (curvas nurbs y extrusión, formas básicas y operadores booleanos, modificadores, etc.) para conseguir una representación del modelo fiel (se utilizaron como modelo las imágenes del libro de Cabrera Calero, A. (2017) con consultas puntuales a imágenes de internet) y se crearon dos versiones: una para renderizar y crear las imágenes a incluir en las páginas físicas y otra, con menos detalle y peso, para exportar al formato de producción. Los archivos de blender no se han incluido por su tamaño excesivo (más de 50 mb cada uno) pero pueden descargarse desde los siguientes enlaces:

- **modelo para exportar:** <https://www.dropbox.com/s/sf8manu2hj8k71t/celula-eucariota-exportable.blend?dl=0>
- **modelo para renderizar:** <https://www.dropbox.com/s/ajp0g6al7lypnm2/celula-eucariota-renderizable.blend?dl=0>

#### Video de la mitosis

En primer lugar se buscó un video con licencia Creative Commons en el que pudiese apreciarse con claridad el proceso de la mitosis en una célula real, optándose por el de Burgess, A. (2013).

A continuación se descargó y se editó para incluir rótulos que identificasen las distintas fases de la mitosis en el momento en el que se producían.

Por último se exportó y comprimió el resultado final en un formato apto para producción.

#### Elementos gráficos del visor de acordes

Por otra parte, se procedió a la creación de los diagramas de acordes a emplear y de las fotografías a utilizar en las instrucciones de uso. Finalmente, se creó un prototipo gráfico de la interfaz de usuario y se crearon los elementos gráficos necesarios en producción (logotipo, botones y cajas semitransparentes).

### 10.3.3. Diseño y creación de los contenidos de las páginas físicas.

El primer paso fue el diseño y creación de marcas personalizadas que fuesen más fáciles de captar por la aplicación de realidad aumentada, ya que se encontraron problemas en este sentido en la fase anterior, tal y como se comentó.

Se partió del supuesto de que una marca sencilla sería más fácil de reconocer:



Figura 5: diseño de marca sencilla

Sin embargo, el sistema ni tan siquiera llegó a reconocerla. Tras una lectura atenta de la documentación se constató que las marcas no debían tener simetría radial, por lo que se diseñó otra diferente:



Figura 6: marca sin simetría radial

El funcionamiento no mejoró, de forma que se procedió con el método de prueba y error, diseñando marcas con distintas características:



Figura 7: diferentes diseños de marcas

Sorprendentemente, la última marca, con más detalles y colores, fue la que mejor funcionó. Así, al contrario de lo que dice la documentación de la librería, las marcas con muchos colores y detalle funcionan mejor que las sencillas en blanco y negro.

Con estas consideraciones se procedió al diseño y creación de las marcas de las cuatro experiencias AR a implementar, así como al diseño del elemento recortable que se sujeta en la guitarra con la cejilla al final del mástil.

Por otro lado, a partir del renderizado se crearon las ilustraciones de la célula incluyendo los rótulos necesarios. A su vez, y a partir de capturas del video, se crearon las imágenes de la mitosis.

Por último, se diseñaron las páginas físicas y se maquetaron utilizando el grid con el “*golden canon*” de Somoza, A. (2017).

## 10.4. Entrega final: implementación

### 10.4.1. Integración de elementos virtuales y físicos

Una vez generados todos los elementos necesarios se procedió a programar las cuatro aplicaciones partiendo de los prototipos creados en la primera fase del proyecto.

#### Visor de acordes de guitarra en realidad aumentada (AR-3D-chords)

Se comenzó implementando la interfaz de usuario en HTML y CSS, incluyendo algunas modificaciones:

- Se homogeneizó el aspecto de los botones y se aumentó el tamaño de los que sirven para cambiar el acorde.
- Se ubicó en la parte superior izquierda de la pantalla ya que, por una parte, se percibe como una ubicación más natural, y por otra parte obstaculiza menos la visión del propio usuario tal y como se coloca con la guitarra frente a la pantalla.
- Se cambió el diseño del bloque superior con el título para dar más coherencia al conjunto.

Se creó también la ventana emergente con las instrucciones de uso y todo el código HTML y JavaScript necesario para el funcionamiento de la aplicación. El funcionamiento del código está descrito en el propio código en forma de comentarios.

#### Láminas en realidad aumentada acerca de la célula (AR-cell)

En las primeras pruebas de integración del **modelo 3D de la célula** en la aplicación de RA surgieron problemas tanto en las texturas aplicadas como en la transparencia de algunos elementos. Investigando se encontró en VVAA (2017) que el formato de archivo 3D utilizado por A-frame (glTF 2.0) utiliza un tipo especial de materiales en Blender, por lo que fue necesario modificar el modelo creado en la fase anterior utilizando las texturas adecuadas.

Una vez integrado el modelo se procedió a programar la interfaz de usuario. A diferencia del modelo del prototipo (el fantasma) el modelo de la célula requería poder ser rotado en varios sentidos para ser inspeccionado adecuadamente, por lo que se creó un control táctil de tipo joystick que permite controlar el modelo deslizando un botón. Las cuestiones de usabilidad que se tuvieron en cuenta fueron las siguientes:

- La interfaz debía ser lo menos invasiva posible desde el punto de vista visual, ya que comparte el espacio del visor y debe permitir ver sin dificultades su contenido. Así, se optó por crear dos pads transparentes ubicados en los laterales de la pantalla con dos botones circulares del tamaño mínimo

necesario para poder ser usados como controles táctiles. Por otra parte, se decidió sacrificar el doble etiquetado e incluir tan sólo información en forma de iconos para tener una interfaz lo más minimalista posible.

- Se solucionaron también los problemas detectados en el test de usuarios de la primera fase: se aumentó el tamaño de los controles, se ajustó la respuesta del control de rotación, se cambió el tipo de control y se solucionaron los problemas de visualización.
- Se eliminó el control de animación, ya que no tenía sentido para este modelo.

Finalmente se procedió a incluir el código HTML y JavaScript necesario para el funcionamiento de la aplicación. El funcionamiento del código está descrito en el propio código en forma de comentarios.

Se siguió el mismo proceso con el marcador y el reproductor de RA aplicados a las láminas:

- En el reproductor se eliminaron los controles innecesarios, se incluyeron indicaciones del estado reproducción (cambiando la apariencia de los botones según el mismo) y se siguieron las consideraciones de usabilidad en el diseño de la interfaz de usuario que se acaban de exponer.
- En el marcador 3D se aumentó el tamaño de la letra para mejorar la legibilidad.

#### 10.4.2. Prueba y alojamiento de las aplicaciones web

Tras finalizar la implementación se alojaron las aplicaciones en un servidor público (*github pages*, el mismo utilizado para los prototipos) y se realizaron pruebas de uso de las cuatro aplicaciones en dispositivos reales, con los siguientes resultados:

- Se detectaron inconsistencias en la ubicación de los elementos virtuales respecto de la marca en diferentes dispositivos; estas diferencias están causadas por las diferentes ópticas de las cámaras en los diferentes modelos de dispositivos utilizados, por lo que debe contarse con un cierto margen de imprecisión en la ubicación. Se corrigieron las ubicaciones más problemáticas (como las de las etiquetas) buscando posiciones de compromiso para que la ubicación respecto de las marcas físicas no se desviase demasiado en ninguno de los dispositivos probados.
- Se adaptó el tamaño y la posición de las interfaces de usuario para que se ajustase bien a los diferentes tamaños de pantalla.

En este punto hubiese sido interesante contar con más tiempo en la planificación para realizar un test con usuarios sobre las aplicaciones finales. Desafortunadamente los problemas que surgieron en la implementación consumieron el tiempo extra que se había reservado para contingencias.

#### 10.4.3. Finalización de la edición y maquetación de las páginas físicas

Por último se generaron los códigos QR con la URLs reales de las aplicaciones alojadas en github y se incluyeron en las páginas físicas sustituyendo a los códigos provisionales. También se modificaron las indicaciones complementarias y se generó la versión final en PDF de los materiales.

## 12. Prototipos

### 12.1. Visor 3d de realidad aumentada

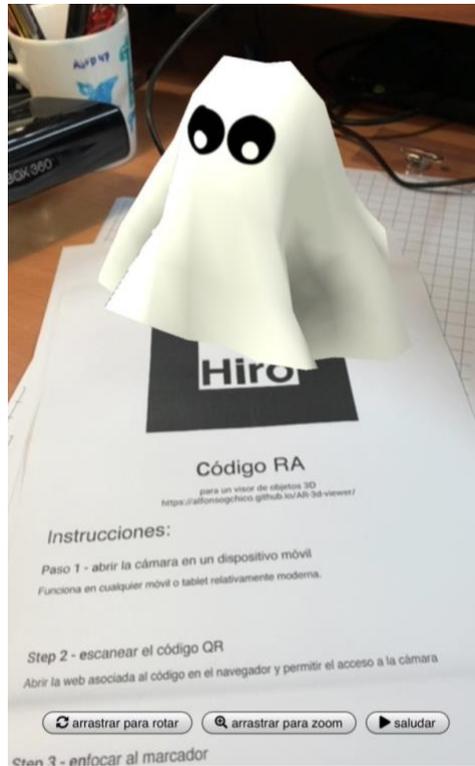


Figura 8: Maqueta funcional del visor 3D

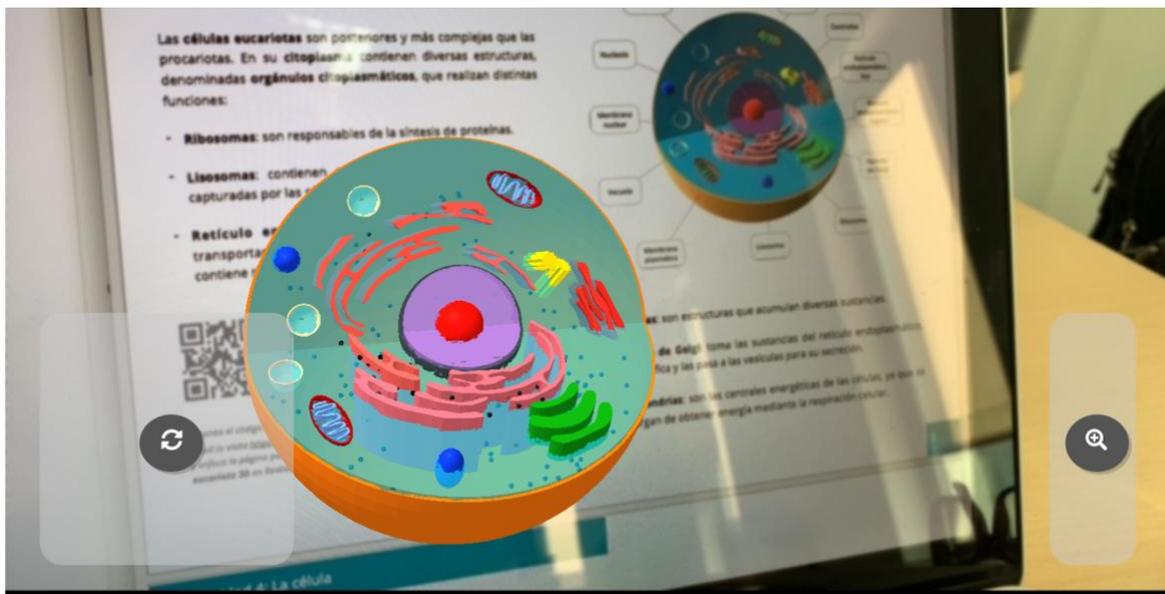


Figura 9: interfaz final del visor 3D

## 12.2. Marcador 3d en realidad aumentada

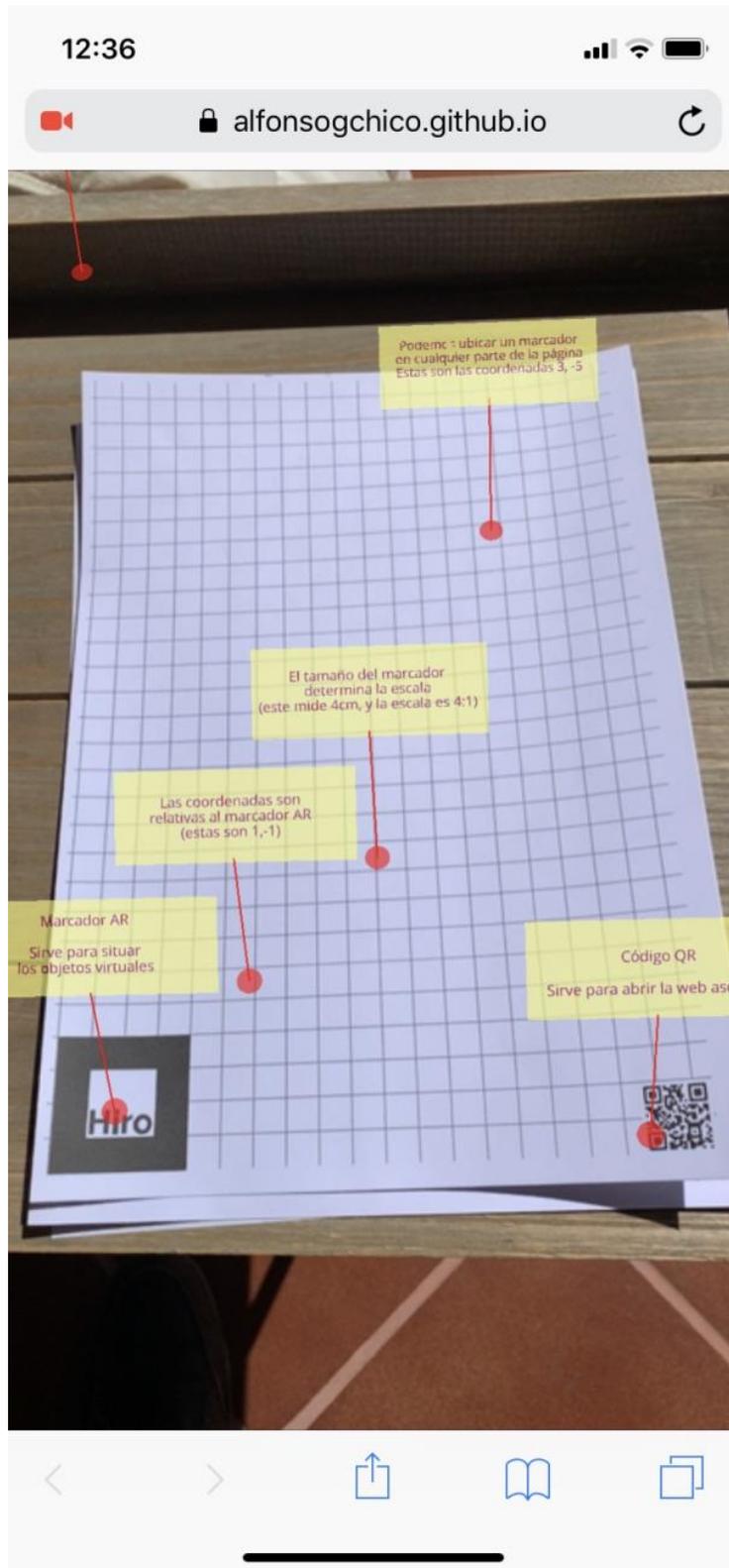


Figura 10: maqueta funcional del marcador 3D

## Pruebas con diferentes tamaños de marca

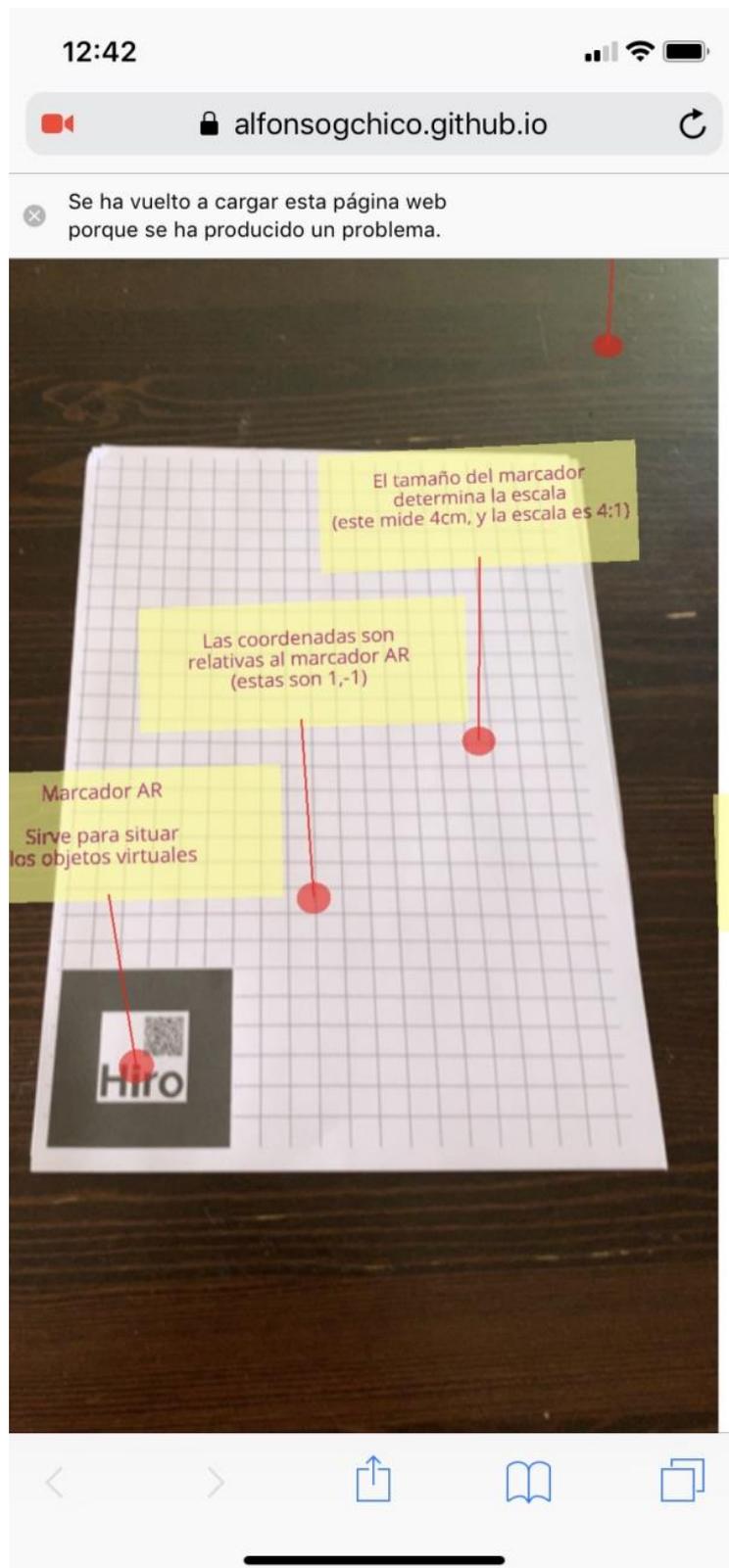


Figura 11: marca de 6cm, móvil



Figura 12: marca de 6cm, tablet

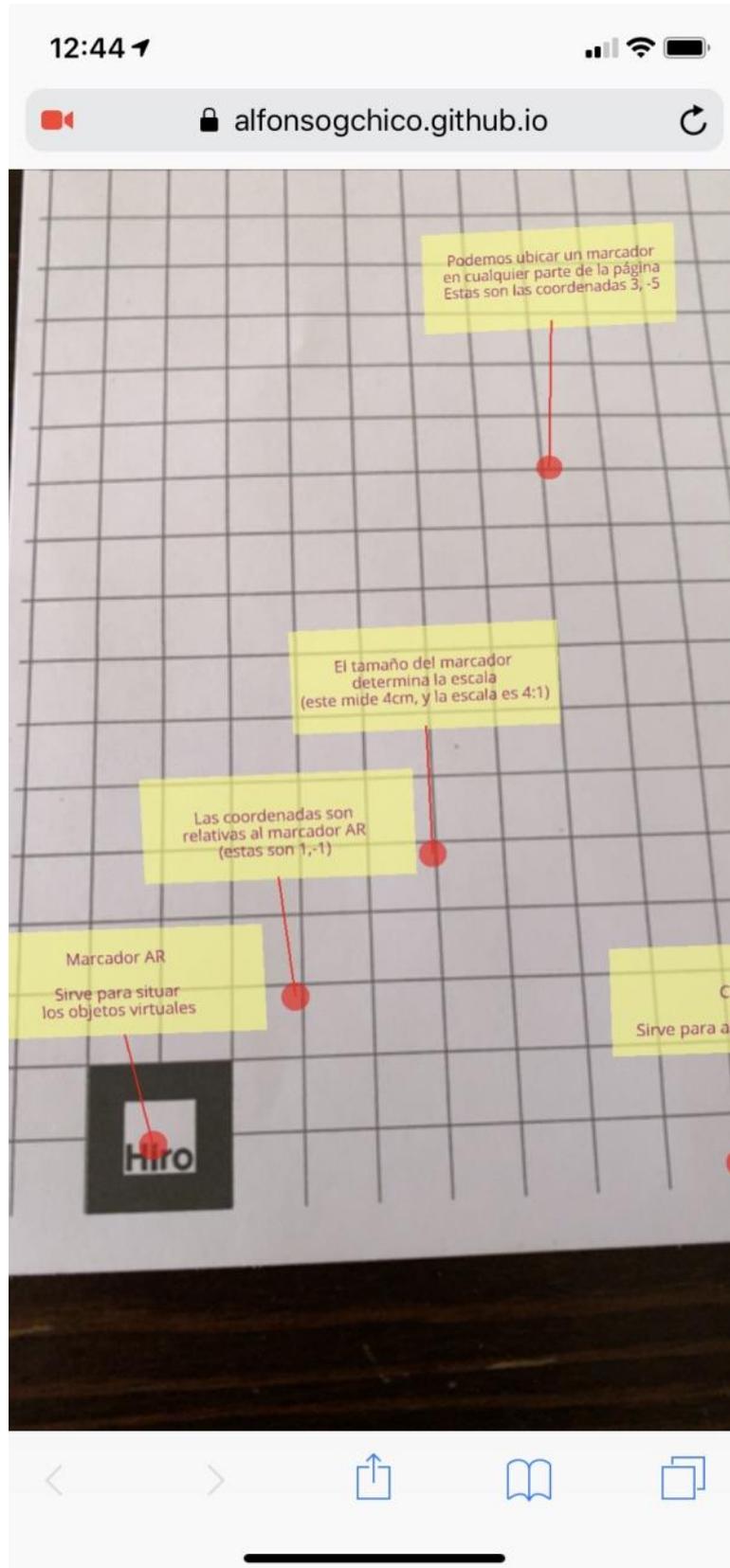


Figura 13: marca de 2cm, móvil

### 12.3. Reproductor 3d en realidad aumentada

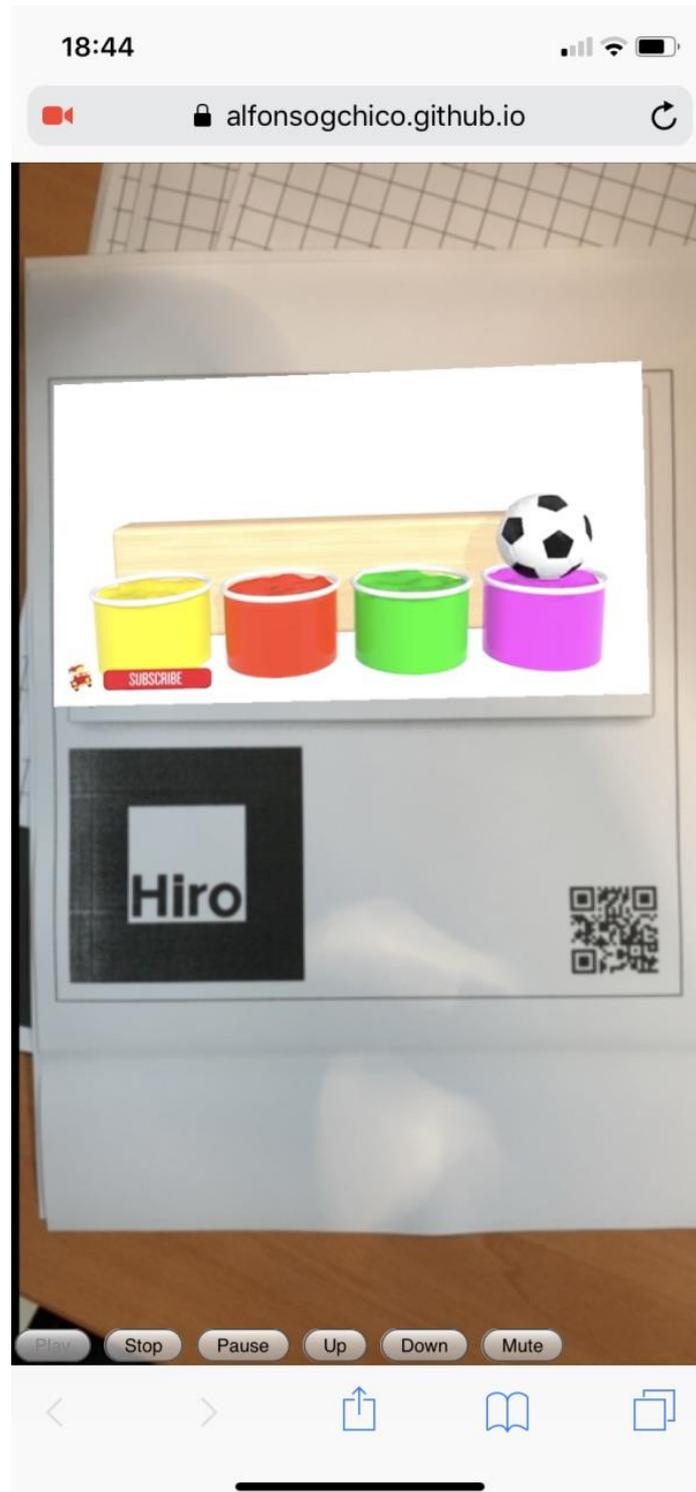


Figura 14: maqueta funcional del reproductor 3D

## 12.4. Visor de acordes de guitarra en realidad aumentada

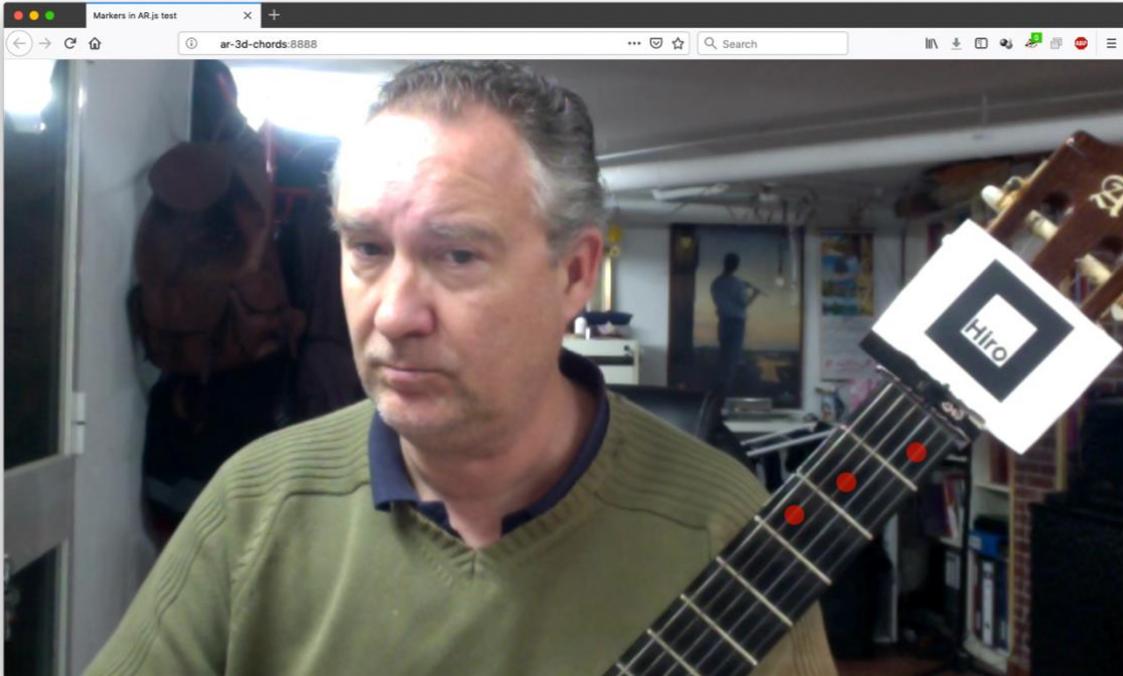


Figura 15: maqueta funcional del visor de acordes

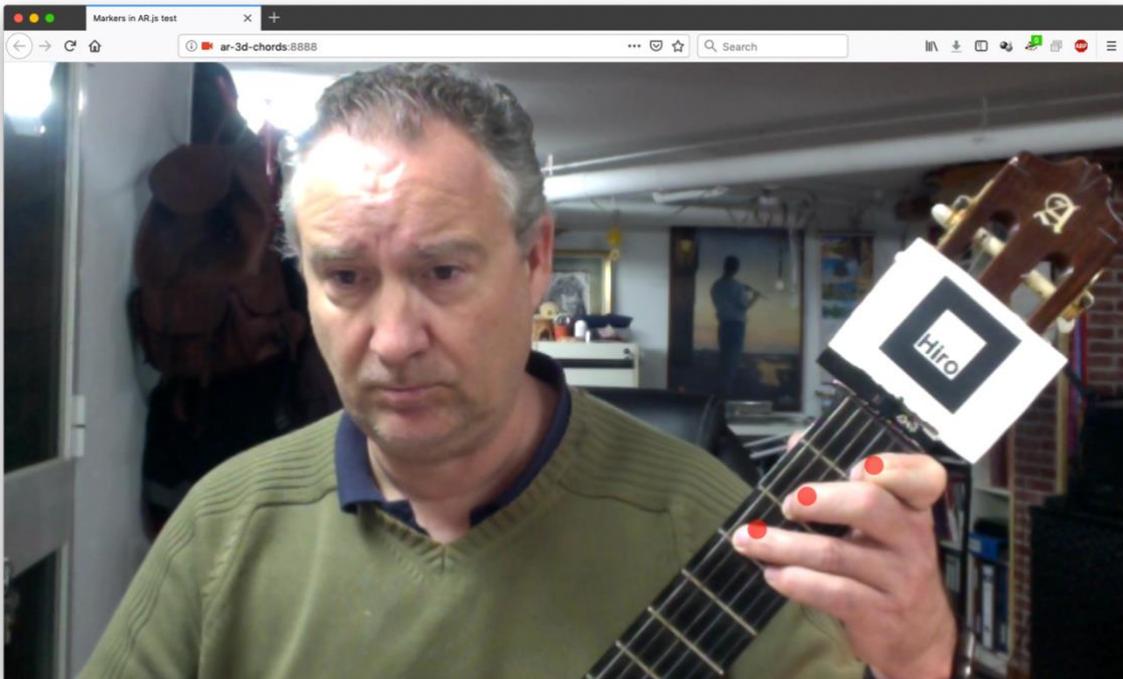


Figura 16: utilizando el visor de acordes



Figura 17: wireframe con la interfaz de usuario del visor de acordes

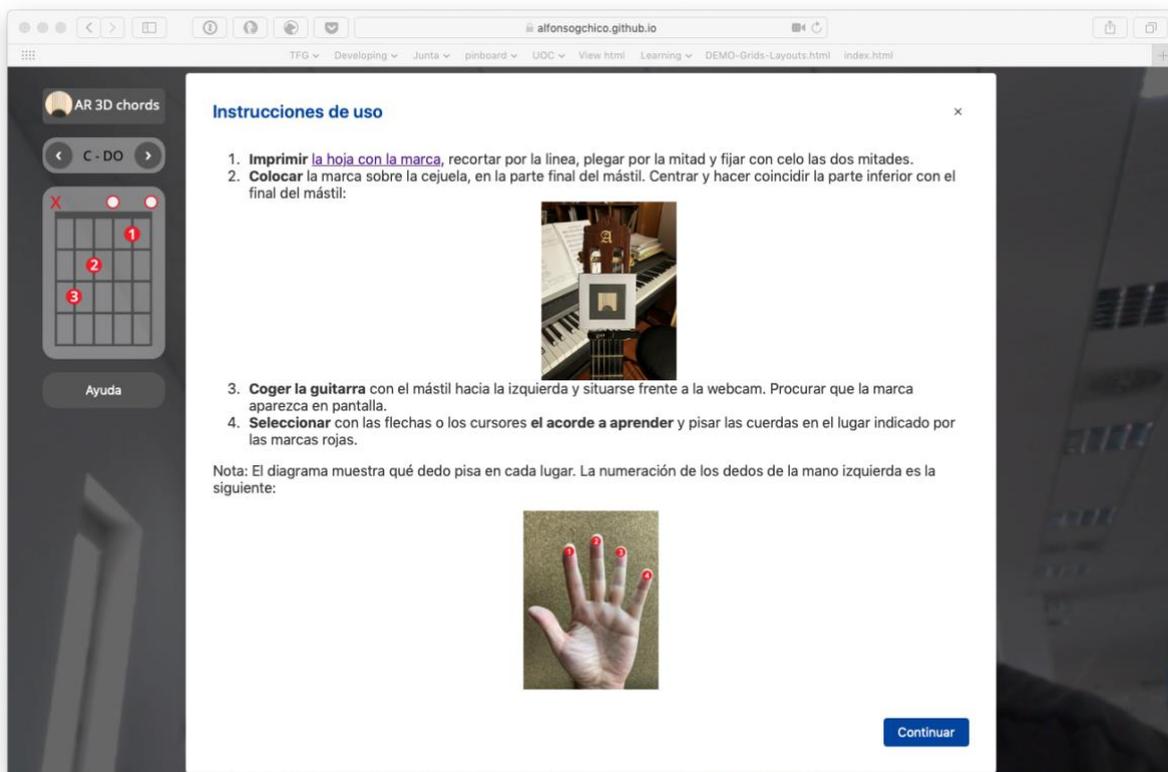


Figura 18: implementación final de la aplicación

# 13. Guiones

## 13.1. Materiales educativos del tipo “libro mágico”

### Título

Unidad 4. La célula: introducción a la biología celular

### Estructura

Consta de los materiales impresos y las aplicaciones de realidad aumentada asociadas:

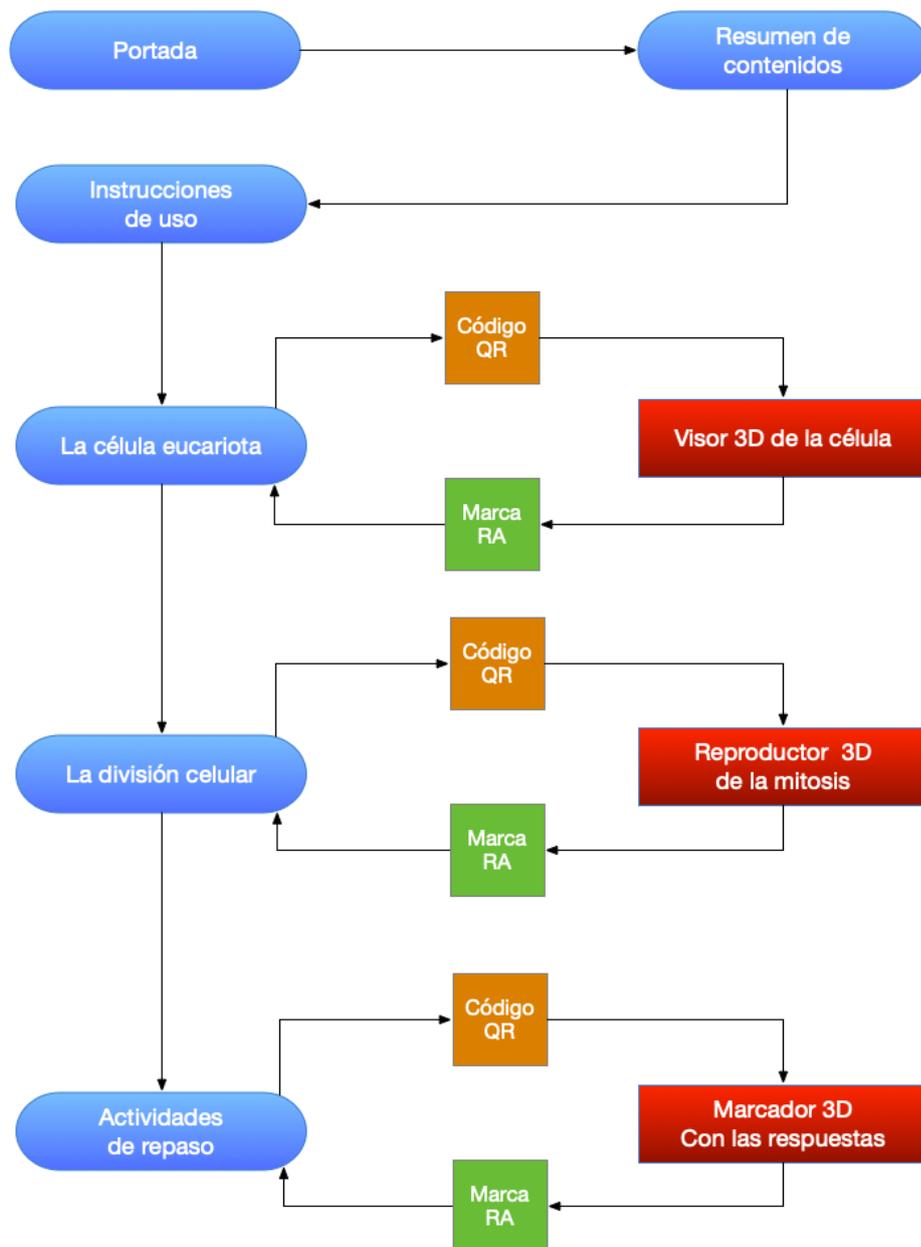


Figura 19: estructura de la aplicación “libro mágico de la célula”

## Contenidos

### Resumen de contenidos

En esta unidad aprenderás:

- Qué es la célula eucariota
- A identificar sus partes y las funciones que cumple.
- Qué es la mitosis y cuales son sus fases.

### Instrucciones de uso

Estos materiales incluyen contenidos en realidad aumentada.

Para visualizarlos deberás utilizar un dispositivo móvil (un smartphone o una tablet) con conexión a internet y seguir los siguientes pasos:

1. Abrir la cámara del dispositivo. Debe ser relativamente moderno y usar Android o iOS.
2. Escanear el código QR. Abrir la web detectada y permitir el acceso a la cámara.
3. Enfocar al marcador. El marcador (el recuadro con marco negro) debe captarse por la cámara para activar los contenidos.

### La célula eucariota

Las células eucariotas son posteriores y más complejas que las procariontes. En su citoplasma contienen diversas estructuras, denominadas orgánulos citoplasmáticos, que realizan distintas funciones:

- Ribosomas: son responsables de la síntesis de proteínas.
- Lisosomas: contienen enzimas para digerir las moléculas capturadas por las células.
- Retículo endoplasmático: encargado de fabricar y transportar diversas sustancias. Una parte (el rugoso) contiene ribosomas, el resto se denomina liso.
- Vacuolas: son estructuras que acumulan diversas sustancias.
- Aparato de Golgi: toma las sustancias del retículo endoplasmático, las modifica y las pasa a las vesículas para su secreción.
- Mitocondrias: son las centrales energéticas de las células, ya que se encargan de obtener energía mediante la respiración celular.

### **Ilustración de la célula con sus partes rotuladas**

#### **Códigos QR y AR con instrucciones de uso**

*Escanea el código QR con un dispositivo móvil (o visita [www.celulaeucariota.com](http://www.celulaeucariota.com))  
y enfoca la página para ver la célula eucariota 3D en Realidad aumentada*

## La división celular

Profase: Las fibras de cromatina se estiran, el nucleólo desaparece y aparece el huso cromático.

### **Ilustración de la profase**

Metafase: Los cromosomas se unen por su centromero a las fibras del huso acromático en el plano medio.

### **Ilustración de la metafase**

Anafase: Las fibrillas del huso se rompen y arrastran hacia los polos a las cromátidas.

### **Ilustración de la anafase**

Telofase: Aparece una membrana nuclear alrededor de cada grupo nuevo de cromátidas.

### **Ilustración de la Telofase**

### **Ilustración con el primer fotograma del video**

#### **Códigos QR y AR con instrucciones de uso**

*Escanea el código QR con un dispositivo móvil (o visita [www.mitosis-celula.com](http://www.mitosis-celula.com))  
y enfoca la página para ver un video de la mitosis celular en realidad aumentada*

## Actividades de repaso

1. La célula eucariota. Observa la imagen de la derecha y nombra las cuatro estructuras señaladas, así como la función que cumplen dentro de la célula.

### **Ilustración de la célula con rótulos en blanco**

2. La mitosis. Identifica las siguientes fases de la mitosis:

### **Ilustraciones de dos fases de la mitosis**

#### **Códigos QR y AR con instrucciones de uso**

*Escanea el código QR con un dispositivo móvil (o visita [www.mitosis-celula.com](http://www.mitosis-celula.com))  
y enfoca la página para ver la respuesta a las preguntas en realidad aumentada*

## 13.2. Visor de acordes de guitarra en realidad aumentada

### Título

AR 3D chords

### Estructura

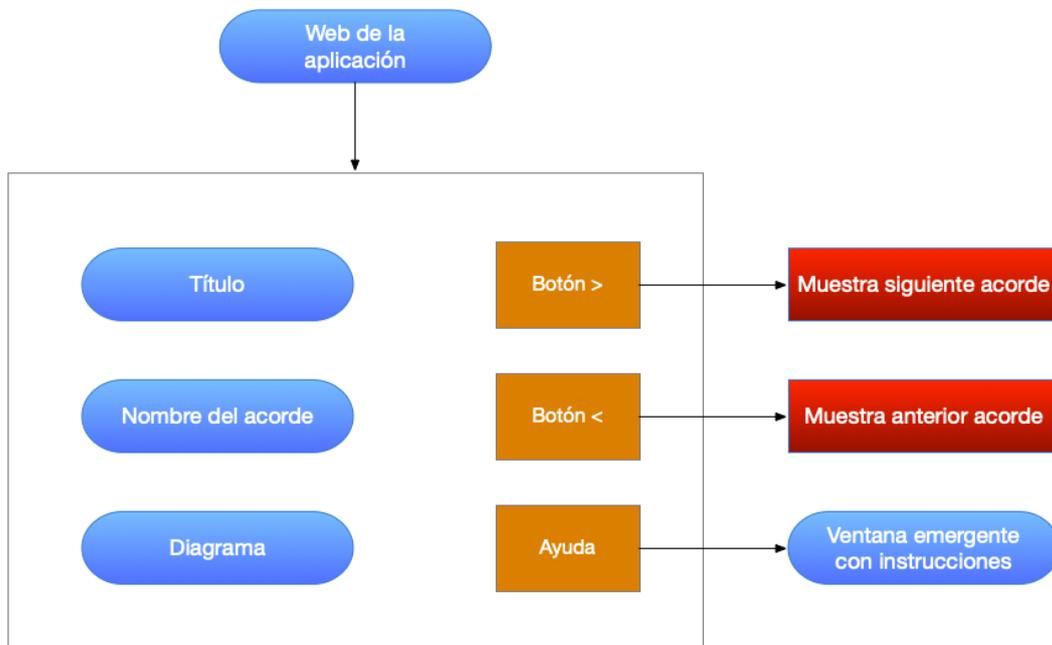


Figura 20: estructura de la aplicación "visor de acordes"

### Contenidos

#### Instrucciones

##### Instrucciones de uso

1. Imprimir la hoja con la marca, recortar por la línea, plegar por la mitad y fijar con celo las dos mitades.
2. Colocar la marca sobre la cejuela, en la parte final del mástil. Centrar y hacer coincidir la parte inferior con el final del mástil:

##### **Imagen con la marca colocada en la guitarra**

3. Coger la guitarra con el mástil hacia la izquierda y situarse frente a la web- cam. Procurar que la marca aparezca en pantalla.
4. Seleccionar con las flechas o los cursores el acorde a aprender y pisar las cuerdas en el lugar indicado por las marcas rojas.

Nota: El diagrama muestra qué dedo pisa en cada lugar. La numeración de los dedos de la mano izquierda es la siguiente:

##### **Imagen de una mano izquierda con los dedos numerados**

## 14. Perfiles de usuario

Los tres primeros ejemplos de realidad aumentada seleccionados (*visor 3d de realidad aumentada*, *marcador 3d en realidad aumentada* y *reproductor 3d en realidad aumentada*) están dirigidos, tal y como ya se ha comentado, a alumnos de secundaria, en concreto de 3º- 4º curso de la ESO. Colateralmente, sus profesores harán también uso de la aplicación y, en cualquier caso, las experiencias AR diseñadas deberían poder ser extrapolables a otros niveles educativos (teniendo en cuenta que uno de los objetivos secundarios de este trabajo es establecer las bases para la creación de una herramienta de autor destinada al profesorado en general).

El cuarto ejemplo (*visor de acordes de guitarra en realidad aumentada*) tampoco tiene un público objetivo predeterminado, por lo que, a priori, podríamos decir que todos los ejemplos están dirigidos al público en general. No obstante, la expresión “público en general” no es descriptiva ni sirve de ayuda a la hora de acotar a los usuarios actuales, entre otras cosas porque no existe el segmento de población “público en general”, así que deberemos ser más específicos (Usability.gov, 2015).

En este sentido, se ha utilizado el método de investigación con usuarios llamado **personas**, estableciéndose las siguientes:

- Rocío, estudiante, 15 años; vive en Utrera y estudia en el instituto 4º de la ESO.
- Antonio, 43 años, padre de dos hijos; vive en Alcobendas y trabaja como profesor de secundaria.
- Fernando, 21 años, estudiante y aficionado a la música.
- Carme, 66 años, jubilada y viuda; vive en Mataró y quiere aprender guitarra.
- Ainara, 34 años, profesora de primaria; vive con su madre en Bilbao.
- Xavier, 8 años; vive en Valencia y estudia tercero de primaria.
- Andrés, 51 años, casado y con tres hijos a los que ayuda en sus tareas escolares; vive en el Ferrol.
- María, 11 años; vive en Cáceres y quiere recorrer Andalucía.

A partir de aquí podemos establecer que el perfil sociodemográfico del público objetivo de los ejemplos sería el siguiente:

- Tienen entre 6 y 70 años de edad (por debajo de 6 no cursan la educación obligatoria aún, y por encima de 70 suelen tener problemas para usar este tipo de tecnología).
- Son, por igual, de ambos sexos (50% mujeres / 50% hombres)
- Tienen un nivel de estudios de medio a avanzado
- Idiomas: Gallego (1/6), vasco (1/6), catalán (1/6), valenciano (1/6) y castellano (3/6)
- Entorno familiar variable (casados, solteros, viudos, con y sin hijos).
- Nivel tecnológico básico a avanzado; de cara al test conviene contar con varios usuarios de todos los niveles
- Familiaridad con dispositivos móviles: de ocasional a habitual

## 15. Usabilidad/UX

A la hora de abordar la usabilidad se han adoptado varias perspectivas de entre las definidas por Uldall-Espersen (2008):

- **Usabilidad del contexto de uso:** a un nivel más general, en la propia concepción de la aplicación se pretende una mejora de la usabilidad considerando el *contexto educativo* en el que se va a usar. Así, se minimizan los *requisitos de uso* (no se precisa instalar ningún programa y funciona en diferentes plataformas, sistemas operativos, dispositivos y navegadores) y se utiliza una modalidad de RA (basada en marcas) que facilita la interacción (se asocia la marca física a la experiencia virtual).

Por otra parte, se parte de que la aplicación se usará fundamentalmente con dispositivos móviles, y mayoritariamente con teléfonos inteligentes (StatCounter, 2019). De esta forma, se ha optado por la estrategia de diseño denominada “mobile first”, teniendo en cuenta además que es preciso minimizar el espacio dedicado a la interfaz de usuario.

- **Usabilidad de la tarea:** a un nivel más concreto, se evaluará la finalización de determinadas tareas por parte del usuario, que se detallan en el apartado 17 de este documento. Además, para facilitar al usuario su realización se tendrán en cuenta los ***principios clave de la usabilidad*** en la fase de diseño:
  - *coherencia* desde el punto de vista gráfico e interactivo
  - dotar a la *interacción* de visibilidad, predictibilidad y reversibilidad
  - *información, comunicación y retroalimentación* en la interfaz
  - *control*: permitir a los usuarios un cierto grado de personalización de la experiencia
  - *opciones*: ofrecer a los usuarios más de una forma de hacer las cosas

## 16. Seguridad

Los riesgos de seguridad relacionados con este trabajo podrían ser los siguientes:

- Acceso no autorizado a las imágenes de video captadas por la aplicación.
- Accidentes causados por desplazarse mientras se usa la aplicación y se mira al dispositivo móvil utilizado.

Los propios navegadores establecen las restricciones de seguridad suficientes que minimizan el primer riesgo, dado que es preciso el uso del protocolo https para que sea posible el acceso a la cámara; además, se pide siempre autorización al usuario antes de su uso.

En cuanto al segundo riesgo, la modalidad de realidad aumentada utilizada (basada en marcas impresas sobre papel) no exige que el usuario se desplace. En cualquier caso, se incluirán las advertencias de seguridad pertinentes en la versión final.

## 17. Tests

Para el desarrollo de los prototipos iniciales se instaló un servidor local, ya que el acceso a la aplicación mediante el protocolo *file://* impedía su utilización debido a las restricciones de seguridad de los navegadores relativas a la carga local de recursos y el acceso a la webcam. Se fueron realizando **test de funcionalidad** usando diferentes navegadores web (Firefox, Chrome y safari) y una webcam externa sobre soporte para simular el ángulo de enfoque de un dispositivo móvil:

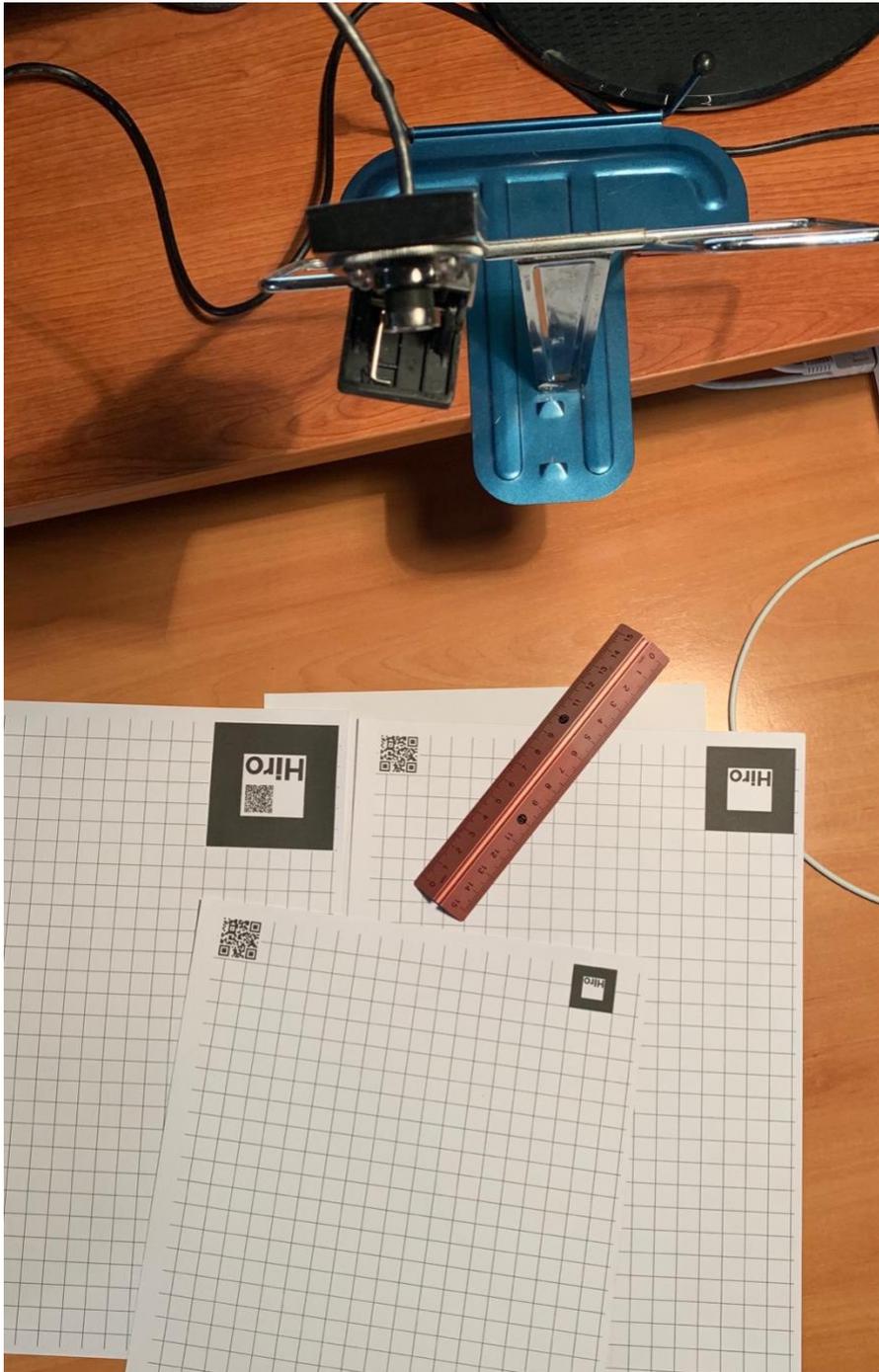


Figura 21: Montaje para los test locales

Posteriormente se alojaron las aplicaciones en GitHub Pages para permitir la realización de **test de usuario** iniciales en entorno real (esto es, sobre los dispositivos de los propios usuarios). El material necesario era, por tanto:

- Hoja u hojas de marcas
- Dispositivo móvil y conexión a internet.

En esta fase no se precisaban test exhaustivos, por lo que no se han definido escenarios (la propia situación de probar la tecnología era el escenario) y las tareas eran muy básicas:

- acceder a la experiencia RA
- Rotar/cambiar tamaño/animar el modelo 3D.
- Reproducir el video.
- Leer las etiquetas.

Los test se realizaron a ocho personas:

- Cuatro adultos
- Cuatro jóvenes de entre 14 y 19 años.

## **18. Versiones de la aplicación/servicio**

Las versiones desarrolladas hasta el momento son prototipos funcionales destinados a realizar test de funcionamiento y usabilidad, no aptas por tanto para producción.

# 19. Requisitos de implantación y uso

## 19.1. Requisitos de implantación

Un servidor web con el protocolo https activado.

## 19.2. Requisitos de uso

### Software

- Un navegador con soporte para WebGL y WebRTC, incluido en las últimas versiones de todos los navegadores. En iOS y Mac es necesaria la versión 11 o superior de Safari.

### Hardware

- Un dispositivo móvil con cámara, o un ordenador con webcam, con capacidad para ejecutar con fluidez un navegador compatible.
- Conexión a internet

## **20. Instrucciones de implantación**

Alojar los archivos en un servidor web con el protocolo https activado. Generar un código QR que apunte a la dirección de cada uno de los archivos html. Actualizar los códigos QR de los materiales impresos.

## 21. Instrucciones de uso

### Unidad didáctica sobre la célula

Imprimir o abrir el archivo "laminas.pdf" (dentro de la carpeta *Proyecto*). Aunque la experiencia está concebida para acceder a los contenidos virtuales mirando hacia abajo (esto es, con las láminas sobre una mesa) también puede probarse sobre el monitor del ordenador. Una vez a la vista las láminas:

- **Paso 1: abrir la cámara de un dispositivo móvil.** Funciona en cualquier móvil o tablet relativamente moderna.
- **Paso 2: escanear el código QR.** Abrir la web asociada al código en el navegador y permitir el acceso a la cámara
- **Paso 3: enfocar el marcador.** Los modelos 3d aparecerán situados con relación al marcador.

### Visor de acordes de guitarra en realidad aumentada

Para utilizar esta aplicación será necesario un ordenador con webcam y, obviamente, una guitarra. Puede accederse a instrucciones gráficas en la propia web de la aplicación (<https://github.com/alfonsogchico/AR-3D-chords>). En cualquier caso, estos son los pasos necesarios:

1. Descargar e imprimir la hoja con la marca (<https://alfonsogchico.github.io/AR-3D-chords/resources/marca-recortable-AGC.pdf>), recortar por la línea, plegar por la mitad y fijar con celo las dos mitades.
2. Colocar la marca sobre la cejuela, en la parte final del mástil (puede usarse una cejilla). Centrar y hacer coincidir la parte inferior con el final del mástil.
3. Acceder a la web <https://alfonsogchico.github.io/AR-3D-chords/> y permitir el acceso a la cámara.
4. Coger la guitarra con el mástil hacia la izquierda y situarse frente a la webcam. Procurar que la marca aparezca en pantalla.
5. Seleccionar con las flechas o los cursores el acorde a aprender y pisar las cuerdas en el lugar indicado por las marcas rojas.

## 22. Bugs

- **Ligera distorsión** en algunos momentos en el modelo 3D. Puede deberse a un fallo en el renderizado de modelos 3D en formato GLTF de las librerías utilizadas.
- **Inestabilidad** en la ubicación de los elementos virtuales superpuestos, de forma que se producen temblores y errores en su rotación respecto de la cámara. Se debe al retardo que se produce cuando se mueve la cámara y el sistema realiza los cálculos necesarios para reubicar los elementos visuales, o por problemas a la hora de captar la marca (debido a una perspectiva ambigua para el sistema, por ejemplo).
- **Inconsistencia** en la ubicación de los elementos virtuales entre distintos dispositivos. Dependiendo del dispositivo utilizado se sitúan en posiciones diferentes. Esto puede deberse a las diferencias entre las lentes de distintos dispositivos, que captan con una geometría diferente las marcas, o también a la irregularidad del soporte o su iluminación.

## 23. Proyección a futuro

Como se comentó en la introducción, uno de los objetivos de este trabajo es sentar las bases del futuro desarrollo de una *herramienta de autor* que facilite la creación de experiencias de RA a través de aplicaciones web. En este sentido, **las tres experiencias desarrolladas para la creación del libro mágico** suponen un excelente punto de partida para el desarrollo de la herramienta; no sería excesivamente complicado crear una aplicación que permitiese al usuario generar automáticamente los elementos necesarios:

- En el caso del visualizador de modelos 3D, el usuario adjuntaría el modelo en el formato adecuado, así como la ubicación y tamaño inicial (y opcionalmente la imagen para la marca personalizada), y el sistema se encargaría de generar el código necesario, alojarlo en un servidor público, y de crear el código QR y la marca en formato de imagen para su inclusión en cualquier documento.
- En el caso del visor de videos, a partir del video se podría generar de forma automatizada tanto la imagen como los códigos.
- Por último, para el marcador 3D el usuario indicaría el número de etiquetas, el texto a incluir en cada una y su posición a partir de la marca.

Creo que una aplicación de estas características podría tener un hueco en el mercado, teniendo en cuenta que, aunque existen soluciones que permiten crear experiencias de RA, todas requieren de la utilización de un programa propietario para visualizar las experiencias creadas.

Por otra parte, **el visualizador de acordes de guitarra** podría ampliarse para incluir más acordes, con una interfaz que permitiese elegir, por un lado, el nombre del acorde (do, do#, re, etc.) y por otro, su tipo (mayor, menor, disminuido, etc.). Sería también interesante añadir la posibilidad de reproducir canciones mientras se visualizan sobre la guitarra los acordes necesarios para tocarlas, acordes que irían cambiando de forma sincronizada con la reproducción de la canción.

Por último, sería interesante explorar la utilización de un sistema de varias marcas como método para ubicar los elementos virtuales. La versión en desarrollo de AR.js incluye esta posibilidad, que ofrece varias ventajas frente a la marca única:

- No es necesario que el visor enfoque a todas marcas a la vez; esto permitiría, ubicando las marcas en las esquinas del papel, ampliar el tamaño de la zona de ubicación de los elementos virtuales, dando a su vez mayor margen de movimiento al usuario a la hora de enfocar.
- Se mejora la detección del plano en el que se ubican las marcas y se disminuye el tiempo de detección; esto mejoraría la precisión en la ubicación de los elementos virtuales, eliminaría los retardos existentes en reubicarlos cuando se mueve el dispositivo de visualización (que se manifiestan como temblores) y haría más homogénea la experiencia en dispositivos con diferentes ópticas de cámara.

## 24. Conclusiones

Tras la finalización del proyecto considero que se han cumplido todos los objetivos planteados en su concepción. Se han explorado las posibilidades de la RA en la educación a través de una revisión de la principal literatura publicada al respecto y la realización de test y entrevistas a profesionales de la educación, se han definido tres tipologías de experiencias de RA que aprovechan las posibilidades educativas de esta tecnología y se han implementado cuatro ejemplos diferentes utilizando tecnologías, como WebAR y los códigos QR, que facilitan su utilización. Al mismo tiempo, el trabajo realizado puede servir como punto de partida para el desarrollo de la herramienta de autor que se comentó en el punto anterior.

Además, los ejemplos implementados muestran que las tecnologías utilizadas funcionan de forma efectiva en un entorno de producción, salvando las pequeñas dificultades surgidas tal y como se comenta en los apartados 22 y 23. Así, en los dispositivos utilizados para las pruebas las aplicaciones han funcionado con fluidez, a pesar de que el tamaño total de alguna de ellas está entre los cinco y los diez megabytes y requieren una potencia de cálculo relativamente grande para calcular la ubicación y presentar los modelos en tiempo real. No obstante, como ya se ha comentado, sería necesario realizar más pruebas con usuarios para terminar de optimizarlas y, sobre todo, para validar su utilidad en el proceso de aprendizaje, algo que queda más allá del presente trabajo.

Por último, he de destacar que la realización del presente proyecto ha sido muy satisfactoria desde un punto de vista personal. A pesar del esfuerzo y el tiempo que ha supuesto, me ha permitido poner en práctica gran parte de los conocimientos adquiridos a lo largo de mis estudios en el grado multimedia, consiguiendo realizar un proyecto que requiere de la conjunción de muchas habilidades diferentes (diseño, modelado 3D, programación, etc.), y que puede suponer el punto de partida hacia un futuro profesional.

# Anexo 1. Entregables del proyecto

## Carpeta AR-3d-viewer (visor 3d de realidad aumentada)

- index.html (web con la aplicación integrada)
- marcador ar-3D-viewer.pdf (marca para lanzar y usar la aplicación con instrucciones de uso. Funciona en la pantalla del ordenador)
- Carpeta ghost (archivos necesarios para mostrar el modelo 3D de un fantasma. Descargado de Sketchfab. Licencia CC Attribution).
- Carpeta *Ejemplo AR-3D-viewer* con:
  - Gráficos de la célula en formato OmniGraffle y PNG
  - Carpeta marca con los archivos utilizados para generar la marca
  - Carpeta *modelo 3d celula* con:
    - Modelo 3d de la célula en formato GLB (no se incluye el formato nativo blender por su excesivo tamaño - 56 MB-)
    - Imagen renderizada del modelo

## Carpeta AR-3d-marker (marcador 3d en realidad aumentada)

- index.html (web con la aplicación integrada)
- cuadrícula-4-markers.pdf (cuadrícula con los marcadores utilizados para las pruebas. Para lanzar y usar la aplicación)
- *OpenSans-Regular-msdf.json* y *OpenSans-Regular.png* (archivos necesarios para la fuente de tipo bitmap utilizada, creada a partir de Open Sans regular -licencia Apache V2-)
- Carpeta *Ejemplo AR-3D-marker* con:
  - Gráfico del ejercicio de la célula en formato png
  - Carpeta marca con los archivos utilizados para generar la marca

## Carpeta AR-3d-player (reproductor 3d en realidad aumentada)

- index.html (web con la aplicación integrada)
- hoja marcador ejemplo.pdf (hojas con los distintos marcadores utilizados en las pruebas. Para lanzar y usar la aplicación)
- colores.mp4 (video utilizado para realizar las pruebas)
- Carpeta *Ejemplo AR-3D-player* con:
  - Carpeta marca con los archivos utilizados para generar la marca

- Imágenes de la mitosis utilizadas en los materiales impresos
- Video de la mitosis rotulado

## Carpeta AR-3d-chords (acordes 3d en realidad aumentada)

- AR-3D-chords-web. Carpeta con:
  - index.html (web con la aplicación integrada)
  - README.md (archivo con información acerca de la aplicación)
  - Carpeta css (con los archivos css necesarios para el funcionamiento de la aplicación)
  - Carpeta resources:
    - marca-recortable-AGC.pdf (marcador usado en la guitarra)
    - pattern-marker.patt (codificación de la marca personalizada)
    - Archivos de imagen necesarios para la aplicación
- Acordes (carpeta con los archivos .ai de los diagramas de acordes)
- Diseño. Carpeta con:
  - Archivos del wireframe en formato OmniGraffle y PNG
- Instrucciones. AR-3D-chords-web. Carpeta con el texto de las instrucciones a incluir en la web en formato markdown.
- Marca. Carpeta con:
  - Archivo psd del logotipo
  - Archivo ai de la marca recortable y el icono del marcador.
  - qr-ar-3d-chords.png (codigo QR utilizado)

## Carpeta AR-cell (láminas de la célula en realidad aumentada)

- resources. Carpeta con:
  - Mitosis-SD-480p.mov (video de la mitosis)
  - Carpeta markers (con los archivos png y patt de las marcas)
  - Carpeta models (con el modelo 3D de la célula)
- cellModelPage3.html, cellTestPage5.html, cellVideoPage4.html y index.html: archivos HTML necesarios para la aplicación.
- Carpetas css y js (con los archivos css y js necesarios para el funcionamiento de la aplicación)
- *OpenSans-Regular-msdf.json* y *OpenSans-Regular.png* (archivos necesarios para la fuente de tipo bitmap utilizada, creada a partir de Open Sans regular -licencia Apache V2-)

## Carpeta Páginas físicas

- Archivos en formato pages y PDF con los contenidos maquetados
- Imagen con la rejilla utilizada para la maquetación

## Anexo 2. Código fuente (extractos)

A-Frame establece que el código javascript se integre en la aplicación mediante la creación de componentes. Así, por ejemplo, para agregar la funcionalidad de controlar la animación, el zoom y la orientación de los modelos 3D se crea el componente [3d-model-control](#):

```
AFRAME.registerComponent('3d-model-control', {
  init: function () {
```

Se selecciona la escena y el modelo 3D, que están integrados en el DOM HTML gracias a A-Frame:

```
var sceneEl = this.el;
  const model = document.getElementById('model')
```

Y se asignan eventos a los diferentes controles (que son elementos HTML identificados por diferentes IDs). Por ejemplo, para controlar la rotación del modelo:

```
//accedemos al botón de rotar
const rotBut = document.getElementById('rotation-btn');
// creamos una nueva función de la librería Hammer
var rotation = new Hammer(rotBut);
// cuando se produce un movimiento horizontal sobre el botón
rotation.on('panmove', function(ev) {
// se lee el valor actual de rotación del modelo
const curr = model.getAttribute('rotation');
// y se incrementa o decrementa el valor respecto del eje y en función del movimiento realizado por el usuario
model.setAttribute('rotation', {

  'x': curr.x,

  'y': curr.y + ev.deltaX*0.02,
  'z': curr.z

});
```

En el caso de la animación se ha añadido además un [listener](#) a la escena que restaura la animación por defecto (idle en este caso) cuando el modelo concluye la animación que dispara el botón:

```
animate.on('tap', function(ev) {
  model.setAttribute("animation-mixer","clip: poser;");
  var endAnimation = function (){
    sceneEl.removeEventListener('animation-loop',endAnimation);
    model.setAttribute("animation-mixer","clip: idle;");
  };
  setTimeout (function(){
    sceneEl.addEventListener('animation-loop',endAnimation);},500);
}); }
```

## Anexo 3. Librerías/Código externo utilizado

- [hammer.js](#): librería de código abierto que facilita el reconocimiento de gestos realizados con los dedos y el ratón. Se ha utilizado para mejorar la interacción en la interfaz del visor de objetos 3D.
- [Tree.js](#): librería javascript que permite la creación y visualización de gráficos 3D animados en un navegador web. Se ha utilizado a través de A-Frame.
- [A-Frame](#): un framework web para construir experiencias de realidad virtual en el navegador siguiendo la especificación WebVR que facilita la utilización de Three.js mediante un sistema de “entidades-componentes” utilizando HTML. Se ha usado para la gestión y creación de los elementos virtuales en las aplicaciones de RA.
- [A-Frame-extras](#): Add-on para A-Frame que añade, entre otras, la funcionalidad de poder cargar y animar modelos 3D creados en programas como blender o 3D Studio. Se usa en el visor de objetos 3D.
- [A-frame multisrc component](#): Add-on para A-Frame que añade la posibilidad de integrar texturas diferentes a las diferentes caras de una forma 3D generada con A-Frame. Se utiliza para integrar el video en una de las caras de una caja que hace de “pantalla”.
- [ARToolkit.js](#): librería para la realización de “tracking” de video. Permite calcular en tiempo real la posición y orientación de la cámara respecto de diferentes tipos de marcas gráficas especiales, lo que permite integrar los elementos virtuales en el entorno real. Se ha usado a través de AR.js.
- [AR.js](#): librería que facilita combinar A-Frame con ARToolkit.js para crear experiencias de realidad aumentada utilizando un navegador en un dispositivo móvil. Se ha utilizado para la gestión de las marcas en las aplicaciones de RA.

## Anexo 4. Capturas de pantalla

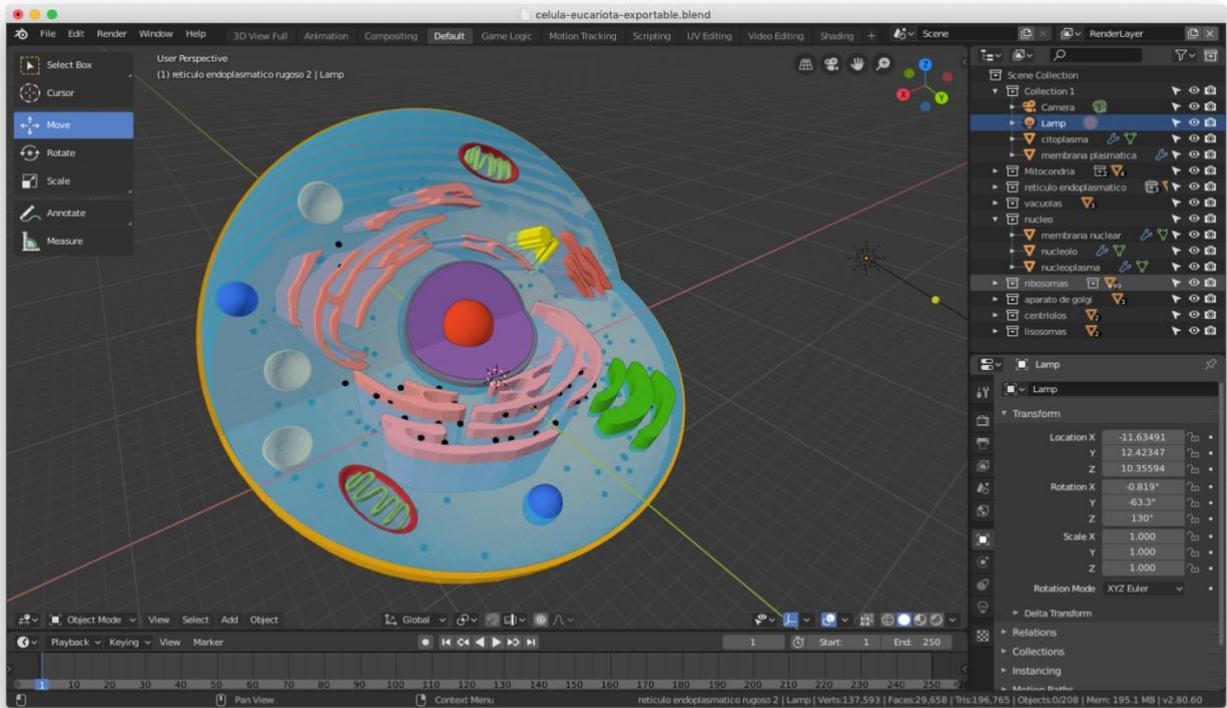


Figura 22: Modelado de la célula en 3D en Blender

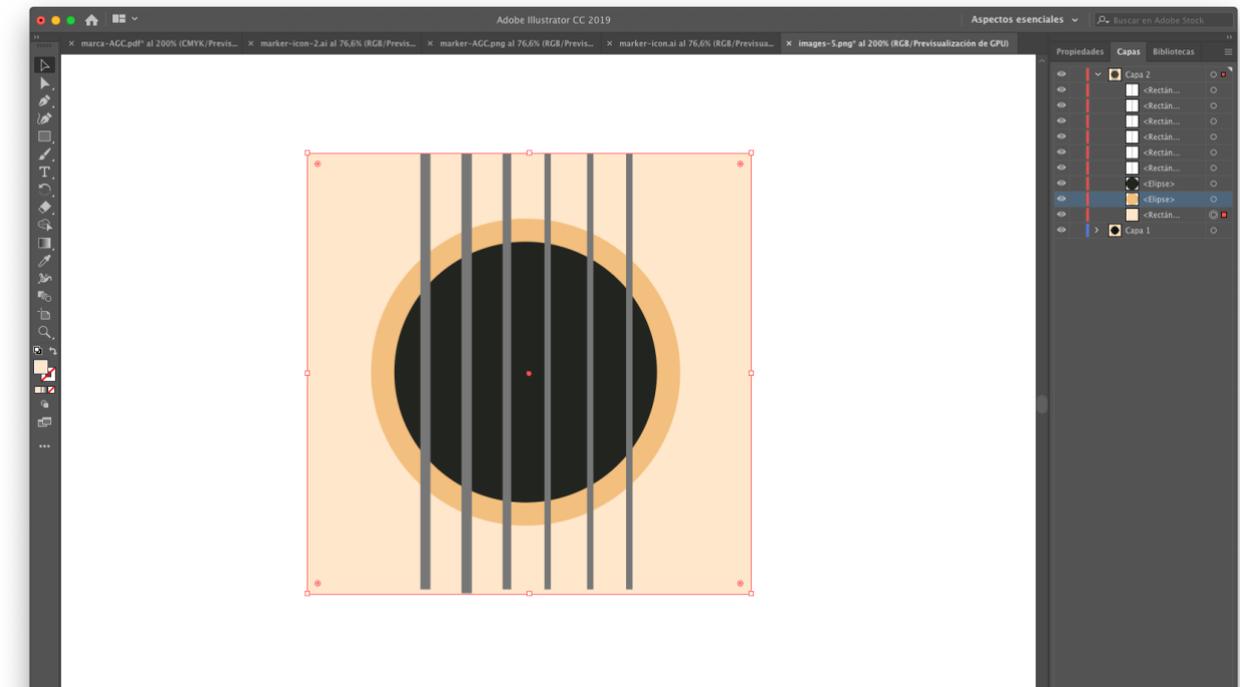


Figura 23: Diseño y creación del icono de la marca de AR 3D chords en Adobe Illustrator

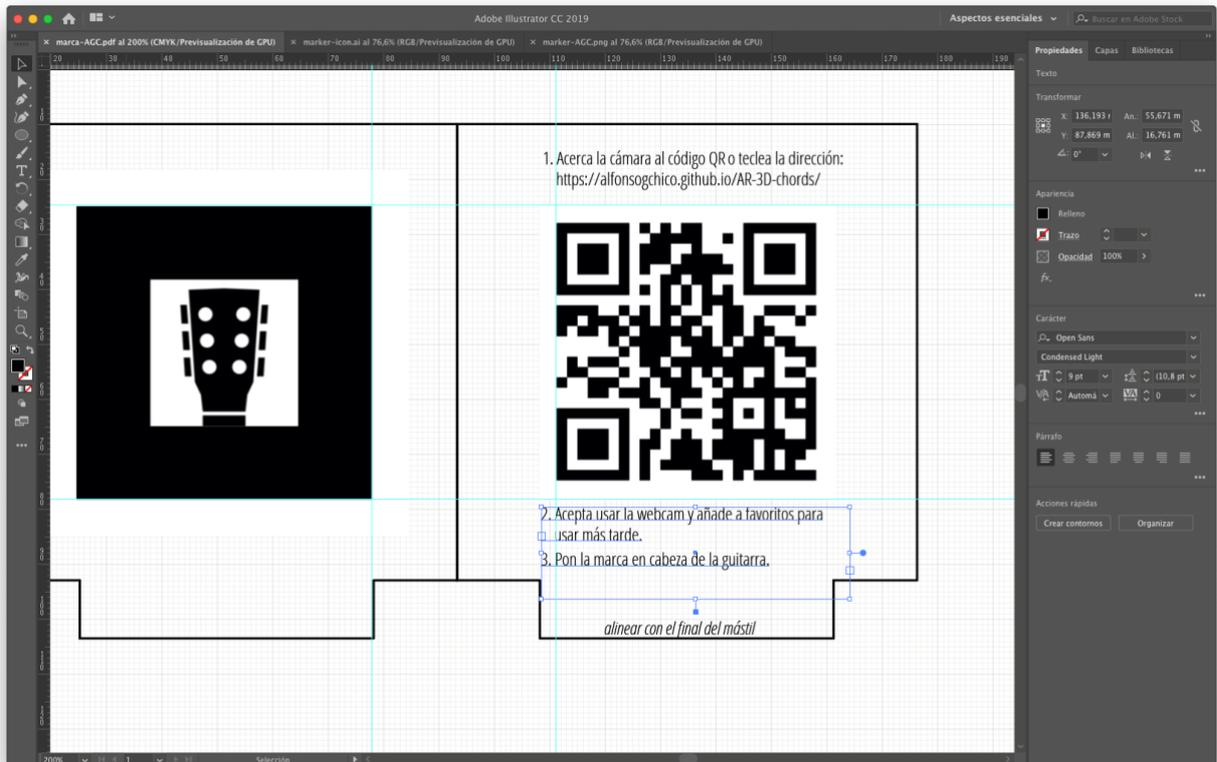


Figura 24: Diseño y creación de la marca de AR 3D chords en Adobe Photoshop

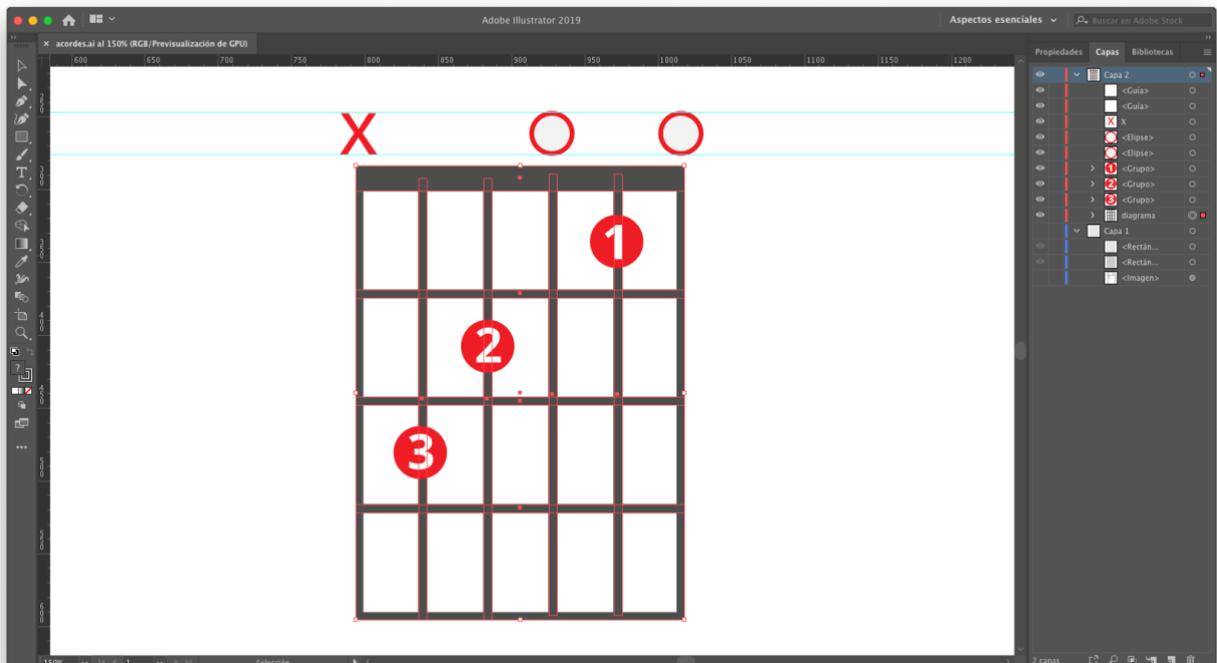


Figura 25: Diseño y creación de los diagramas de acordes en Adobe Illustrator

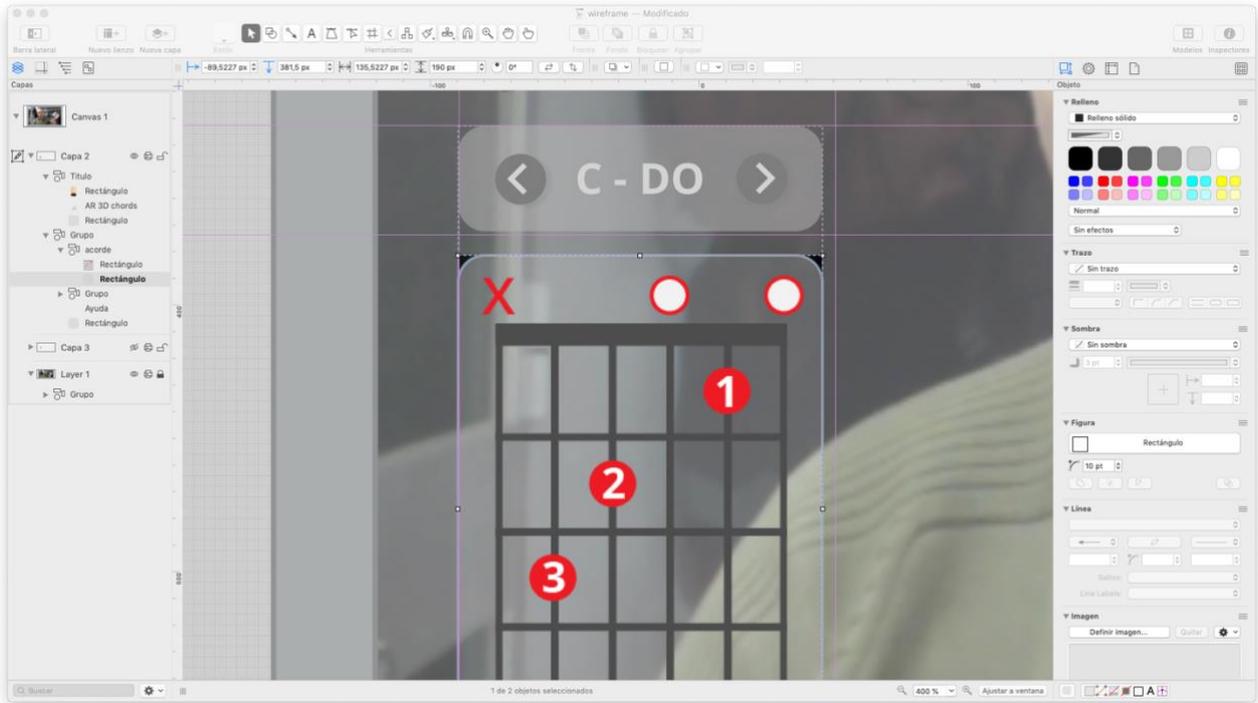


Figura 26: Diseño y creación de la interfaz de usuario de AR 3D chords en Omnigraffle

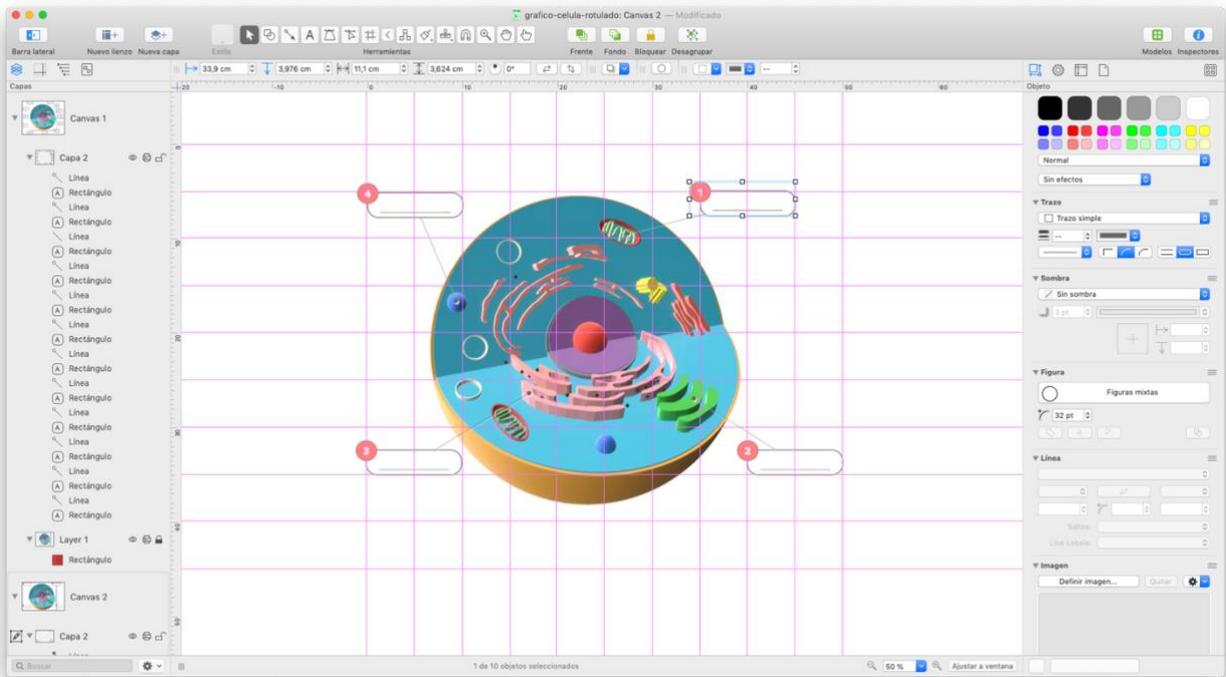


Figura 27: Creación y rotulado de los gráficos de la célula en Omnigraffle



Figura 28: Creación de las marcas del magic book en Adobe Photoshop

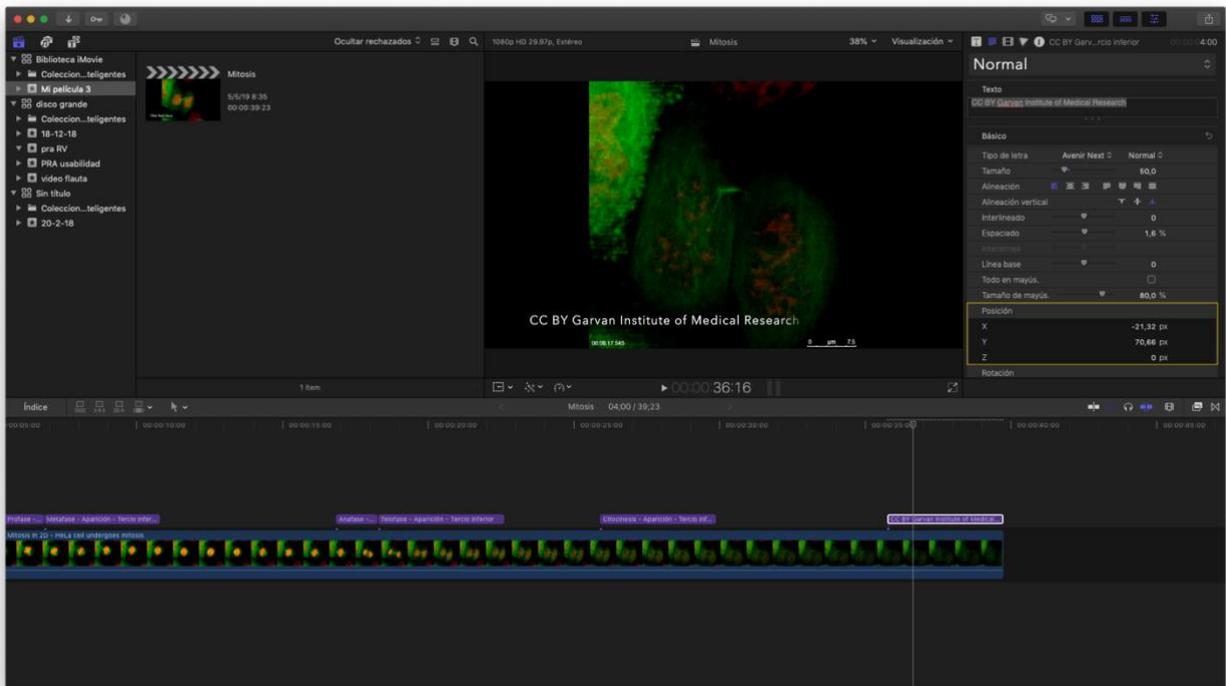


Figura 29: Edición y rotulación del video en Final Cut Pro



Figura 30: Conversión y compresión del video en Compressor

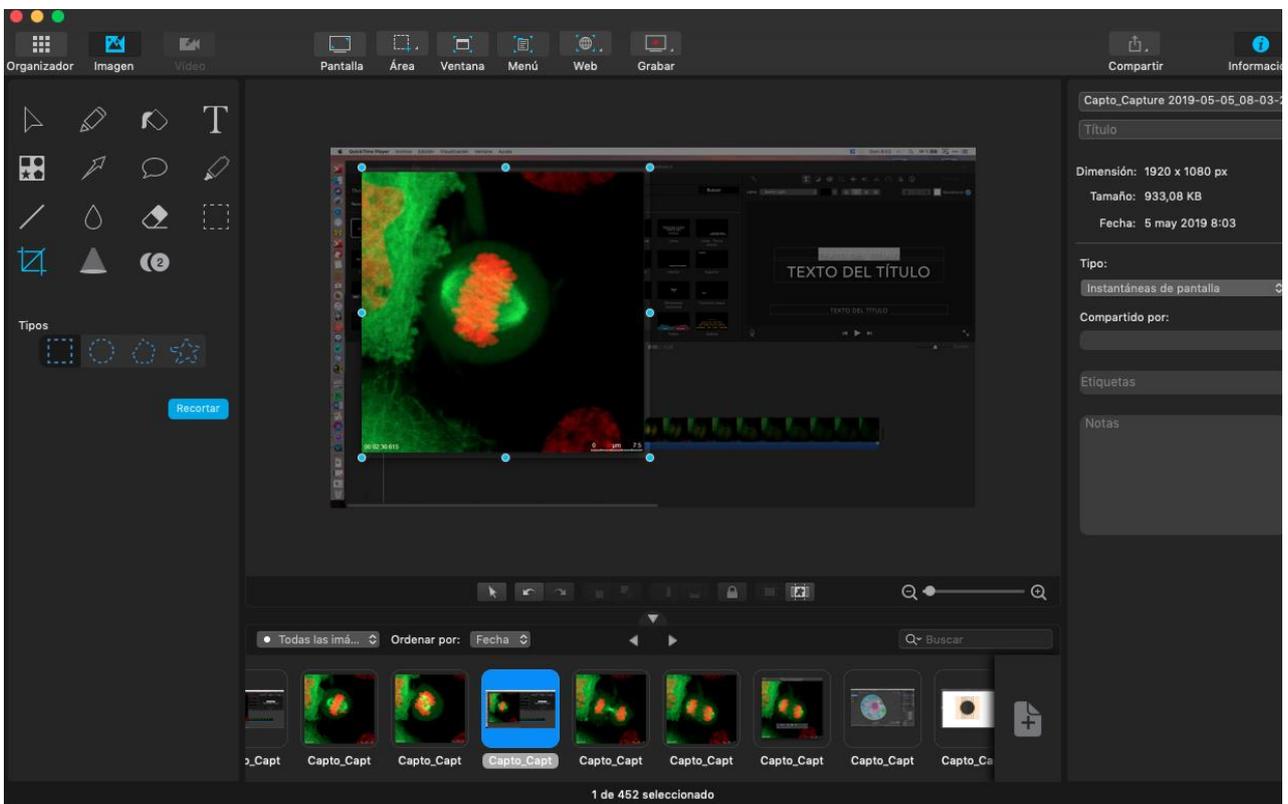


Figura 31: Captura y recorte de las imágenes de la mitosis en Capto

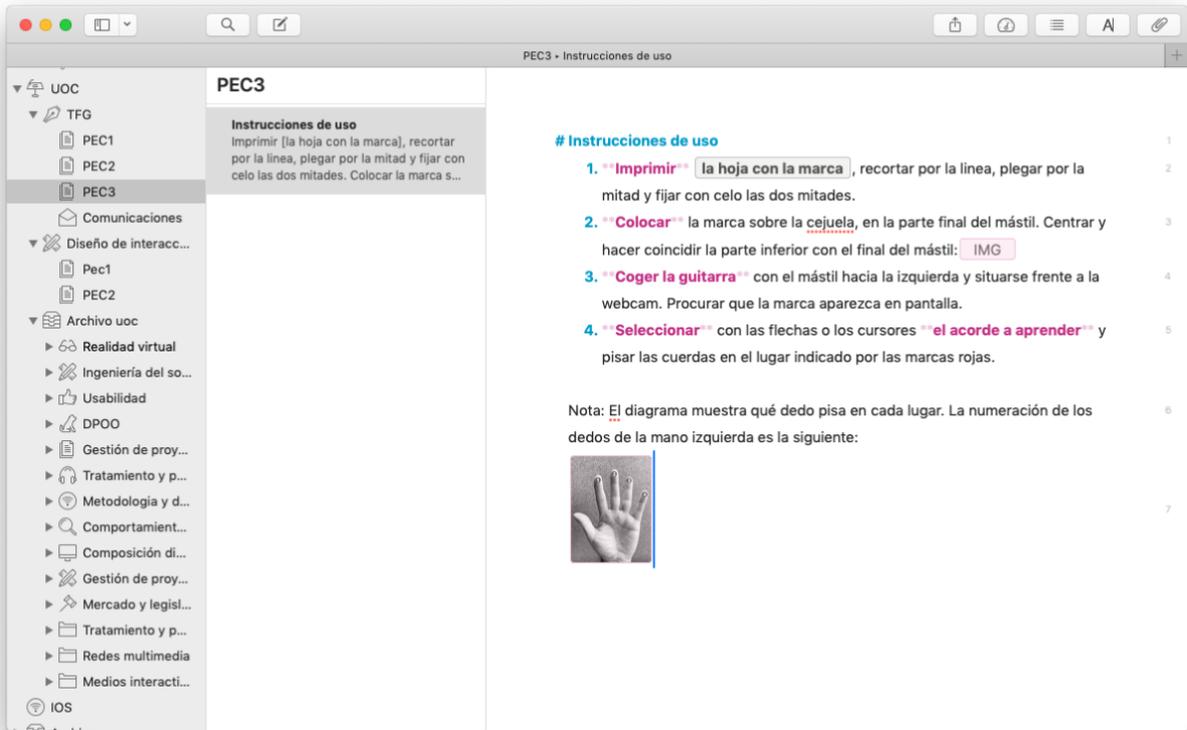


Figura 32: Redacción de los contenidos textuales en Ulysses

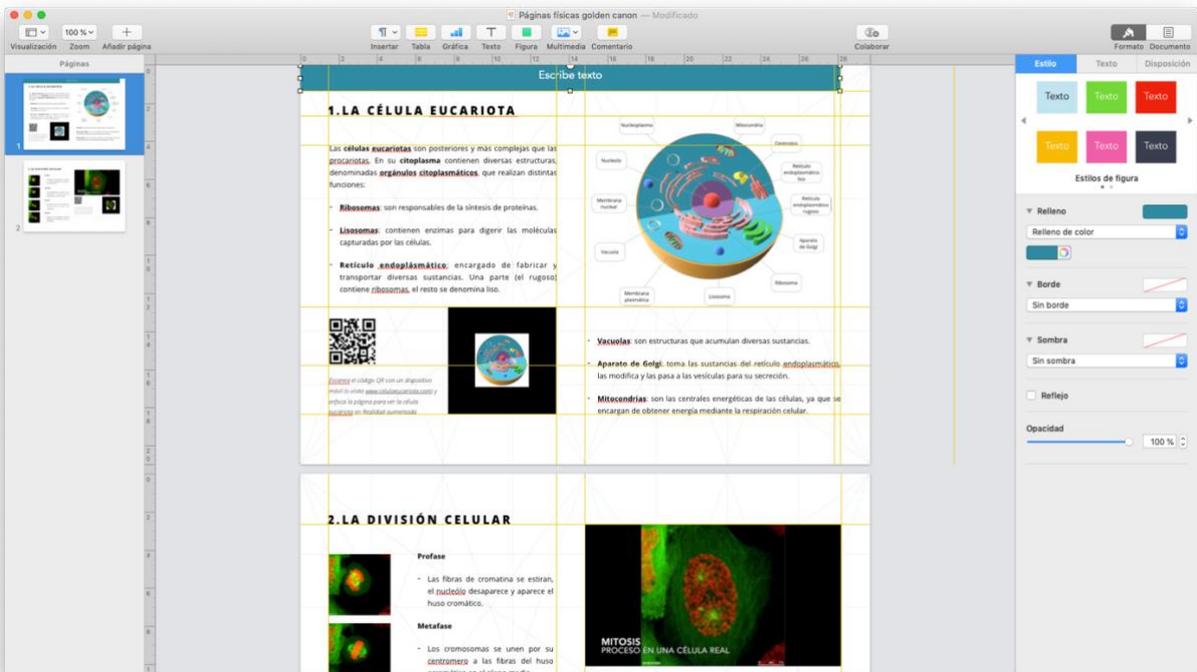


Figura 33: Diseño y maquetación de los contenidos de las páginas físicas en un editor de textos

## Anexo 5. Guía de usuario

### Ejemplos de realidad aumentada del “Magic book”

Los contenidos de realidad aumentada están diseñados para usarse impresos y situados sobre una superficie horizontal. No obstante, también pueden usarse abriendo el documento PDF en una pantalla. Para visualizarlos deberá utilizarse un dispositivo móvil (un smartphone o una tablet) con conexión a internet y seguir los siguientes pasos:

1. **Abrir la cámara del dispositivo.** Debe ser relativamente moderno y usar Android o iOS.
2. **Escanear el código QR.** Abrir la web detectada y permitir el acceso a la cámara.
3. **Enfocar al marcador.** El marcador (el recuadro con marco negro y diferentes imágenes en su interior) debe ser captado por la cámara para activar los contenidos.

### Aplicación AR 3D chords

La aplicación está concebida para ser usada en un ordenador con webcam, aunque debería ser funcional también en una tablet colocada en un ángulo y una altura adecuada, con los inconvenientes que presenta una pantalla de menor tamaño.

1. **Imprimir [la hoja con la marca](#),** recortar por la línea, plegar por la mitad y fijar con celo las dos mitades.
2. **Colocar** la marca sobre la cejuela, en la parte final del mástil. Centrar y hacer coincidir la parte inferior con el final del mástil:



3. Acceder a la web de la aplicación (<https://alfonsogchico.github.io/AR-3D-chords/>).

4. **Coger la guitarra** con el mástil hacia la izquierda y situarse frente a la webcam. Procurar que la marca aparezca en pantalla.
5. **Seleccionar** con las flechas o los cursores **el acorde a aprender** y pisar las cuerdas en el lugar indicado por las marcas rojas.

## Anexo 6. Glosario

<b>A- Frame</b>	Framework web de código abierto que permite la creación de experiencias de realidad virtual (y de realidad aumentada a través de AR.js) en un navegador web.
<b>backend</b>	Se refiere a la ejecución de una aplicación, o partes de la misma, en un segundo plano o en un dispositivo diferente al utilizado por el usuario para acceder a la misma.
<b>bmfonts</b>	Tipografías en formato de imagen Bitmap, lo que facilita su manipulación como cualquier otro tipo de imagen.
<b>código QR</b>	Código de barras bidimensional que almacena información, generalmente URLs, y que puede ser leído fácilmente con cualquier dispositivo móvil.
<b>CSS</b>	Hojas de estilo en cascada, lenguaje que permite establecer el diseño visual de páginas web y otros tipos de documentos.
<b>dispositivos móviles</b>	Teléfonos móviles o tabletas con capacidad de procesamiento y conexión a internet.
<b>head mounted display</b>	Casco de realidad virtual, dispositivo de visualización que permite al usuario percibir imágenes generadas por ordenador como si fuesen reales.
<b>herramienta de autor</b>	Aplicación informática de tipo multimedia que permite la creación de materiales y recursos digitales, generalmente destinados a un uso educativo.
<b>HTML</b>	Lenguaje de marcas de hipertexto utilizado para la elaboración de las páginas web.
<b>javascript</b>	Lenguaje de programación que permite escribir aplicaciones que pueden ejecutarse en un navegador web.
<b>marcas</b>	Elementos gráficos con características distintivas que pueden ser reconocidos a través de una cámara por una aplicación preparada para ello.
<b>tooltips</b>	Herramientas de ayuda visual que muestran información adicional, generalmente de tipo textual, acerca de un elemento determinado al que se asocian.
<b>URL</b>	Cadena de caracteres con un formato determinado que permite acceder a una web concreta alojada en un servidor a través de un navegador web.
<b>usabilidad</b>	Cualidad que define la calidad, facilidad de uso, satisfacción y aceptación de un producto o servicio interactivo.
<b>visión túnel</b>	Perdida momentánea de la visión periférica (VVAA, 2019).
<b>WebAR</b>	Conjunto de tecnologías que facilitan la utilización de cualquier navegador web como visor de experiencias de realidad aumentada.

## Anexo 7: encuesta realizada a profesores

La realidad aumentada es la tecnología que permite insertar objetos virtuales en un entorno real. Algunos ejemplos conocidos son el juego Pokemon Go! y la aplicación de Ikea que permite visualizar sus muebles ubicados en nuestras casas.

Estamos realizando un estudio acerca de las posibilidades educativas de esta tecnología y nos gustaría saber tu opinión.

1. ¿Qué etapas educativas piensas que son las más adecuadas para utilizar la realidad aumentada en un contexto educativo? (Puedes marcar varias opciones)

- Educación infantil
- 1º a 3º de educación primaria
- 4º a 6º de educación primaria
- 1º-2º de educación secundaria
- 3º-4º de educación secundaria
- Bachillerato
- Enseñanzas superiores

2. ¿Qué área de conocimiento consideras que se presta más para utilizar este tipo de tecnología?

- matemáticas y geometría
- biología
- humanidades
- música y otras artes
- Otra: \_\_\_\_\_

3. ¿Qué espacio estimas adecuado para realizar las actividades de realidad aumentada?

- aula de clase
- casa
- taller

4. ¿Qué tipo de material educativo consideras más adecuado para implementar esta tecnología?

- aplicaciones en dispositivos móviles
- libro físico/fichas con experiencias de realidad aumentada insertadas
- Cartas u otros objetos que sirven de soporte para la experiencia de realidad aumentada

5. ¿Se te ocurre alguna actividad/aplicación concreta que pueda hacer uso de esta tecnología?

## Anexo 8. Bibliografía

1. Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
2. Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk. (2014). Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. *Educational Technology & Society*, 17 (4), 133–149.
3. Burgess, A. (2013). Mitosis in 2D - HeLa cell undergoes mitosis. [online] YouTube. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=Jj0IoPVi7b0> [Accessed 10 Apr. 2019].
4. Cabrera Calero, A. (2017). *Biología y geología*. San Fernando de Henares, Madrid: Oxford Educación, pp.82-100.
5. Miglino, O.; Walker, R. (2010). Teaching to teach with technology-a project to encourage take-up of advanced technology in education. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2 (2), (2492 -2496)
6. Milgram, P.; Kishino, F. (1994). «A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays». *IEICE Trans. Inf. & Syst.* (vol. E77-D, núm. 12, diciembre 1994).
7. Radu, I. (2012). Why should my students use AR? A comparative review of the educational impacts of augmented-reality. *Proceedings of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)* (pp. 313–314). IEEE. doi:10.1109/ISMAR. 2012.6402590
8. Radu, I. (2014). Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(6), 1–11. doi:10.1007/s00779-013-0747-y
9. Roblyer, M. D.; Edwards, J.; Havriluk, M.A. (2006). *Integrating educational technology into teaching*. Pearson/ Merrill Prentice Hall.
10. Santos, M., Chen, A., Taketomi, T., Yamamoto, G., Miyazaki, J. and Kato, H. (2014). Augmented Reality Learning Experiences: Survey of Prototype Design and Evaluation. *Ieee transactions on learning technologies*, (VOL. 7, NO. 1).
11. Somoza, A. (2017). *Golden Canon Grid*. [online] Behance.net. Available at: [https://www.behance.net/gallery/54045377/Golden-Canon-Grid-\(Freebie\)](https://www.behance.net/gallery/54045377/Golden-Canon-Grid-(Freebie)) [Accessed 6 Apr. 2019].
12. StatCounter (2019). Desktop vs Mobile vs Tablet Market Share Worldwide. [online] StatCounter Global Stat. Available at: <http://gs.statcounter.com/platform-market-share/desktop-mobile-tablet> [Accessed 20 Mar. 2019].
13. Sutherland, I. E. A head-mounted three-dimensional display. In *Proc. Fall Joint Computer Conf.* (Washington, DC, 1968), Thompson Books, pp. 757–764.
14. Uldall-Espersen, T. (2008). "The usability perspective framework". A: *Proceedings of CHI '08 extended abstracts on Human factors in computing systems*. Florencia: ACM Press.
15. Usability.gov (2015). Recruiting Participants & the Legend of "The General Public". [online] Usability.gov. Available at: <https://www.usability.gov/get-involved/blog/2015/07/recruiting-participants.html> [Accessed 14 Mar. 2019].

16. VVAA (2017). Blender doesn't export textures · Issue #46 · KhronosGroup/glTF-Blender-Exporter. [online] GitHub. Available at: <https://github.com/KhronosGroup/glTF-Blender-Exporter/issues/46> [Accessed 20 May 2019].
17. VVAA (2019). Tunnel vision. [online] Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Tunnel\\_vision](https://en.wikipedia.org/wiki/Tunnel_vision) [Accessed 3 Mar. 2019].
18. Yılmaz, R., & Göktaş, Y. (2018). Using Augmented Reality Technology in Education. Çukurova Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 47(2), 510-537