



# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

## TRABAJO FIN DE GRADO

# APLICACIÓN DE LA REALIDAD AUMENTADA PARA EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS INDUSTRIALES

Autor: Rogelio Gracia Otálvaro

Director: José Antonio Rodríguez Mondéjar

**Madrid**

Julio 2020

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Aplicación de la realidad aumentada para el mantenimiento de equipos industriales  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2019/20 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido  
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Rogelio Gracia Otálvaro Fecha: 14/ 07/ 2020

A handwritten signature in black ink, reading "Rogelio Gracia", written over a horizontal line.

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: José Antonio Rodríguez Mondéjar Fecha: 14/ 07/ 2020

Firmado por RODRIGUEZ MONDEJAR JOSE ANTONIO  
- 29057313X el día 20/07/2020 con un  
certificado emitido por AC FNMT Usuarios





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO  
**APLICACIÓN DE LA REALIDAD AUMENTADA  
PARA EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS  
INDUSTRIALES**

Autor: Rogelio Gracia Otálvaro

Director: José Antonio Rodríguez Mondéjar

**Madrid**

Julio 2020



# Agradecimientos

Quiero usar este pequeño apartado para mencionar en forma de agradecimiento a las personas que hacen que hoy haya llegado hasta este punto.

A mis padres, por dejar que, para bien o para mal, sea yo el que tome las decisiones relevantes en mi vida y sean fuente de inspiración y referencia. Confían en mí aun cuando no tienen motivos aparentes y gracias a eso soy quien soy.

A mis hermanos, los cuales me inspiran a ser lo mejor que pueda ser en todo momento para así intentar ser para ellos lo que nuestros padres son para nosotros.

A mis amigos, los cariñosamente conocidos como *los chavales*, los cercanos de siempre, los 12 y los demás, por acompañarme en la travesía.



# **APLICACIÓN DE LA REALIDAD AUMENTADA PARA EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS INDUSTRIALES**

**Autor: Gracia Otálvaro, Rogelio.**

Director: Rodríguez Mondéjar, José Antonio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

Proyecto de desarrollo de una aplicación de realidad aumentada que permita disminuir y agilizar los tiempos de mantenimiento de equipos en fábricas. La aplicación combinará elementos de la realidad física con elementos digitales para ofrecer una herramienta de apoyo al usuario que le permita operar de forma fluida y sostenible para los equipos.

**Palabras clave:** Realidad Aumentada, Aplicación, Industria 4.0, Mantenimiento.

### **1. Introducción**

La realidad aumentada es uno de los pilares fundamentales sobre los que se está cimentando la nueva Industria 4.0, basada en Big Data, Cloud Computing o las tecnologías inmersivas de simulación y virtualización [1]. Este tipo de tecnologías está revolucionando fábricas y empresas, y se ha asentado en el día a día de la sociedad en los últimos años.

El objetivo de este proyecto es el de investigar esta técnica emergente y crear una plataforma de asistencia a los operarios de una fábrica que ayude a lograr un trabajo más eficiente, con el cuidado del estado del equipamiento como finalidad principal.

### **2. Definición del proyecto**

El proyecto consiste en la creación y desarrollo de una aplicación con la herramienta de diseño de entornos virtuales Unity, que reconozca en tiempo real las diferentes máquinas de un entorno de trabajo a través de las imágenes de una cámara. Para realizar este reconocimiento de elementos, se usará una aplicación externa, Vuforia, la cual es capaz de asociar las imágenes de la cámara con modelos 2D o 3D, que se le habrán introducido con anterioridad como aprendizaje. Una vez reconocido un objeto o imagen, la plataforma ha de mostrarle al usuario un menú que le facilite la información que desea de forma intuitiva y sencilla.

La aplicación se desarrollará de la forma más genérica posible para beneficiar su adaptabilidad a diferentes tipos de entorno, de maquinaria y de conocimiento técnico en los usuarios. Sin embargo, como prueba de esta, se pretende individualizar una versión a un entorno de trabajo específico.

Para constatar que se ha alcanzado un buen resultado en el proyecto, se ha de conseguir una herramienta que pueda ser de uso para cualquier usuario, con más o menos experiencia técnica, y que esta herramienta presente una solución rápida a las necesidades del usuario, el cual las irá indicando de forma interactiva. Se ha de ganar en fluidez de trabajo, de seguridad en la actividad a realizar y en comodidad. Todos estos puntos estarán presentes en todas las fases de desarrollo de la aplicación.



### 3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

Como se ha introducido, la herramienta base del proyecto será Unity. Es una herramienta de desarrollo de sistemas digitales de uso global que cuenta con la compatibilidad de muchas aplicaciones externas y packs de desarrollo. Será donde se creará la experiencia del usuario, los menús por los que navega, los botones interactivos que usa y la información que recibe en función del *input*. Otro fuerte de esta herramienta frente a otras es la capacidad de desarrollo para diferentes plataformas como PC, MAC, Linux, Android o iOS sin necesidad de cambiar o de adaptar en exceso el proyecto.

Vuforia es la segunda herramienta que se usará, la cual se coordina e implementa perfectamente con Unity y conlleva a una comunicación rápida entre las dos. Vuforia es la inteligencia artificial que identifica patrones en las imágenes que recibe y los asocia con patrones en su base de datos. Las bases de datos son específicas para cada proyecto y se entrenan a base de introducir imágenes 2D o modelos 3D de lo que se pretende reconocer. Una vez se reconoce un objeto, Vuforia se lo comunica a Unity para que pueda responder con los elementos gráficos correspondientes.



*Ilustración 1 - Arquitectura de la aplicación*

### 4. Resultados

Los resultados finales de este proyecto han sido bastante positivos ya que se han alcanzado los objetivos marcados al inicio de este, a pesar de haber tenido que modificar un poco algún detalle.

Se ha conseguido una aplicación genérica adaptable a cualquier entorno de trabajo que reconoce en tiempo real varias máquinas y lleva al usuario a un menú interactivo por el que puede navegar y decidir qué información es la que necesita en cada momento. Por cada máquina, se puede visualizar información característica de la máquina como dimensiones, peso, punto de trabajo, modelo, referencia, etcétera, así como visualizar una guía de uso correcto rutinario de la máquina. Por último, el usuario tiene acceso a un menú de *Mantenimiento* en el que se muestra una lista de los problemas más frecuentes que puede presentar la máquina y una guía que le mostrará que hacer para cada caso.

El único desvío respecto al plan original del proyecto ha sido causado por la reciente etapa de confinamiento que se ha vivido en el país, por el cual se ha perdido acceso a la universidad. Originalmente, la aplicación genérica se adaptaría a la minifábrica de ICAI para demostrar su funcionamiento y características, pero no ha sido posible.

A cambio, se han seleccionado máquinas dentro de un entorno más común como son varios electrodomésticos caseros, pero se ha podido demostrar correctamente la funcionalidad de la plataforma y realizar varias pruebas en este entorno, así como su portabilidad según sean las necesidades.



*Ilustración 2: Menú inicial al reconocer un objeto*

## 5. Conclusiones

La realización de este proyecto y los buenos resultados obtenidos lo sitúan como una posible base de cara a nuevos proyectos que quieran seguir profundizando en la tecnología de la realidad aumentada, así como su posible uso en otros ámbitos dentro de la universidad o de proyectos personales de alumnos o profesores.

De cara a futuro, puede adaptarse para que reconozca las herramientas a usar dentro de cualquier entorno y, de hacerse esa adaptación, podría revolucionar la forma en la que actualmente estudiantes y profesores llevan a cabo clases y prácticas en los laboratorios ya que ahorra mucho tiempo y genera la confianza de que las máquinas están siendo correctamente usadas y mantenidas. Probablemente el mayor desgaste que sufren las máquinas en la universidad sea debido a que las manos que las usan no tienen experiencia. Herramientas como la desarrollada ayudarían en esta cuestión de una forma sostenible, sencilla y económica.

## 6. Referencias

- [1] V, García. “La Realidad Aumentada como aliada en la Industria 4.0”, artículo digital en Revista Byte. <https://revistabyte.es/actualidad-it/realidad-aumentada/>  
Última visita: 12/07/2020.

# **AUGMENTED REALITY BASED APPLICATION FOR THE MAINTENANCE OF INDUSTRIAL EQUIPMENT**

**Author: Gracia Otálvaro, Rogelio.**

Supervisor: Rodríguez Mondéjar, José Antonio.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **ABSTRACT**

Augmented reality-based app development project to help with industrial machinery maintenance times and processes. The app will combine real world elements with digital ones to help users in an interactive and easy experience with equipment sustainability as its main goal.

**Keywords:** Augmented Reality, Maintenance, Industry 4.0, Application

### **1. Introduction**

Augmented reality is becoming one fundamental technology for the new Industry 4.0, alongside Big Data, Cloud Computing, and simulation and virtualization technologies. [1]. This technology is innovating the way factories and companies work and has become available to most of society in the past years.

This main goal of this project is to investigate this emerging tech and create an assistance application with it, so it aids employers of factories to work more efficiently, aiming for equipment maintenance and sustainability.

### **2. Project Definition**

This Project is based on the creation and development of an app that is able to recognize in real time different machines in a factory or industrial environment through images being captured by a camera. The app development software used will be Unity. To recognize different objects, an external app called Vuforia will be used. It is capable to match the camera input to different 2D or 3D models previously saved in its database. Once an object is recognized, the app will deploy a menu for the user to interact with and show the information that he or she needs in any given moment.

The app will be developed in a generic manner, so it is easier for users to adapt and extrapolate it to several different types of workspaces, labs or factories, user knowledges and machines. Anyway, a version of the app will be adapted to a specific real workspace.

Good results on this project will be based on the ability to deliver an app that any user can benefit from, regardless of his or her technical knowledge and experience. Also, this tool must deliver the information the user needs in a fast and comfortable way. Any delay or any bug can lead to a user with more problems to fix than he had before so it must run smoothly. All these details will be taken into account when developing the different parts of the app.

### 3. Tools Description

As introduced, the tool used for developing the project will be Unity. It is a digital environment and systems development software of broad use and many development kits. With it, the user interface with all the menus, interactive buttons and information will be displayed and organized based on the user's inputs to the system. Another key beneficial point of this development software is that it builds and runs apps for all major platforms like PC, MAC, Linux, Android or iOS without having to change many things between platform versions.

Vuforia is the second tool to be used, which is capable to link up and work with Unity seamlessly. Vuforia is an external app which uses machine learning and artificial intelligence to search for patterns in the images it processes, and it links those patterns with existing ones in its database. Each database is unique for each project and it must be trained with images or 3D models in order to know what it must recognize. Once an object is recognized, Vuforia sends the message to Unity so it can deploy the graphic elements associated with it.



*Ilustración 3: Tool interaction map*

### 4. Results

Results have been very positive overall since it has achieved all of its goals, despite the inconveniences found along the way.

The end product is a generic app that can be adapted to suit almost any workspace or environment that is capable to recognize multiple sets of equipment or machinery and it deploys an interface where the user has available all of the information he or she needs in any given situation while using the equipment.

For each machine, the app allows the user to see specific information like dimensions, weight, nominal values for optimal performance, reference numbers, brand, etcetera. Also, it has a scene where the user can find how to properly install and use the machine. Lastly, there is a *Maintenance* scene where the user is able to find solutions for the frequent problems or main problems that that specific machine can have.

The only deviation between the result and the original plan for the Project has been caused by the recent pandemic, which has led to the loss of access to the university. Originally, the generic app was going to be adapted to ICAI mini smart factory as a way of showcasing its capabilities with a real-world example but that was not possible in the end. In exchange, other more common machines have been selected to test the app but they were complex and good enough to do all demonstrations and tests that were intended

to be made in the first place. It also shows that the app is very portable and adaptive to necessities.



*Ilustración 4: Test footage, main menu after recognizing a machine*

## 7. Conclusions

Good results on the project make it eligible to be a basis for future projects in the research of augmented reality as it can be used as a starting point for future students or teachers' projects.

In the future, it can be adapted so it recognizes the tools of specific workspaces and, if done correctly, it could change the way the students learn in classes and in the lab hours since it saves a lot of time and it gives the comfort to know that the equipment is being used and maintained as it is intended to. Probably, most of the tear and wear the machines in the university is due to the inexperience of the people who use them and this app could be used as a way to maintain longer the equipment in a sustainable, easy and economical way.

## 8. References

- [1] V, García. “La Realidad Aumentada como aliada en la Industria 4.0”, artículo digital en Revista Byte. <https://revistabyte.es/actualidad-it/realidad-aumentada/>  
Última visita: 12/07/2020.



## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías .....</b>	<b>6</b>
2.1 UNITY.....	6
2.2 VUFORIA .....	9
<b>Capítulo 3. Estado de la Cuestión .....</b>	<b>11</b>
<b>Capítulo 4. Definición del Trabajo.....</b>	<b>15</b>
4.1 Justificación.....	15
4.2 Objetivos .....	16
4.2.1 Estudio de la matriz común a seguir por la aplicación.....	16
4.2.2 Reconocimiento de máquinas.....	16
4.2.3 Creación de los menús y entornos interactivos .....	17
4.2.4 Implementación de las partes anteriores y test .....	17
4.3 Metodología.....	18
4.3.1 Hitos del proyecto .....	18
4.3.2 Cronograma.....	18
4.4 Estimación Económica.....	19
4.5 Objetivos de desarrollo sostenible.....	20
<b>Capítulo 5. Modelo Desarrollado .....</b>	<b>21</b>
<b>Capítulo 6. Reconocimiento de máquinas .....</b>	<b>24</b>
<b>Capítulo 7. Diseño del entorno digital .....</b>	<b>28</b>
7.1 Adaptación de los menús genéricos.....	28
7.2 Programación de los botones .....	33
<b>Capítulo 8. Implementación y producto final.....</b>	<b>36</b>
<b>Capítulo 9. Resultados .....</b>	<b>38</b>
<b>Capítulo 10. Conclusiones y Trabajos Futuros .....</b>	<b>40</b>

<i>Capítulo 11. Bibliografía</i> .....	<i>42</i>
<i>ANEXO I</i> .....	<i>45</i>



## *Índice de figuras*

Figura 1: Plataformas compatibles con Unity [3] .....	7
Figura 2: Menú de búsqueda en Unity Learn [4].....	8
Figura 3: Esquema de componentes de Vuforia [7] .....	10
Figura 4: Funcionamiento de una cámara Tof [19] .....	12
Figura 5: Menú genérico al reconocer una máquina .....	23
Figura 6: Menú genérico de mantenimiento .....	23
Figura 7: Menú de adición de targets en Vuforia [16].....	25
Figura 8: Plantilla de escaneado 3D de Vuforia [17] .....	26
Figura 9: Puntos de referencia de la foto al horno .....	27
Figura 10: Menú principal específico para el horno .....	29
Figura 11: Menú de Mantenimiento específico del horno .....	30
Figura 12: Pestaña "Otros Problemas" dentro del menú de mantenimiento .....	30
Figura 13: Pestaña de información de la nevera. ....	31
Figura 14: Pestaña de instrucciones de la nevera .....	32
Figura 15: Configuración de botón.....	34
Figura 16: Build Settings para añadir las pestañas a la aplicación .....	34
Figura 17: Build Settings, elección de plataforma.....	37

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La realidad aumentada es una tecnología relativamente nueva que, desde sus primeras apariciones en la década de los 90, no ha parado de crecer y adentrarse en infinidad de procesos a nivel global. Si bien sus primeros usos eran de corte técnica o industrial, actualmente está tan asentada en el día a día que la mayoría de los humanos del mundo tiene acceso constante a ella a través de sus smartphones o cámaras. Este alto nivel de accesibilidad junto al desarrollo de nuevos componentes y dispositivos más rápidos y avanzados ha llevado a que la investigación, innovación e inversión en la realidad aumentada sea mayor año a año.

Como no podía ser de otra forma, sus aplicaciones industriales son las más avanzadas y por las que más se apuesta, siendo una de las bases de la nueva Industria 4.0. Una industria que se fundamenta en procesos más automatizados, más eficientes, sostenibles y conectados entre sí.

La realización de este proyecto pretende hacer uso de esta tecnología de forma de que sirva como base y referencia para aquellos que se interesen por ella en el futuro. Para esto, se desarrollará una aplicación genérica que sea adaptable a múltiples escenarios y que resuelva problemas reales desde el primer momento de una forma interactiva y sencilla, pero completa. El objetivo de esta aplicación será que un usuario dentro de un entorno de una fábrica o laboratorio sea capaz de hacer un uso correcto del equipamiento del que dispone, para que este funcione de forma óptima y se eviten malas prácticas, conllevando mayor eficiencia de trabajo y mayor duración y vida útil de las herramientas.

La aplicación ha de reconocer diferentes elementos en el entorno del usuario a través de una cámara y ha de reaccionar a ellos mostrando al usuario información en forma de elementos digitales en una pantalla. Estos elementos compondrán una interfaz por la que el usuario puede navegar y tener acceso directo a guías o consejos, así como información específica

que le ayudará en todo momento a saber en qué estado se encuentra el equipo con el que trabaja y si es necesaria alguna corrección en la práctica.

## Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

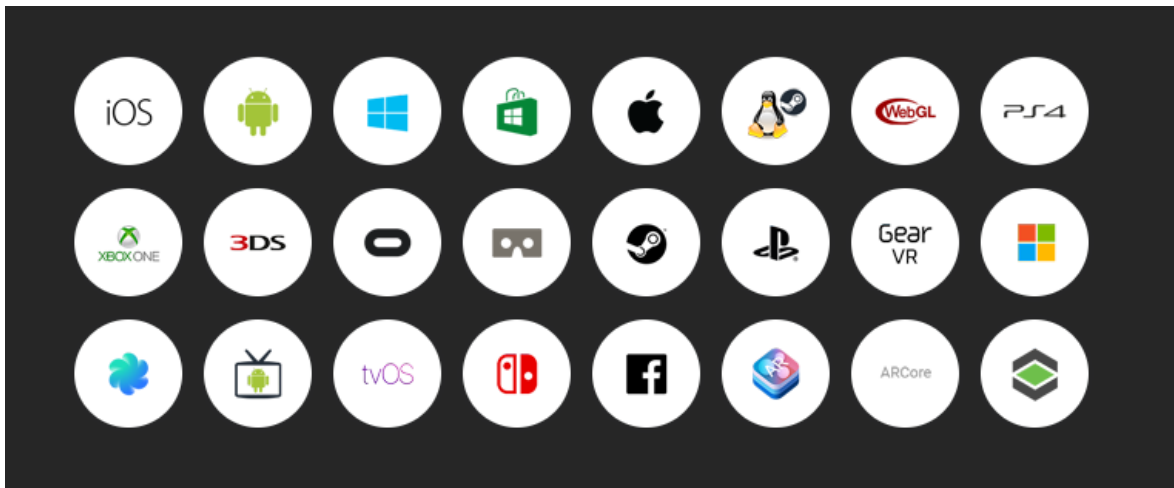
El proyecto va a requerir dos principales herramientas de desarrollo y creación de aplicaciones. Por una parte, Unity es el software de desarrollo de la aplicación. En él se crea la interfaz de la aplicación. Es el que conecta con la cámara, con el sistema de reconocimiento de objetos Vuforia, y con la pantalla táctil sobre la que el operario interactúa con diferentes elementos gráficos y botones. Por otra parte, Vuforia es una aplicación externa que se encarga de asociar las imágenes recogidas por la cámara a modelos de imágenes 2D o modelos 3D que se han guardado previamente en su base de datos. Vuforia y Unity se han escogido por ser ampliamente usadas por desarrolladores de este tipo de aplicaciones, son herramientas muy potentes y están desarrolladas para trabajar juntas, además de ser compatibles con casi todos los sistemas operativos actuales como PC, MAC, Linux, Android o iOS. De esta forma, se dispone de mucha información sobre ambas y se evitan problemas de compatibilidad, además de asegurar que se están usando herramientas de futuro ya que su amplio espectro de usuarios obliga a tener un desarrollo constante y actualizado al resto de tecnologías que van apareciendo con el tiempo.

### 2.1 UNITY

Unity es un motor de videojuegos multiplataforma de la empresa Unity Technologies [1]. Es una herramienta que lleva en desarrollo desde 2005 que destaca frente a sus competidores por ser compatible con la mayoría de las plataformas actuales, ser sencilla de usar, pero muy capaz, y por ser de uso libre para uso no comercial y comercial hasta cierto punto. Esto la hace muy atractiva para gran número de desarrolladores a nivel global, siendo una de las plataformas más usadas para la creación de videojuegos y aplicaciones interactivas del mundo. Más del 50% de los juegos móviles nuevos se crean con esta plataforma [2].

La plataforma se basa en un editor visual acompañado de programación vía scripting, en el cual el lenguaje de programación que usa es C#. El editor visual permite crear contenido en sistemas de 2D o 3D situando diferentes elementos gráficos en un entorno en blanco o una plantilla sin necesidad estricta de saber programación. Se pueden añadir numerosos elementos de manera intuitiva y sencilla, por lo cual es bueno de cara a la presentación y la apariencia final de los productos. El scripting se usa a la hora de programar las interacciones de los diferentes elementos. La posibilidad de usar código para formar las relaciones entre los diferentes componentes del entorno permite que el desarrollador tenga la posibilidad de elegir exactamente cómo trabaja y funciona su proyecto y permite una gran customización y variedad de aplicaciones. Por eso, a pesar de ser una plataforma pensada para videojuegos, es usada para muchas otras aplicaciones de diferentes características.

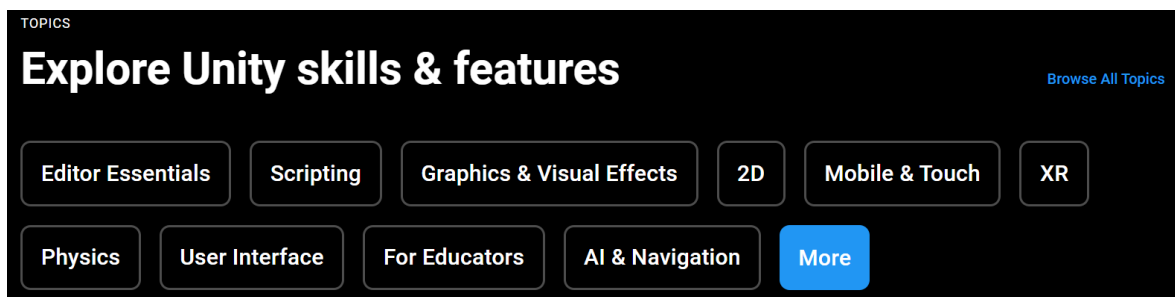
Como se ha introducido previamente, otro de los factores que resulta muy útil y conveniente es la portabilidad de proyectos a numerosas plataformas sin necesidad de modificar o rediseñarlos desde cero. La Figura 1 muestra las diferentes plataformas con las que es compatible.



*Figura 1: Plataformas compatibles con Unity [3]*

Unity además es compatible con numerosos packs de texturas, modelos, elementos gráficos, sonidos, imágenes y dinámicas creados en aplicaciones externas. Además de esto, la plataforma incluye una tienda propia dentro de la aplicación en la que se pueden descargar packs de elementos creativos de forma gratuita o de pago, facilitando y dando una base y un soporte a los desarrolladores.

Como se ha visto, hay una gran comunidad de usuarios a nivel global que no paran de aportar contenido y es un pilar fundamental de la plataforma. Para estos usuarios, Unity ofrece una serie de cursos de aprendizaje de diferentes niveles, para atraer a nuevos usuarios y para mantener actualizados a aquellos que ya tienen experiencia en las nuevas características o mejoras que se van introduciendo continuamente. Se puede buscar en función de los intereses como se puede mostrar en Figura 2.



*Figura 2: Menú de búsqueda en Unity Learn [4]*

Esta característica ha permitido en gran parte aprender las técnicas requeridas para el desarrollo de la aplicación del proyecto de una forma fácil y sencilla.

Por último, es digno de mencionar que Unity ayuda al desarrollador con sistemas predeterminados de monetización para que pueda publicar y ganar a base de sus creaciones.

## 2.2 VUFORIA

Vuforia es un kit de desarrollo de software de realidad aumentada, lo que es conocido como un SDK, que se encarga de realizar el reconocimiento de objetos para diferentes tipos de aplicaciones. Desde noviembre del 2015, Vuforia pertenece a la empresa PTC Inc. [5], la cual se dedica a crear soluciones tecnológicas relacionadas con la Industria 4.0.

Vuforia reconoce objetos en tiempo real del mundo físico a través de la búsqueda de patrones en las imágenes que recibe de una cámara. Los patrones objetivo que se quieren identificar se le han de indicar previamente y guardarlos en la base de datos del proyecto. Estos objetivos pueden ser de diferentes características [6]:

- Image target (Imágenes)
- Multi-target (Varios objetivos)
- Cylinder targets (Objetivos cilíndricos)
- Object targets (Objetos)
- VuMarks (Etiqueta de identificación personalizable de la empresa)

La base de datos del proyecto que contiene todos los targets de la aplicación deseada se puede guardar en el dispositivo local o en la nube si se dispone de una conexión a internet.

El proceso completo se muestra en la arquitectura esquemática de la Figura 3. Se recogen imágenes a través de la cámara y se procesan las capturas o *frames* de esta para que sean reconocibles y compatibles con el *tracker*, el cual recibe los objetivos de las bases de datos y se encarga de reconocerlos. Si se identifica algún objetivo, se comunica a la aplicación para que se encargue de actualizar el estado lógico de la misma y superponga los elementos digitales adecuados. Gracias a la percepción de planos y entornos, Vuforia da la opción de superponer elementos digitales que hagan seguimiento de los targets y se muevan junto a ellos en el entorno combinado de la aplicación.

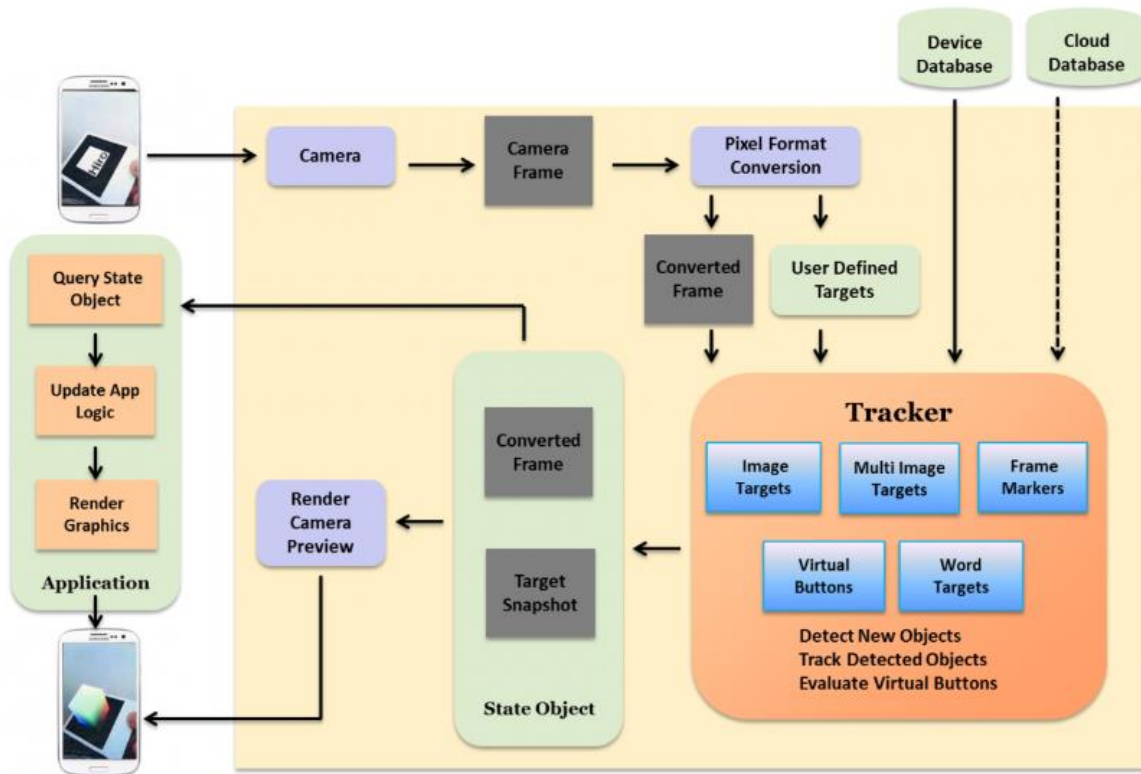


Figura 3: Esquema de componentes de Vuforia [7]



## Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La realidad aumentada como tal es un término que aparece en el 1990 de la mano de Thomas P Caudell de Boeing [8] y, aunque había habido alguna actividad mixta entre un entorno real y uno virtual en algún punto previo a esa fecha, probablemente el primer sistema de realidad aumentada como se conoce ahora se hizo en el Laboratorio de Investigación De las Fuerzas Armadas de Estados Unidos (USAF) Armstrong en 1992 por L.B. Rosenberg. Su objetivo era la superposición de información sensorial aumentada a la percepción del usuario de un entorno real para mejorar la eficiencia de su trabajo. [9]

Aunque comúnmente la realidad aumentada se asocia sólo a la superposición de elementos gráficos digitales a imágenes captadas por una cámara, la realidad aumentada realmente engloba toda aquella experiencia mejorada de la realidad a través de una aportación digital de cualquier tipo. Los elementos que se captan del mundo real pueden ser de video, de imágenes como es habitual u otros menos frecuentes como sonidos, sensores, señales GPS y más. Si bien hay más formas de realizar la realidad aumentada, en este proyecto la atención se prestará a la manera más extendida, la de superposición de elementos gráficos a imágenes captadas en una cámara.

En cuanto a aplicaciones de la realidad aumentada, son muy variadas y en muy variados sectores por lo que este estudio se va a centrar en las aplicaciones industriales de la tecnología.

Para toda empresa, las metas y objetivos han de cumplirse de a tiempo de forma económica, sostenible y eficiente. Esta tecnología está siendo la escogida para modernizar muchas de estas empresas y fábricas ya que ayuda en esas tres cualidades y la inversión para su implementación y desarrollo no para de crecer año a año.

Según las previsiones para el año 2020, el gasto mundial en realidad aumentada y realidad virtual será de 18.800 millones de dólares, un 78,5% de aumento respecto a 2019 [10]. A lo

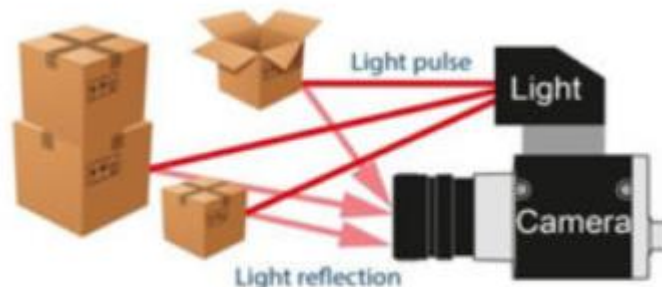
largo de la previsión se estima que dos tercios de ese gasto vaya a hardware y el tercio restante a software y servicios.

## Hardware

Para poder usar la realidad aumentada, los equipos que la utilicen requieren de varios componentes básicos mínimos como son una cámara y una pantalla, a ser posible táctil para permitir la interacción y otros más específicos como sensores de todo tipo, micrófono y señales GPS.

En cuanto a los smartphones y tabletas inteligentes, estos componentes ya se encuentran en la mayoría de los dispositivos actuales y se invierte mucho para que cada uno de ellos sea de la mayor calidad posible. Como ejemplo, actualmente los sistemas multicámara en estos dispositivos le ha ganado el terreno a los sistemas de una sola cámara debido a mayor versatilidad y calidad, las cuales son características que demanda el mercado y pueden significar el triunfo o fracaso de un producto.

Este último año se ha apreciado la aparición de las cámaras ToF (Time of Flight), las cuales miden la distancia de objetos con un haz de luz infrarroja con un sistema similar al de la Figura 4.



*Figura 4: Funcionamiento de una cámara Tof [19]*

Aunque este tipo de cámaras llevan teniendo uso en ámbitos industriales desde el año 2000, su implementación en un móvil se vio por primera vez en 2014 en el LG G3, pero se normalizó a partir de mediados del 2019 [11] y es común en la mayoría de los móviles de gama media y alta que se producen actualmente. Ayuda al sistema a entender mejor el entorno y así poder devolver información de una forma más precisa. Junto a estas cámaras, los fabricantes de procesadores también han modificado sus productos para poder soportar mejor las cargas de trabajo que estas tecnologías conllevan. Empresas como Qualcomm, la encargada de realizar los potentes Snapdragon que van en los móviles de gama más alta, lleva desde 2018 fabricando también procesadores específicos para realidad aumentada. [12]

Siendo estos dispositivos móviles los de uso más extendido a nivel global, no son la única opción razonablemente portátil y potente que puede aguantar la tecnología de la realidad aumentada. Los otros dispositivos por los que se apuesta fuerte en este campo debido a que cumplen con las especificaciones necesarias sin perder en movilidad son las *smart glasses* o gafas inteligentes.

Estas se valen de unas cámaras pequeñas y gran poder computacional para ser una de las opciones preferidas en ámbitos profesionales. En contraste también del móvil, dan la experiencia en primera persona proyectando las imágenes directamente al medio visual del usuario por lo que es son mucho más inmersivas y algunas hasta reconocen los gestos de las manos para interactuar con el sistema. Este tipo de gafas no está muy extendido en la sociedad por su deficiencia estética pero los fabricantes siguen desarrollándolas porque, gracias a sus características, son mejores para realizar ciertas tareas. Algunas hasta permiten el control remoto de drones por gestos. Las mejores en 2019 fueron Microsoft Hololens, Magic Leap One, Epson Moverio y Google Glass Enterprise Edition [13].

## Software

La mayoría de la inversión se realiza en hardware debido a las características que ha de tener un dispositivo, pero no sólo a base de tener componentes se puede crear una aplicación. El software se encarga de programar el comportamiento y las interacciones de estos componentes. Dentro de los programas de desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada,

se pueden diferenciar aquellos que crean contenido sin necesidad de programación, aquellos que sí usan programación en diferentes lenguajes para desarrollar aplicaciones más complejas y adaptadas a unas necesidades concretas, y los que se destinan al desarrollo de videojuegos o experiencias interactivas.

Aun siendo una técnica que está cambiando la forma de trabajo en la industria y está proporcionando muchos beneficios, las compañías como Unity están optando por dejar sus plataformas de desarrollo de forma gratuita hasta cierto punto para que los desarrolladores y programadores tengan acceso a ellas y puedan generar cada vez más apps, webs y, consigo, se empiece a mover y a crear un mercado por esta tecnología. Por lo general, es sólo a partir de un nivel de rentabilidad de una aplicación que se empieza a pagar por usar estos programas de desarrollo.

En estos programas podemos encontrar principalmente los módulos de desarrolladores ARCore y ARKit, pensados para ser usados con dispositivos Android o Apple respectivamente; Vuforia como software de reconocimiento de objetos compatible con el resto de las aplicaciones de desarrollo y Unity o Unreal Engine para crear juegos y experiencias interactivas.

## Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

### 4.1 JUSTIFICACIÓN

Una vez sabidas las grandes aportaciones y beneficios que están generando estas nuevas técnicas a las industrias, era cuestión de tiempo empezar a pensar en introducirlas al ámbito educativo en la universidad para ponerlas al uso de profesores y alumnado.

Se pretende que los estudiantes tengan acceso a este grande revolucionario a través de la realización y uso de aplicaciones que hagan uso de esta tecnología y tengan un contacto previo con ella antes de salir al mundo laboral, donde seguramente, la realidad aumentada ya les esté esperando. Por otra parte, se abre la puerta a pensar en un posible uso asistencial de la aplicación a realizar en ciertas prácticas o laboratorios puesto que esta herramienta es capaz de cambiar las dinámicas de trabajo de sus usuarios, ofreciendo una solución intuitiva, interactiva y de cero gasto en medioambiente. La minifábrica de ICAI es un entorno idóneo para empezar a llevar a cabo dichas actividades debido a que contiene mucha maquinaria compleja y un gran número de usuarios directos. Es normal y frecuente que un alumno se vea superado debido a la inexperiencia que posee si las máquinas no operan exactamente como se espera en un cierto punto determinado, y con esta aplicación el alumno podría identificar qué pasos o qué detalles son los que están fallando para poder corregirlos y terminar su trabajo de forma eficaz y satisfactoria. Al mejorar la calidad y la independencia de trabajo de los usuarios se ahorra en tiempo de uso de las máquinas, liberando el equipo para que más personas puedan hacer uso de él, se libera al profesorado hasta un punto ya que sabe que los alumnos no van a realizar prácticas erróneas o dañinas para los equipos y aumentar la vida útil de los mismos.

Todo esto, aparte de velar por el gasto en recursos, en horas de trabajo y mantenimiento, tiene una componente de cuidado por el medioambiente pues se hace un uso más extendido de lo que se tiene, comprando y desechando menos material a la larga.

## **4.2 OBJETIVOS**

El objetivo del proyecto es el de crear una herramienta en forma de aplicación de realidad aumentada que sea adaptable y ajustable a la mayoría de entornos industriales o fábricas, que dote al usuario de un apoyo real y útil sobre el que valerse para hacerse un uso correcto y de cuidado de las máquinas de trabajo. Para lograrlo, se marcarán ciertas fases del proyecto que de su correcta consecución deberán de llevar a un buen resultado final del proyecto.

### **4.2.1 ESTUDIO DE LA MATRIZ COMÚN A SEGUIR POR LA APLICACIÓN**

El primer paso es el de determinar qué tipos problemas y soluciones genéricos se pretenden abordar con la aplicación una vez adaptada a un entorno en concreto. Esto conlleva al estudio del tipo de menús y qué tipo de información se quiere dar al usuario, así como cuál va a ser la forma del mismo de interactuar con la plataforma y navegar por ella. En este paso no se realiza ninguna aplicación, pero se marcan las bases y la estructura que han de tenerse en cuenta a la hora del desarrollo de las aplicaciones futuras. Cabe recordar que, aunque en este proyecto se individualice la aplicación a un entorno específico como prueba de funcionamiento del mismo, el objetivo es crear un modelo que sea adaptable a diferentes entornos y máquinas, por lo que este paso es fundamental al concretar las características comunes que deben de tener todas las aplicaciones derivadas de este proyecto.

### **4.2.2 RECONOCIMIENTO DE MÁQUINAS**

Teniendo ya claro cómo va a funcionar más o menos la plataforma genérica, se pueden empezar a plasmar esos esquemas en una aplicación específica para un laboratorio o fábrica en concreto. El primer paso de esta individualización es el de determinar qué máquinas van a ser el objetivo y sobre las cuales se va a trabajar para realizar el proceso de aprendizaje de la aplicación de reconocimiento de objetos. Se ha de buscar la forma más óptima de reconocer un objeto según sus cualidades físicas y añadirlo como target a la base de datos de reconocimiento de Vuforia.

### **4.2.3 CREACIÓN DE LOS MENÚS Y ENTORNOS INTERACTIVOS**

Una vez Vuforia ya ha aprendido qué máquinas son las objetivo, se puede empezar a programar y diseñar en Unity la interfaz que el usuario va a experimentar cuando un objeto sea reconocido. Si se ha hecho un buen estudio previo en la primera fase, en este apartado ya no es necesario ver qué tipo de menú se quieren mostrar, simplemente se han de adaptar los ya elegidos a las características específicas a cada máquina. Esta interfaz debe de contar con botones interactivos que permitan al usuario interactuar con la aplicación y navegar por la información de la misma en función de las necesidades de cada momento.

### **4.2.4 IMPLEMENTACIÓN DE LAS PARTES ANTERIORES Y TEST**

Últimamente, solo es necesario vincular las dos partes principales del programa, Unity y Vuforia junto a su base de datos, y empezar a realizar test. Debería de obtenerse una aplicación que reconozca con facilidad la máquina sobre la que se quiere trabajar y enseñe los menús de forma sencilla de usar, sin retrasos ni errores y que presente una ayuda de calidad al usuario. Si falla el reconocimiento o falla la plataforma interactiva, se ha de volver a los pasos anteriores para corregirlo y tener un buen resultado final.

## 4.3 METODOLOGÍA

### 4.3.1 HITOS DEL PROYECTO

Se muestran a continuación los pasos a llevar a lo largo del proyecto:

1. Elección de herramientas del proyecto.
2. Aprendizaje de uso de las herramientas de reconocimiento.
3. Aprendizaje de uso de las herramientas de desarrollo del entorno virtual y menús.
4. Aprendizaje del montaje de las herramientas de reconocimiento y entorno virtual.
5. Primeras versiones de aplicación genérica.
6. Individualización de la aplicación genérica a máquinas reales.
7. Ensayos en tiempo real.
8. Optimización de todos los menús y máquinas reconocidas para versión final de la aplicación.
9. Redacción del Anexo B.
10. Redacción de la memoria.

### 4.3.2 CRONOGRAMA

Pasos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							



#### **4.4 ESTIMACIÓN ECONÓMICA**

Aún siendo este proyecto uno que no necesita realmente un presupuesto gracias a que los programas usados son de uso gratis hasta cierto punto de retribución, es útil de cara a una persona que se valga de este documento para realizar sus propios proyectos o aplicaciones dejar claros esos límites que permiten las plataformas y cuántos serían los costes si se decidiera o si compensara sobrepasarlos.

En el caso de Unity, existen tres planes de licencia según ingresos: Personal, Plus y Pro. 43[14]

- La licencia Personal permite el uso gratis de la aplicación si no se alcanza un límite de ingresos de 100.000 USD en los 12 últimos meses con un producto desarrollado en Unity.
- La licencia Plus es la primera de pago y tiene como techo de ingresos 200.000 USD en los 12 últimos meses con un producto desarrollado en Unity. Son 40USD/mes.
- La licencia Pro es la más avanzada y no tiene techo de ingresos. Son 150USD/mes.

Existe una versión de la licencia Pro llamada Enterprise que es un plan para empresas si se solicitan como mínimo 20 licencias Pro, que son 200USD/mes.

Cabe destacar que según mejor licencia se tenga, más prestaciones y más servicios serán accesibles, siendo la versión Enterprise la más detallada y pensada para una ayuda personalizada a la empresa que la use, por eso es necesario estudiar si compensa mejorar una licencia para obtener alguno de estos beneficios o ayudas. Para el proyecto en cuestión, con la licencia Personal es más que suficiente.

Vuforia usa un método similar de licencias al de Unity basado en los ingresos de los últimos 12 meses si se decide publicar una aplicación que haga uso de su tecnología. Es gratis si su uso es solo para desarrollo de una aplicación o para probarla, pero se necesita una licencia si se le va a dar un uso comercial [15]. Dispone de la licencia Basic, Basic + Cloud y Pro.

- La licencia Basic es para empresas que facturen menos de 10 millones de USD anuales y cuesta 42USD/mes.
- La licencia Basic + Cloud es esencialmente la misma que la Basic pero incluye la posibilidad de usar bases de datos en la nube. Son 99USD/mes.
- La licencia Pro es la más completa y no tiene techo de ingresos. Es para las empresas más grandes o que necesiten especificaciones dentro de la aplicación. El coste mensual varía en función de las necesidades y se solicita mediante contacto con un comercial.

Como pasaba con Unity, en Vuforia también es recomendable estudiar las características de cada plan a parte del coste porque alguna de ellas puede justificar la mayor inversión.

#### ***4.5 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE***

Gracias a este proyecto, se pueden llegar a reducir drásticamente las malas prácticas o los malos usos del equipamiento por parte de los usuarios menos expertos. Esto hace que el equipamiento tenga una vida útil más larga y sea necesaria menos reposición o actualización del mismo a largo plazo. De extenderse herramientas de este tipo a nivel global, el impacto medioambiental sería enorme, pero de momento con poder ir aportando a nivel local ya es hacer un cambio.

Además, esta aplicación va a permitir una forma de trabajo mucho más fluida. Esto reduce las horas de trabajo de la maquinaria que conlleva en menos gasto en electricidad y recursos como pueden ser combustible o materiales, dependiendo de la máquina. Se necesita menos de todo para llegar al mismo resultado, por lo que se es mucho más eficiente en cuanto a tiempo y productividad, y a los recursos naturales que se usan para llevar a cabo las actividades.

## Capítulo 5. MODELO DESARROLLADO

En este apartado se va a explicar el modelo básico de aplicación pensado para que sea fácilmente exportable y ajustable a cualquier necesidad en un entorno industrial. El trabajo aquí desarrollado corresponde con el objetivo 4.2.1 ya descrito antes en el que no se busca empezar a crear nada pero tener en mente el diseño genérico y los menús que se pretenden incorporar a la aplicación final antes de empezar con ella. Se puede considerar un diseño a priori o más general.

Para poder realizarlo bien, hay que ponerse en la piel del usuario y ver qué información puede ser la más útil a la hora de construir una herramienta que le ayude a comprender una máquina y sus diferentes estados para que pueda hacer un uso correcto de ella, identifique posibles mal funciones y, hasta cierto punto de complejidad, la realice tareas de mantenimiento.

Si bien la aplicación se centra más en la parte de la resolución de problemas y la indicación de prácticas correctivas para que la máquina funcione correctamente, se ha considerado útil añadir información básica de la máquina como las dimensiones, modelos, números de referencia, peso, puntos nominales de trabajo, etcétera. Esto hace que el operador tenga un conocimiento de la máquina en cuestión y en qué entorno de trabajo se debe de situar la misma para que funcione adecuadamente. Esta sección es la de *Información* dentro de la aplicación.

De la misma manera, aunque esta aplicación no pretende servir de manual de uso de una máquina, sí que se ha decidido incluir una sección llamada *Instrucciones*. De este modo, el operario sabrá, a grosso modo, como se instala y se opera con la máquina en cuestión. No es una guía extendida con función de explorar todas las opciones de la máquina ni todos sus modos de uso, pero sí una ayuda al operario a iniciar el equipo y ponerlo en su punto de trabajo más frecuente y habitual.

Por último, se ha creado la pestaña de *Mantenimiento*, la cual sí se centra ya en la detección de diferentes problemas y la indicación de sus posibles soluciones. La estructura de esta pestaña se basa en enlistar para cada máquina los problemas más frecuentes de la misma para que el usuario pueda seleccionar cual es la situación en la que se encuentra y poder ser aconsejado para solucionar posibles problemas de funcionamiento. Como esta aplicación se pretende que sea utilizada por un público objetivo con un conocimiento medio o escaso del equipo que se está usando, en esta pestaña de mantenimiento no se pretende guiar al usuario para que realice un mantenimiento exhaustivo de las máquinas. Para aquellos problemas que no se encuentren listados como los más frecuentes o si el usuario no es capaz de solucionar la situación, la aplicación le pedirá que contacte con servicio técnico, un profesor o fabricante.

Las tres pestañas serán accesibles desde el momento en que se reconozca un objeto y tendrán botones interactivos para pasar de unas a otras sin tener que volver a usar la cámara para reconocer un objeto. Esto se ha pensado así para que no sea necesario estar siempre enfocando a la máquina cuando se use la aplicación y el usuario una vez haya entrado en el menú interactivo se pueda desplazar a su zona de trabajo de preferencia. Sólo será necesaria la vuelta al uso de la cámara si se quiere reconocer un objeto diferente al escaneado previamente.

La Figura 5 muestra el tipo de menú que se desea mostrar cuando se reconoce una máquina. Los elementos mostrados están ubicados de una forma que, si se cambiaran las dimensiones o formato de pantalla, los elementos se moverían ajustándose al nuevo formato y así no tener que diseñar interfaces para las posibles plataformas a las que se quiera exportar el proyecto.

Pinchando en los diferentes botones, el usuario accedería a cada una de las pestañas anteriormente mencionadas, de la cual la única que tiene interés mostrar es la de mantenimiento en la Figura 6 debido a que es la que más botones y opciones tiene.



*Figura 5: Menú genérico al reconocer una máquina*



*Figura 6: Menú genérico de mantenimiento*

## Capítulo 6. RECONOCIMIENTO DE MÁQUINAS

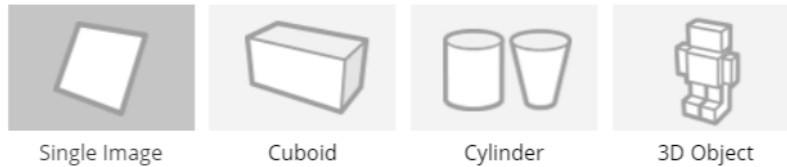
Una vez se tiene la plantilla de la aplicación y se ha pensado en el funcionamiento de esta, es hora de seleccionar las máquinas objetivo de programa. Originalmente el entorno de trabajo iba a ser la minifábrica de ICAI, donde hay un gran número de equipos de interés a usar. Sin embargo, debido a las circunstancias, no se ha podido tener acceso al mismo y se ha decidido realizar la primera adaptación de la plantilla usando el reconocimiento de equipos de uso común como son los electrodomésticos. En específico, se han cogido una nevera, un horno y una cafetera.

Sabiendo las capacidades de reconocimiento de Vuforia, se hace un estudio de prueba y error con diferentes métodos de reconocimiento hasta tener un resultado que resulte utilizable. Para realizar este estudio es necesario crear una cuenta en Vuforia y conseguir una *license key* en el apartado de *license manager*. Con ella se podrá crear una base de datos a la que añadiremos los targets deseados.

En la Figura 7 se muestra el menú para añadir un objetivo dentro de Vuforia en el que, a primera vista, hay dos opciones que parecen las más adecuadas para las máquinas que se tienen que reconocer. Por una parte, está el reconocimiento por imagen con el que podemos usar características planas de los objetos reales y, por otra, está el reconocimiento 3D que se usa para modelos escaneados previamente. Esta última opción puede parecer interesante sobre todo para el caso de la cafetera, puesto que no suele estar empotrada como los otros dos objetos. Sin embargo, para realizar el escaneado 3D requerido se necesita un impreso como el de la Figura 8 y éste debía de ser de un tamaño considerable en comparación con la cafetera. Se optó por crear los targets de los tres objetos con la opción de imagen, en la que para la cafetera se utiliza el carnet de la universidad como etiqueta a la que responde la aplicación y tanto la nevera como el horno han moldeado sus targets a partir de fotos hechas con un móvil.

## Add Target

Type:



File:

.jpg or .png (max file 2mb)

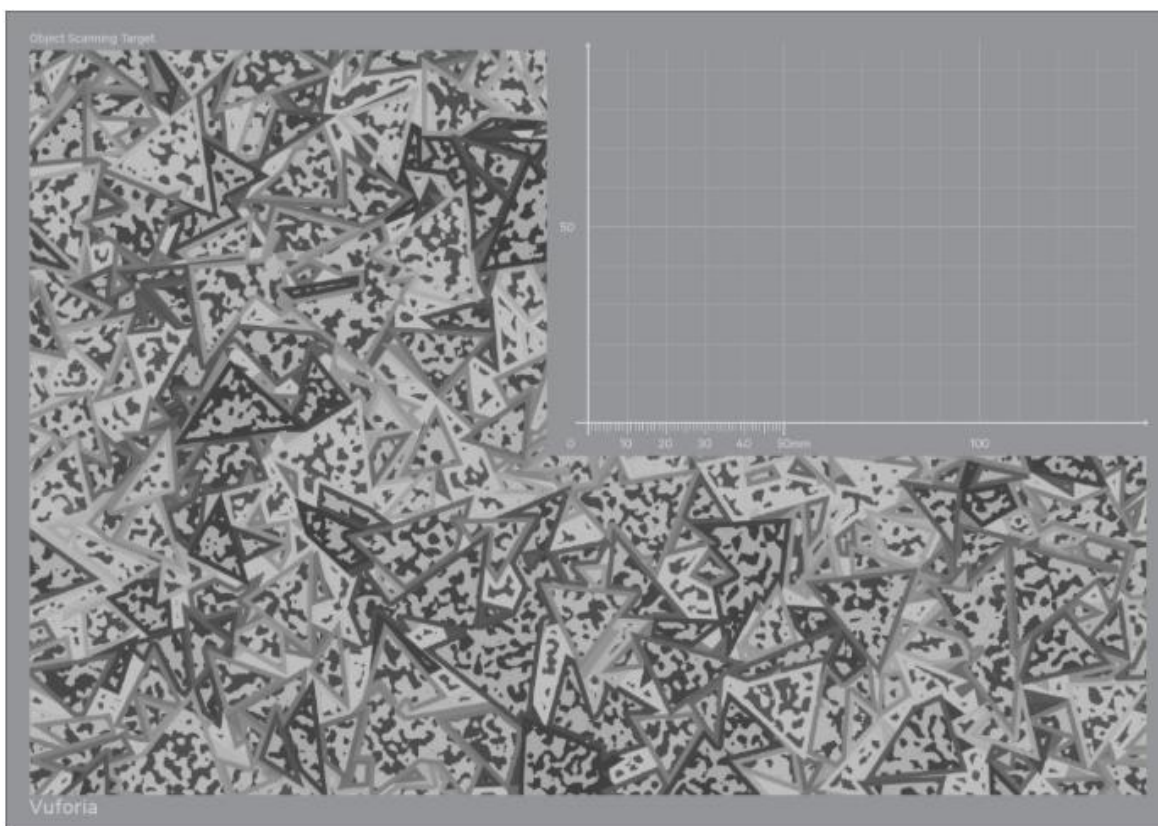
Width:

Enter the width of your target in scene units. The size of the target should be on the same scale as your augmented virtual content. Vuforia uses meters as the default unit scale. The target's height will be calculated when you upload your image.

Name:

Name must be unique to a database. When a target is detected in your application, this will be reported in the API.

*Figura 7: Menú de adición de targets en Vuforia [16]*

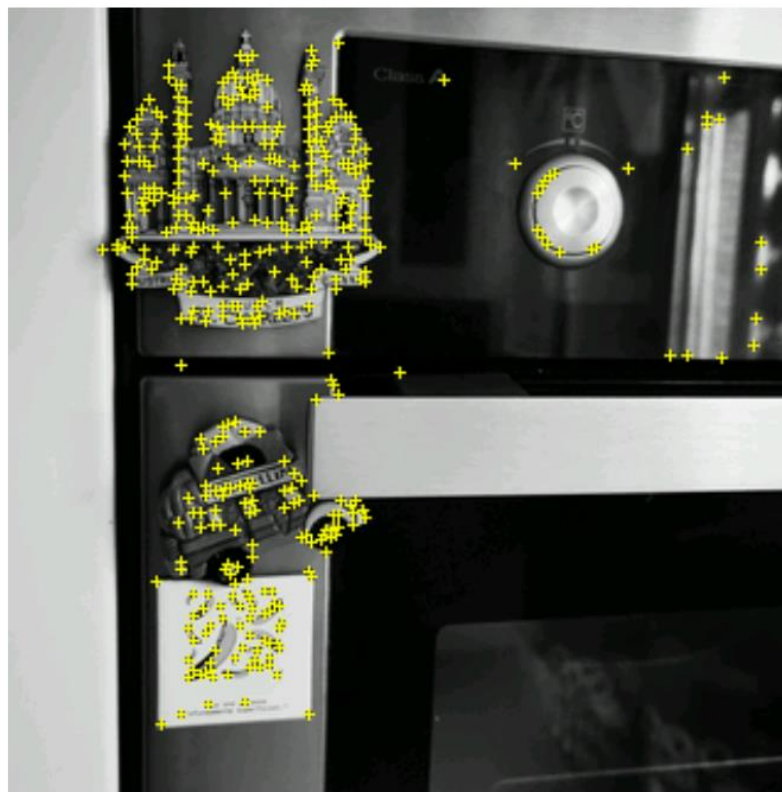


*Figura 8: Plantilla de escaneado 3D de Vuforia [17]*

Para saber si un método de reconocimiento es bueno, la plataforma de desarrolladores de Vuforia analiza cada target una vez se sube y da un veredicto en función de su calidad de 0 a 5 estrellas. Normalmente, para que un target tenga la mayor puntuación tiene que ser variado en colores, con contraste y tener varias geometrías, así que eso es lo que se busca en las fotos tomadas. Por ejemplo, para el horno resultó mejor realizar el escaneo usando los imanes que tiene puestos más que realizando fotos al horno entero, puesto que los imanes son muchas mejores referencias. En la Figura 9 se muestran los puntos de referencia de la imagen tomada para el horno en el que vemos que apenas ha cogido referencias propias del horno y ha cogido la mayoría de los imanes para ser más fiable. Se han tomado los imanes como detalles propios del horno, y siguen siendo reconocidos si se mueven un poco, pero si se quitaran o se desplazaran notablemente, habría que buscar otra característica referencia



en el horno como puede ser el panel de control o el logo o introducir una etiqueta como se ha hecho con la cafetera.



*Figura 9: Puntos de referencia de la foto al horno*

## Capítulo 7. DISEÑO DEL ENTORNO DIGITAL

### 7.1 ADAPTACIÓN DE LOS MENÚS GENÉRICOS

En esta fase del proyecto se crea el menú interactivo que sigue las bases marcadas por la primera etapa del proyecto en la que se diseñó cómo deberían de ser las aplicaciones. Esta labor, por lo tanto, no se centra en diseñar nuevos menús, lo hace en adaptar el genérico al entorno de trabajo del que se quiera hacer la aplicación. También es necesario programar las interacciones que van a tener los botones, la cual se hace vía scripting.

Como se ha comentado previamente, las máquinas con las que se trabaja son un horno, una nevera y una cafetera. Por cada una de estas, ya hay un target en Vuforia que va a reaccionar ante ellas, por lo que hay que adaptar los diferentes menús individualmente. Para ello, se utilizan las plantillas de las Figura 5 y Figura 6 y se cambian introducen los datos específicos.

Los cambios en la plantilla de la Figura 5 son básicos. Los botones inferiores son los mismos (aunque se tendrán que hacer unas caracterizaciones más adelante explicadas), y lo único que hay que adaptar es el cambio del nombre de la esquina superior izquierda al nombre de la máquina objetivo. También hay que indicarle a Unity que, para esa pestaña, la cámara de realidad aumentada va a ser usada y, por lo tanto, el fondo de la pantalla no será estático, serán las imágenes de la cámara. Es solo en esta pestaña principal en la que el fondo no será estático. El resultado específico de esta pestaña después de reconocer el horno se puede observar en la Figura 10.



*Figura 10: Menú principal específico para el horno*

Para adaptar la plantilla de la Figura 6, la dedicada al mantenimiento de cada máquina es un poco más compleja debido a que hay que introducir los tres problemas más comunes que se den en cada máquina en específico. Los problemas listados por cada equipo son los siguientes:

- Los problemas de la cafetera son que no enciende, que la parte superior está dando un mensaje alternando luces verdes y/o que la parte superior está dando un mensaje con luces rojas.
- Los problemas de la nevera son que no enciende, que no sale ni agua ni hielo y/o que pierde frío.
- Los problemas del horno son que no enciende, que no calienta o que es necesario realizar una limpieza pirolítica.

Para cada uno de estos problemas se asigna un botón que llevará a una pestaña en la que se presenta una solución, así como botones de vuelta a pestañas previas. Todas las posibles pestañas y navegación por la aplicación se mostrarán en el Anexo I, pero se muestra en la Figura 11 el resultado específico de la pestaña de mantenimiento para el horno.



*Figura 11: Menú de Mantenimiento específico del horno*

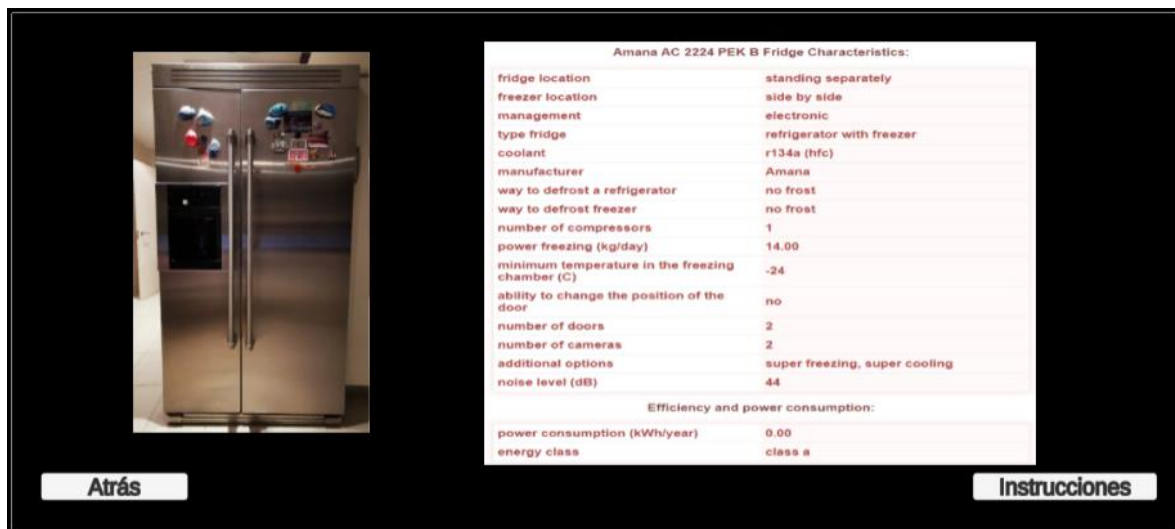
La pestaña llamada *Otros Problemas*, mostrada en la Figura 12, es común a todas las máquinas pues es la que le pide al operario que busque soporte técnico del fabricante o de un profesor ya que la máquina puede tener un fallo grave o se encuentra en una situación de la que no se puede salir fácilmente sin conocimiento específico. El texto introducido en este tipo de pestañas con fondo negro como es el de este caso o como pueden ser las pestañas de *Instrucciones* (véanse en el ANEXO I), se introducen directamente a la interfaz en Unity como elemento gráfico. No es necesario crear un código para estos elementos ni usar ficheros externos.



*Figura 12: Pestaña "Otros Problemas" dentro del menú de mantenimiento*

Por último, quedan por concretar las pestañas de *Información* e *Instrucciones* de cada máquina.

Para las pestañas de *Información* se muestra la información que proporciona el fabricante y, en algunos casos, puede ir acompañada de una foto de la máquina. Si incluye foto, se ha decidido que es mejor una foto hecha a la propia máquina con un poco de sus alrededores para poder diferenciarla en caso de que el entorno de trabajo tuviera varias máquinas del mismo modelo. La Figura 13 muestra la pestaña de información específica a la nevera en la que se detallan sus características y se acompaña de una foto real del electrodoméstico.



fridge location	standing separately
freezer location	side by side
management	electronic
type fridge	refrigerator with freezer
coolant	r134a (hfc)
manufacturer	Amana
way to defrost a refrigerator	no frost
way to defrost freezer	no frost
number of compressors	1
power freezing (kg/day)	14.00
minimum temperature in the freezing chamber (C)	-24
ability to change the position of the door	no
number of doors	2
number of cameras	2
additional options	super freezing, super cooling
noise level (dB)	44
Efficiency and power consumption:	
power consumption (kWh/year)	0.00
energy class	class a

Figura 13: Pestaña de información de la nevera.

Para las pestañas de *Instrucciones* simplemente se introduce un texto con una pequeña guía para poner en marcha el dispositivo. Tiene que ser clara y sencilla, lo justo para poder empezar a operar con los equipos.

En los casos de la nevera y del horno, estas pestañas también incluyen un pequeño comentario sobre cómo instalar los dispositivos antes de colocarlos en su sitio puesto que son grandes y no se mueven frecuentemente. La Figura 14 muestra la pestaña de instrucciones de la nevera.

En el caso de la cafetera se ha realizado una pestaña de fácil seguimiento con emoticonos y con un método paso a paso. Se realiza un poco diferente para mostrar variedad en función de las características de la máquina y del formato que se le puede dar. Como mencionado, todas las pestañas y navegaciones posibles se incluirán en el Anexo 1.



*Figura 14: Pestaña de instrucciones de la nevera*

## 7.2 PROGRAMACIÓN DE LOS BOTONES

Como se había comentado brevemente, los botones son siempre los mismos cambiando el texto que llevan, pero hay que programar vía scripting la función que se les quiere dar. En este caso, al pulsarse un botón, la función es la de cambiar de pestaña a la pestaña destino específica de cada botón.

El término que usa Unity para nombrar las diferentes pestañas o pantallas de la aplicación es el de *Scenes*, y es necesario escribir un código con C# que utilice la librería propia de Unity SceneManagement que nos permita cambiar de pestañas. El código es el siguiente:

```
1. using System.Collections;
2. using System.Collections.Generic;
3. using UnityEngine;
4. using UnityEngine.SceneManagement;
5.
6. public class ButtonManager : MonoBehaviour
7. {
8.     public void ButtonMoveScene(string level)
9.     {
10.         SceneManager.LoadScene(level);
11.     }
12.
13. }
```

Se puede ver que se crea esperando una entrada en forma de string llamada *level*, haciendo referencia al nivel o a la pestaña destino que se le quiera encomendar. Para asignarle esta función a un botón, simplemente es necesario guardar el archivo. Una vez seleccionado el botón, basta con añadir una función con el + en la sección de *On Click*, arrastrar el archivo de C# a esa casilla, seleccionar la función deseada que en este caso se ha llamado *ButtonManager.ButtonMoveScene* y en la casilla en blanco es donde se introduce como entrada en forma de string el nombre de la pestaña a la que se quiere que cambie una vez presionado el botón como se ve en la Figura 15.

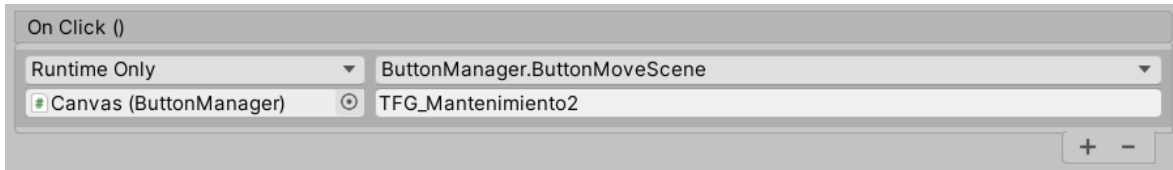


Figura 15: Configuración de botón

Para que todos los botones funcionen es necesario construir la aplicación con todas las pestañas a las que se hace referencia, si no, da lugar a un error ya que no encuentra la pestaña destino y el botón no hace nada. Se seleccionan las pestañas a usar en el panel *File > Build Settings* mostrado en la Figura 16 y simplemente se arrastran al panel mostrado en la figura.

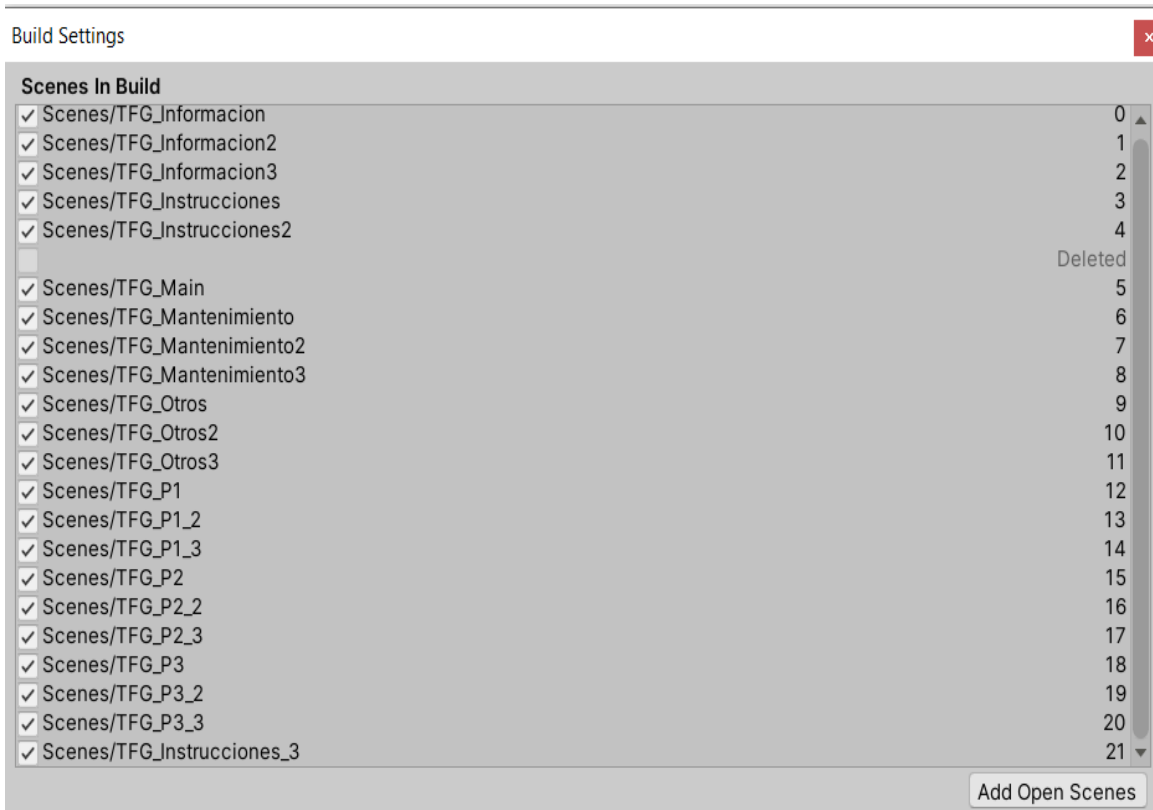


Figura 16: Build Settings para añadir las pestañas a la aplicación



Posteriormente, se construye la aplicación con Build y los botones deberían de funcionar todos como esperado y crear esa experiencia de navegación interactiva al usuario que es necesaria para dar fluidez y sencillez a la aplicación.

## Capítulo 8. IMPLEMENTACIÓN Y PRODUCTO FINAL

Ya habiendo desarrollado todas las partes de la aplicación por separado, es necesario juntarlas y hacer los retoques finales para disponer de la aplicación en cuestión.

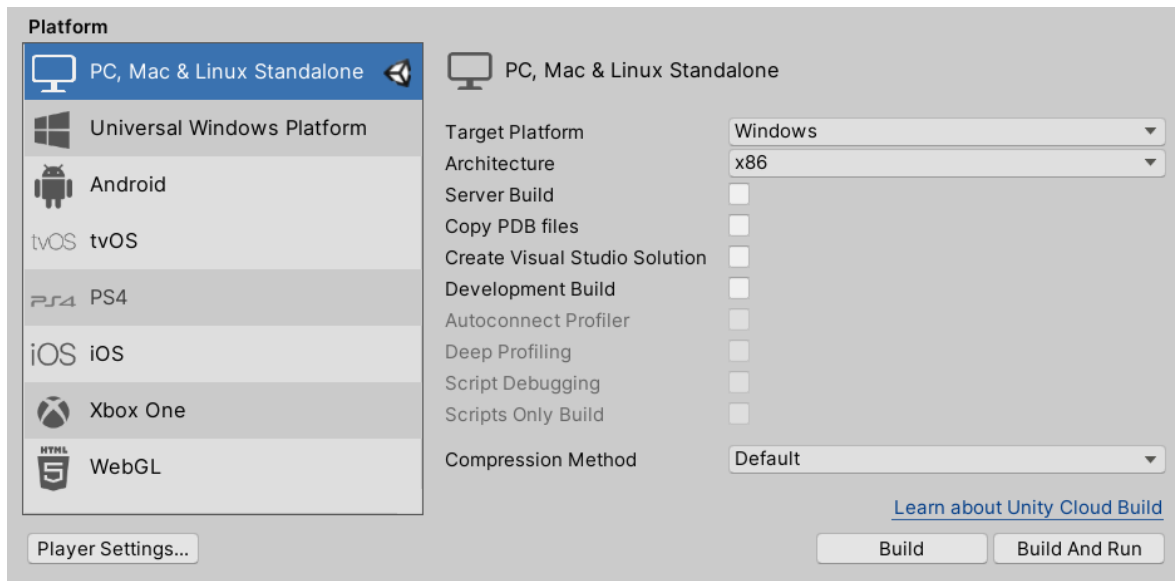
Para que Unity trabaje con Vuforia, es necesario descargar de la página de Vuforia descargas [18] el pack específico llamado *Add Vuforia Engine to a Unity Project or upgrade to the latest version* y ejecutarlo.

En la página de reconocimiento de la que se ha hablado en el apartado 7.1, como se había dicho, el fondo no es estático y hay que eliminar la cámara que trae por defecto y añadir una cámara AR. Esto se hace en el panel de Herencia o Hierarchy.

Para que la cámara reaccione a los targets de la base de datos de Vuforia, hay que descargar la base de datos desde la página para desarrolladores de la misma y ejecutarla también para que se incluya en el proyecto. Con click derecho en el panel de *Herencia > Vuforia > Image Target*, ya se puede incluir cualquiera de los targets que se habían preparado con anterioridad y asociar los menús desarrollados a ellos.

Por último, es necesario especificar a qué plataforma se quiere exportar la aplicación. Como se ha visto antes, Unity tiene gran número de plataformas compatibles y, por la forma en la que se ha hecho el diseño de la aplicación, no debería de tener el desarrollador ningún problema mayor a la hora de escoger la suya de preferencia. Para este proyecto se ha trabajado siempre desde PC usando una cámara externa inalámbrica debido a la conveniencia de no tener que estar actualizando versiones en dispositivos externos y poder ir mejorando y probando sobre la marcha.

Para escoger plataforma final de la aplicación, de nuevo en *File > Build Settings*, después de haber seleccionado todas las pestañas del proyecto, se hace selección de la plataforma a exportar en el cuadro de la Figura 17.



*Figura 17: Build Settings, elección de plataforma*

## Capítulo 9. RESULTADOS

Los resultados del proyecto han sido positivos puesto que se ha alcanzado un producto final que cumple con todos los objetivos uno por uno marcados en la planificación del mismo. Aunque no se ha podido trabajar en el entorno esperado que era la minifábrica de ICAI con todo su equipamiento, se ha podido demostrar el funcionamiento y la utilidad de la aplicación.

Se ha construido una base de datos para el reconocimiento de tres máquinas: una cafetera, una nevera y un horno. Todas ellas son perfectamente reconocidas por la aplicación y todas ellas tienen menús específicos para cada una por separado. Estos menús son de fácil navegación, pero de mucha utilidad y permiten al usuario recibir información de manera rápida e intuitiva, que era esencial. Esta ayuda, si bien entregada de forma sencilla, cubre la mayor parte de todos los problemas que se pueden dar en el equipamiento a usar y, para uso rutinario, es más que suficiente para poder trabajar de manera eficiente e independiente. También ayuda en seguridad, puesto que el usuario no va a intentar realizar actividades correctivas de mantenimiento si no tiene el nivel y se le recuerda contactar con un servicio técnico de especialistas.

Una herramienta que hubiera presentado al operador algún inconveniente más de los que ya tiene de por sí en su labor industrial o técnica, hubiera sido un resultado de peor calidad pues la mayor meta del proyecto es la de presentar soluciones, no problemas. La aplicación tenía que ser perfectamente funcional para que se pueda pensar en darle uso real y cumple con las expectativas. Se ejecuta de manera fluida y no se ha detectado ningún error en los diferentes test de prueba finales.

Otro punto de éxito del proyecto ha sido que se ha cimentado en la portabilidad y la adaptabilidad de la misma a diferentes máquinas, entornos y usuarios a base de crear un modelo general que luego se especializa a cada situación. Esto ha permitido que, al presentarse la circunstancia de no poder trabajar donde inicialmente planeado, haya sido

sencillo encontrar y adaptar la aplicación a otro entorno de características y equipamiento totalmente distintos.

## Capítulo 10. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Los buenos resultados técnicos de este proyecto al cumplir con todo lo planificado permiten preguntarse si cumplirá otra de las metas que se había propuesto. El hecho de que se haya hecho genérico ha sido para que personas que tengan interés en la realidad aumentada o le quieran dar una aplicación, puedan aquí encontrar una base de la que comenzar y construir sus proyectos. Los usos de esta tecnología no paran de crecer y lo más probable es que cada vez se vean más proyectos del estilo y que se vayan adentrando en ciertas facetas de la universidad. Con lo realizado en el proyecto, se puede conseguir, en poco tiempo de adaptación y bajo coste, una herramienta que solucione numerosos problemas y que pueda cambiar las dinámicas de trabajo dentro de la universidad a en el futuro.

El buen cuidado y uso de la maquinaria es esencial en un entorno industrial o en un laboratorio por numerosos motivos. Primero y más importante, la seguridad de los usuarios. Es frecuente el trato con máquinas de riesgo si se usan mal, como cualquier cosa que vaya a tensión o cualquier máquina que tenga elementos móviles de alta velocidad. Con una aplicación del estilo de la desarrollada se pueden evitar accidentes o lesiones al evitar que el usuario intente hacer cosas que no está capacitado a hacer o que no sean las óptimas para el trabajo del equipo. En un entorno educativo en el que la mayoría de los usuarios enfrentan equipos de gran calibre por primera vez todos los días, la importancia de tener herramientas que puedan prevenir cualquier riesgo es máxima.

Pero no solo eso, sino que, al prevenir malos usos o acciones, se ayuda al equipo a estar operativo por más años y para más personas, reduciendo el gasto institucional en el repostaje de unidades a largo plazo y reduciendo el impacto medioambiental que se genera al estar utilizando mayor número de maquinaria.

Por lo tanto, de cara a futuro, lo más interesante sería hacer aplicaciones completas de los diferentes entornos de la universidad, ya sean en función de la asignatura o de la práctica que se va a realizar, o por tipo de equipamiento a utilizar que puedan dotar a todos los

usuarios de estos beneficios que se han nombrado, a parte del hecho de estar modernizando las prácticas con esta tecnología que está creciendo con fuerza y ha llegado para quedarse.

## Capítulo 11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Unity (Motor de videojuego)” Artículo descriptivo en sitio web. Última visita 10/07/2020.  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Unity\\_\(motor\\_de\\_videojuego\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Unity_(motor_de_videojuego)).
- [2] “Juegos para dispositivos móviles” Artículo descriptivo en sitio web. Última visita 10/07/2020.  
<https://unity.com/es/solutions/mobile>.
- [3] Imagen de compatibilidad de Unity. Última visita 10/07/2020.  
<https://blogs.unity3d.com/2019/03/01/unity-ml-agents-toolkit-v0-7-a-leap-towards-cross-platform-inference/>
- [4] Imagen de plataforma de aprendizaje Unity Learn. Última visita 10/07/2020.  
<https://learn.unity.com/>
- [5] “PTC Acquires Vuforia” Publicación informativa de la compañía PTC Inc. Última visita 11/07/2020.  
<https://www.ptc.com/en/about/vuforia>
- [6] “Vuforia Target Manager” Blog explicativo de las características de Vuforia para desarrolladores. Última visita 11/07/2020.  
<https://library.vuforia.com/articles/Training/Getting-Started-with-the-Vuforia-Target-Manager#:~:text=for%20more%20information,-,Device%2C%20VuMark%2C%20and%20Cloud%20Databases,stored%20on%20the%20user's%20device.>
- [7] Imagen de la guía tutorial “HOW TO CREATE AN AUGMENTED REALITY APP”. Última visita 11/07/2020.  
<https://www.3pillarglobal.com/insights/how-to-create-an-augmented-reality-app>
- [8] “Augmented Reality – The Past, The Present and The Future”. Artículo divulgativo de Interaction Design Foundation. Última visita 11/07/2020.



<https://www.interaction-design.org/literature/article/augmented-reality-the-past-the-present-and-the-future>

- [9] Informe técnico de L. B. Rosenberg, “The Use of Virtual Fixtures As Perceptual Overlays to Enhance Operator Performance in Remote Environments”. Wright-Patterson AFB OH, 1992.
- [10] IT Reseller. “El mercado de la realidad virtual y aumentada crecerá un 78,5% en 2020”.  
Visitado última vez 03/02/2020. <https://www.itreseller.es/en-cifras/2019/12/el-mercado-de-realidad-virtual-y-aumentada-crecera-un-785-en-2020#:~:text=Se%20prev%C3%A9%20que%20el%20gasto,que%20se%20gasten%20este%20a%C3%B1o.>
- [11] “Time-of-Flight Camera”. Visitado última vez en 02/02/2020  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Time-of-flight\\_camera](https://en.wikipedia.org/wiki/Time-of-flight_camera)
- [12] De usuario Pradeep. “Qualcomm reveals its first dedicated processor for AR, VR and Mixed Reality devices”. Visitado última vez en 03/02/2020.  
<https://mspoweruser.com/qualcomm-reveals-its-first-dedicated-processor-for-ar-vr-and-mixed-reality-devices/>
- [13] “The Best Augmented Reality Hardware in 2019”. Visitado última vez en 04/02/2020 <https://www.onirix.com/learn-about-ar/the-best-augmented-reality-hardware-in-2019/>
- [14] “Unity Software Additional Terms” Condiciones de uso del software de Unity.  
Visitado última vez 05/07/2020. <https://unity3d.com/legal/terms-of-service/software#:~:text=The%20Financial%20Threshold%20for%20Unity%20Plus%20is%20US%20%24%2000%2C000%20for,may%20not%20exceed%20US%20%24200%2C000.>

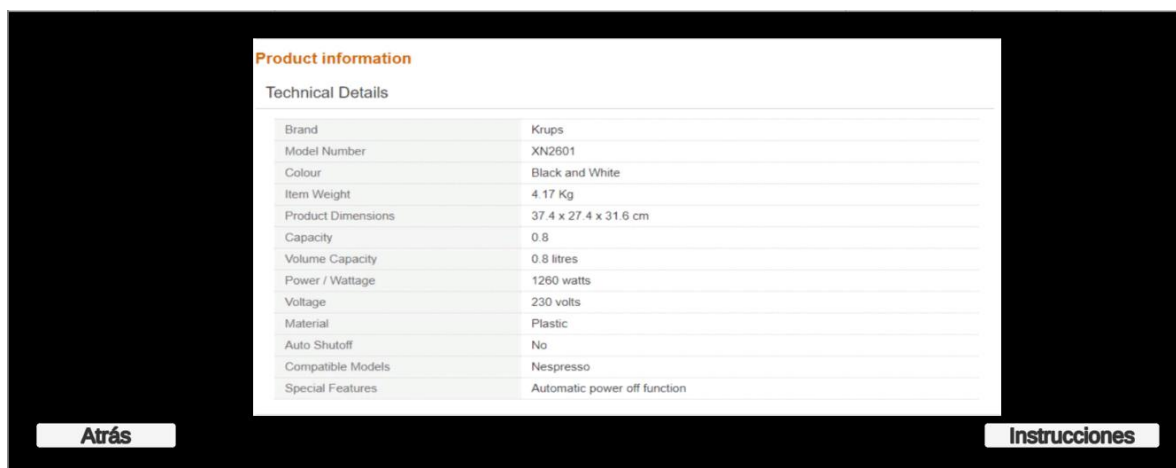
- [15] “Vuforia License Plans” Oferta de licencias en Vuforia con sus características. Visitado por última vez 11/07/2020. <https://developer.vuforia.com/pricing>
- [16] Portal de desarrollo de Vuforia. Imagen de menú para añadir targets. Visitado por última vez 13/07/2020. Es necesario haber entrado con una cuenta para ver el contenido.  
<https://developer.vuforia.com/targetmanager/project/targets?projectId=4416e34f0ab54dad91544966bbd6dece&av=false>
- [17] Imagen plantilla para realizar escaneos de objetos 3D en Vuforia. Última vez visitado 10/07/2020. <https://library.vuforia.com/articles/Training/Vuforia-Object-Scanner-Users-Guide>
- [18] Vuforia Descargas. Última visita el 12/07/2020.  
<https://developer.vuforia.com/downloads/sdk>
- [19] Imagen de cámara ToF sacada de artículo divulgativo “Basler and its Time of Flight cameras (ToF) making 3D shape and volume measurement quick and easy”  
Última visita 14/07/2020 <https://www.dvcmachinevision.fr/nouveautes/archives/basler-and-its-time-of-flight-cameras-tof-making-3d-shape-and-volume-measurement-quick-and-easy>

## ANEXO I

En este anexo se van a poner imágenes de la navegación por los diferentes menús de la aplicación desarrollada para aquel interesado en ver el producto final.



*Pestaña 1: Reconocimiento Cafetera*



*Pestaña 2: Información cafetera*

## INSTRUCCIONES

**STEP 01**

Enchufa la cafetera a tensión.



**STEP 02**

Introduce agua en el depósito trasero.



**STEP 03**

Introduce la cápsula compatible en la ranura superior.



**STEP 04**

Selecciona S, M o L con los botones y cierra la tapa de la ranura superior. El café empieza a producirse.



Atrás
Información
Mantenimiento

*Pestaña 3: Instrucciones Cafetera*

## MANTENIMIENTO

No enciende

Luces verdes alternantes en la parte superior

Luces rojas

Atrás
Instrucciones
Otros problemas

*Pestaña 4: Mantenimiento Cafetera*

**Compruebe que hay tensión en el lugar de trabajo. Para esto puede desenchufar y conectar otro dispositivo.**

**Si hay tensión, puede haber un problema en el cable o la electrónica de potencia, contactar con el fabricante.**

**Si no hay tensión, revisar el cuadro eléctrico y asegurarse de que la zona tiene tensión o cambiar de enchufe.**

Mantenimiento

*Pestaña 5: Mantenimiento Cafetera, solución a "No enciende"*

**Falta agua. Es necesario llenar el depósito y comprobar que el mismo está bien encajado en la plataforma.**

Mantenimiento

*Pestaña 6: Mantenimiento Cafetera, solución a "Luces verdes alternantes en parte superior"*


**Las luces rojas indican un fallo al cerrar la tapa superior. Lo más frecuente es que el depósito de cápsulas usadas esté lleno y la última cápsula usada no pueda caer al mismo. Vacíelo, libere la ranura y pruebe con una nueva cápsula.**

Mantenimiento

*Pestaña 7: Mantenimiento Cafetera, solución a "Luces rojas"*



*Pestaña 8: Reconocimiento Nevera*



**Atrás**

Amana AC 2224 PEK B Fridge Characteristics:	
fridge location	standing separately
freezer location	side by side
management	electronic
type fridge	refrigerator with freezer
coolant	r134a (hfc)
manufacturer	Amana
way to defrost a refrigerator	no frost
way to defrost freezer	no frost
number of compressors	1
power freezing (kg/day)	14.00
minimum temperature in the freezing chamber (C)	-24
ability to change the position of the door	no
number of doors	2
number of cameras	2
additional options	super freezing, super cooling
noise level (dB)	44
Efficiency and power consumption:	
power consumption (kWh/year)	0.00
energy class	class a

**Instrucciones**

*Pestaña 9: Información Nevera*

## INSTRUCCIONES

**INSTALACIÓN:**  
Conectar a 220V, a suministro de agua potable y acomodar en su ubicación destino.

**USO DIARIO:**  
Seleccionar agua o hielo con los botones en el panel exterior izquierdo y presionar el botón de dispensación para obtener lo deseado. Cambiar la temperatura de refrigeración con los botones en el interior de la parte de nevera.

**Atrás**

**Información**

**Mantenimiento**

*Pestaña 10: Instrucciones Nevera*

## MANTENIMIENTO

**No enciende**

**Atrás**

**No sale agua ni hielo**

**Instrucciones**

**Pérdida de frío**

**Otros problemas**

*Pestaña 11: Mantenimiento Nevera*

**Compruebe que hay tensión en el lugar de trabajo. Para esto puede desenchufar y conectar otro dispositivo.**

**Si hay tensión, puede haber un problema en el cable o la electrónica de potencia, contactar con el fabricante.**

**Si no hay tensión, revisar el cuadro eléctrico y asegurarse de que la zona tiene tensión o cambiar de enchufe.**

**Mantenimiento**

*Pestaña 10: Mantenimiento Nevera, solución a "No enciende"*

**Si la nevera no suministra agua ni hielo o los suministra con sabor o color puede indicar un fallo en el filtro. Se recuerda que el mismo se tiene que cambiar periódicamente.**

**Si se cambia el filtro y persiste el problema, comprobar que la fuente de agua potable no tiene pérdidas y que hay flujo de agua por la misma.**

**Mantenimiento**

*Pestaña 12: Mantenimiento Nevera, solución a "No sale ni agua ni hielo"*

**La pérdida de frío se puede dar por dos razones principales.**

**1- Las puertas no cierran bien. Comprobar que no hay nada impidiendo el cierre total de las puertas.**

**2- La nevera se apaga. Posible pérdida de tensión en la zona de trabajo.**

Mantenimiento

*Pestaña 13: Mantenimiento Nevera, solución a "Pérdida de frío"*



*Pestaña 14: Reconocimiento Horno*



Marca	Fagor
Número de modelo	6H-760X
Color	Plata
Dimensiones del producto	59,2 x 54,5 x 59,2 cm
Capacidad	55 litros
Potencia	3380 vatios
Voltaje	230 voltios
Características especiales	Ajustes de termostato, Bloqueo para niños, Luz interior

*Pestaña 15: Información Horno*



## INSTRUCCIONES

### INSTALACIÓN:

Conectar a 220V y acomodar en su ubicación destino.

### USO DIARIO:

Con el dial derecho seleccionar el tipo de calentado. Añadir tiempo si se desea temporizador con las teclas + y - situadas en la pantalla (opcional) y, por último, seleccionar temperatura con el dial izquierdo.

Atrás

Información

Mantenimiento

*Pestaña 16: Instrucciones Horno*

## MANTENIMIENTO

No enciende

No calienta

Limpieza pirólfica

Atrás

Instrucciones

Otros problemas

*Pestaña 17: Mantenimiento Horno*

**Compruebe que hay tensión en el lugar de trabajo. Para esto puede desenchufar y conectar otro dispositivo.**

Si hay tensión, puede haber un problema en el cable o la electrónica de potencia, contactar con el fabricante.

Si no hay tensión, revisar el cuadro eléctrico y asegurarse de que la zona tiene tensión o cambiar de enchufe.

Mantenimiento

*Pestaña 15: Mantenimiento Horno, solución a "No enciende"*

**Si el horno enciende pero no calienta o no calienta correctamente puede indicar varios fallos.**

- 1- El temporizador ha terminado, reseleccionar el modo y la temperatura deseada junto a un nuevo tiempo de temporizador.**
- 2- La puerta no cierra correctamente. Ver que no haya nada impidiendo la correcta cerradura de la misma.**

**Mantenimiento**

*Pestaña 18: Mantenimiento Horno, solución a "No calienta"*

**Es recomendable hacer una limpieza pirolítica después de una temporada de uso intenso o si se observan manchas que no se limpian fácilmente.**

**Con el selector derecho, girar en sentido horario hasta la P y esperar a que termine el proceso.**

**Limpia el horno cuando acabe, pues toda la suciedad se encuentra en el fondo del mismo.**

**Mantenimiento**

*Pestaña 19: Mantenimiento Horno, solución a "Limpieza pirolítica"*

## OTROS PROBLEMAS

**Si a la máquina le ocurre algo no incluido en la lista de problemas frecuentes o no se solucionan siguiendo los pasos, contacte con el supervisor, un técnico o con el fabricante.**

Mantenimiento

*Pestaña 20: Para todos los mantenimientos, "Otros Problemas"*