



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA



E.T.S. INGENIERÍA  
**INFORMÁTICA**  
UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

INGENIERÍA DE LA SALUD  
(MENCIÓN EN INGENIERÍA BIOMÉDICA)

**Reconstrucción de la zona interescalénica de un cuello humano por planos de disección con diseño tridimensional y desarrollo de una aplicación de realidad aumentada para anestesia troncular del plexo braquial.**

**Reconstruction by dissection planes of the interscalene zone of a human neck with three-dimensional design and development of an augmented reality application for brachial plexus truncal anesthesia.**

Realizado por  
MARINA ALGABA VIDOY

Tutorizado por  
VÍCTOR MANUEL SMITH FERNÁNDEZ  
TOMÁS JOAQUÍN FERNÁNDEZ VÍLCHEZ

Departamento de Anatomía Humana, Medicina Legal e  
Historia de la Ciencia.

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

MÁLAGA, junio de 2020



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
INFORMÁTICA**

**Graduada en Ingeniería de la Salud (mención en Ingeniería  
Biomédica)**

**Reconstrucción de la zona interescalénica de un  
cuello humano por planos de disección con  
diseño tridimensional y desarrollo de una  
aplicación de realidad aumentada para anestesia  
troncular del plexo braquial.**

**Reconstruction by dissection planes of the  
interscalene zone of a human neck with three-  
dimensional design and development of an  
augmented reality application for brachial  
plexus truncal anesthesia.**

Realizado por  
**Marina Algaba Vidoy**

Tutorizado por  
**Víctor Manuel Smith Fernández**  
**Tomás Joaquín Fernández Vílchez**



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



Departamento  
**Anatomía Humana, Medicina Legal e Historia de la  
Ciencia**

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA  
MÁLAGA, JUNIO DE 2020

Fecha defensa: Julio de 2020

# Resumen

El avance de los procedimientos quirúrgicos ha estado impulsado en gran medida por la mejora de las técnicas de anestesia regional, ya que esta supone un menor riesgo para el paciente. Una de las más utilizadas es la anestesia troncular del plexo braquial o bloqueo interescalénico para cirugías de la parte proximal del brazo. Actualmente, es un proceso asistido por ecografía y neuroestimulación que requiere de una enorme habilidad y experiencia por parte del especialista. Por su dificultad y con el fin de aumentar la seguridad de la técnica, se propuso la realización de un modelo tridimensional de la zona interescalénica de un cuello humano a partir de imágenes de resonancia magnética y el desarrollo de una aplicación móvil de realidad aumentada tanto para el adiestramiento de nuevos anestesistas, como para guiar la ejecución de la técnica de bloqueo interescalénica sobre paciente. **Material y métodos:** Para la realización del modelo tridimensional partimos de la resonancia magnética, en formato DICOM, de un paciente anónimo y utilizamos el programa 3D Slicer para la segmentación y reconstrucción del volumen de los diferentes tejidos. La aplicación fue diseñada para Android con la plataforma Unity y se utilizó Vuforia™ para la definición y gestión de los marcadores de realidad aumentada. Se creó una interfaz de usuario intuitiva para la aplicación añadiendo al proyecto códigos en C# desarrollados en Microsoft Visual Studio. **Resultados:** Se desarrolló una aplicación móvil que

utiliza realidad aumentada para proyectar en tiempo real el modelo elaborado de las estructuras anatómicas sobre el paciente y una aguja creada virtualmente sobre la sonda de la propia aguja anestésica real. **Conclusiones:** Se ha demostrado que la idea es posible, y aunque faltan algunas cuestiones por resolver, la puesta a punto de esta técnica podría suponer un avance tanto a nivel médico, como docente, pudiéndose extrapolar en el futuro a procedimientos similares.

**Palabras clave:** Bloqueo interescalénico, reconstrucción tridimensional, realidad aumentada, anatomía.

# Abstract

The advancement of surgical procedures has been largely driven by the improvement of regional anesthesia since it represents a lower risk for the patient. One of the most widely used regional anesthesia is brachial plexus truncal anesthesia, also called interscalene block, for surgeries of the proximal regions of the arm. Nowadays, it is a process assisted by ultrasound and neurostimulation that requires enormous skill and experience from the specialist. Due to its difficulty and in order to increase the safety of this technique, it was proposed to make a three-dimensional model of the interscalene area of a human neck from magnetic resonance images and the development of an augmented reality mobile application for the training of new anesthetists and to guide the execution of interscalene block on the patient. **Material and methods:** To carry out the three-dimensional model, we used the magnetic resonance imaging in DICOM format of an anonymous patient and 3D Slicer program for the segmentation and volume construction of the different tissues. The application was developed for Android with the Unity platform and Vuforia <sup>TM</sup> was used for the definition and management of augmented reality markers. An intuitive user interface for the application was created by adding C # code developed in Microsoft Visual Studio to the project. **Results:** A mobile augmented reality application was developed to

project in real time the 3D model of the anatomical structures on the patient and to overlay a virtual needle over the real one used in the anesthetic process.

**Conclusions:** It has been determined that the idea is possible, but there are still some matters to be resolved until the system can be considered as finished and it can be applied to similar procedures. To sum up, the success of this project could suppose a great advance at both medical and teaching levels.

**Keywords:** Interscalene block, three-dimensional modeling, augmented reality, anatomy.

# Índice

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Planteamiento.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>4</b>
<b>Marco teórico .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Resonancia magnética.....</b>	<b>7</b>
2.1.1 Principio físico .....	8
2.1.2 Ventajas con respecto a otras técnicas .....	9
2.1.3 Equipamiento necesario.....	10
<b>2.2 Formato DICOM.....</b>	<b>10</b>
2.2.1 Funcionamiento .....	10
<b>2.3 Bloqueo interescalénico .....</b>	<b>11</b>
2.3.1 Anatomía.....	11
2.3.2 Técnica .....	12
2.3.3 Desventajas de la técnica actual.....	13
<b>2.4 Reconstrucción tridimensional.....</b>	<b>13</b>
2.4.1 3D Slicer .....	14
2.4.2 Segmentación de imágenes .....	14
<b>2.5 Unity.....</b>	<b>15</b>
<b>2.6 Realidad aumentada .....</b>	<b>15</b>
2.6.1 Marcadores de realidad aumentada.....	15
<b>2.7 Vuforia™ .....</b>	<b>15</b>



2.7.1 Gestión de marcadores.....	16
2.7.2 Marcadores de imagen.....	16
2.7.3 Marcadores de objetos tridimensionales.....	18
<b>Material y métodos .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Búsqueda bibliográfica.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2 Desarrollo del modelo tridimensional.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Desarrollo de la aplicación de realidad aumentada .....</b>	<b>24</b>
<b>3.4 Material utilizado .....</b>	<b>27</b>
<b>Resultados.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 Reconstrucción del modelo tridimensional .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2 Desarrollo de la aplicación de realidad aumentada .....</b>	<b>34</b>
4.2.1 Primera escena de la aplicación de realidad aumentada.....	34
4.2.2 Segunda escena de la aplicación de realidad aumentada .....	35
4.2.3 Tercera escena de la aplicación de realidad aumentada .....	40
<b>4.3 Pruebas realizadas .....</b>	<b>41</b>
<b>Discusión .....</b>	<b>45</b>
<b>5.1 Discusión sobre la reconstrucción del modelo tridimensional .....</b>	<b>45</b>
<b>5.2 Discusión sobre la aplicación de realidad aumentada.....</b>	<b>48</b>
<b>5.3 Líneas futuras de investigación.....</b>	<b>51</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>53</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>55</b>
<b>Apéndice A.....</b>	<b>59</b>
<b>Apéndice B.....</b>	<b>65</b>
<b>Apéndice C.....</b>	<b>69</b>
<b>Apéndice D .....</b>	<b>81</b>

# 1

## Introducción

### 1.1 Planteamiento

El notable avance en las técnicas anestesiológicas con la introducción de fármacos cada vez más seguros y la mejora de las técnicas de anestesia regional, he permitido el desarrollo de nuevos procedimientos quirúrgicos con una mayor seguridad para el paciente (Soler et al., 2002).

El desarrollo de las técnicas de anestesia regional ha permitido que, en numerosas intervenciones, la anestesia general pueda ser combinada con la realización de un bloqueo (anestesia regional) o sustituida por una anestesia regional con sedación (que no deja de ser una anestesia general con respiración espontánea), lo que mejora el postoperatorio del paciente y reduce los efectos secundarios producidos por la anestesia general con intubación, ya que se reducen las dosis necesarias de anestésico.

Uno de los procedimientos más recurrentes de anestesia regional es el denominado bloqueo interescalénico. En la actualidad, existen dos técnicas principales que permiten el guiado de este proceso: Neuroestimulación y ecografía. La neuroestimulación consiste en la búsqueda guiada de las estructuras anatómicas confirmando su localización mediante su estimulación eléctrica. El proceso guiado mediante ecografía supuso un gran avance con respecto a la neuroestimulación, pues muestra en vivo las estructuras y la aguja dentro del paciente, aunque presenta el inconveniente de que la imagen ecográfica puede resultar difícil de interpretar y, además, es bidimensional. Por tanto, ambas técnicas son bastantes complejas, ya que requieren de una gran experiencia del profesional y pueden llegar a suponer un verdadero reto para anestesiistas en formación.

Una posible forma de impulsar este proceso es, como en cualquier campo científico, la introducción de nuevas tecnologías que permiten la modernización de los procesos ofreciendo así, nuevas posibilidades en la creación de procedimientos con capacidades potenciales inexploradas. Es el caso, por ejemplo, de la realidad aumentada. Esta tecnología permite la proyección en tiempo real de información generada virtualmente sobre estructuras de la realidad.

Por consiguiente, la posibilidad de mejorar la técnica de bloqueo interescalénico utilizando realidad aumentada, supondría un gran avance en esta disciplina, ya que permitiría la proyección del modelo tridimensional personalizado de las estructuras anatómicas del paciente sobre el propio sujeto, en su posición exacta, en tiempo real y con un seguimiento continuo de la aguja virtual que emularía a la aguja física.

Hoy en día, la realización de modelos tridimensionales de estructuras anatómicas es algo muy común, sobre todo en ámbitos educativos con el fin, por ejemplo, de facilitar el aprendizaje de la anatomía del cerebro y del cráneo (Jacquesson et al., 2020). También se ha desarrollado en ámbitos médicos para la preparación preoperatoria (Ott et al., 2020).

Existen diversas plataformas que permiten el desarrollo del modelo, entre ellas, 3D Slicer es un programa ampliamente utilizado para el diseño tridimensional de estructuras anatómicas a partir de exploraciones de resonancia magnética. Es el caso de Ott et al., 2020, que lo utilizaron para el desarrollo tridimensional de un hígado a partir de resonancia magnética para su posterior impresión 3D y su uso en preparación preoperatoria de cirugía hepática. Además, es una plataforma de código abierto, instalable en la mayoría de los sistemas operativos y que, a diferencia de otros softwares gratuitos, incluye un convertidor DICOM que permite trabajar directamente con este formato (Domínguez et al., 2016). Existen otros programas de diseño tridimensional como Blender (Andayani et al., 2019), pero 3D Slicer presenta la ventaja de ser una plataforma especialmente concebida para imagen médica que posee potentes herramientas de segmentación (Fedorov et al., 2012) y compatibilidad con otros programas como Unity.

El empleo de la realidad aumentada en el campo de la medicina aparece principalmente en ámbitos docentes, como el desarrollo de una aplicación móvil para ayudar a niños con dificultades de aprendizaje en el estudio de la anatomía (Rahman et al. 2020) o Andayani et al., 2019, que utilizan la realidad aumentada para proyectar modelos tridimensionales del intestino que ayuden a los estudiantes de medicina en el proceso de aprendizaje del sistema digestivo. No obstante, existen algunas aplicaciones desarrolladas recientemente que

permiten el guiado de procesos quirúrgicos a través de modelos anatómicos en tres dimensiones proyectados sobre el paciente. Cabría mencionar entonces a Siemionow et al., 2020, que realizan la proyección del modelo tridimensional de la columna vertebral del paciente sobre este para el guiado de cirugía espinal. En el campo de la anestesiología, principalmente se hace uso de algún tipo de guía creada virtualmente que se proyecta sobre el paciente, por ejemplo, un esquema de los niveles lumbares en la anestesia epidural (Ashab et al., 2013). Existen algunos sistemas que guían un proceso anestésico con la proyección de las estructuras anatómicas reales del paciente, pero no son muy numerosos y se centran, sobre todo en el campo de la odontología y cirugía maxilofacial y oral. Por ejemplo, Won et al. 2017, diseñaron un sistema de realidad aumentada que proyectaba el modelo de la mandíbula tridimensional del paciente para ayudar a la técnica de bloqueo del nervio alveolar inferior.

Se plantea por ello, la realización de un modelo tridimensional de la zona interescalénica del cuello de un paciente anónimo, a partir de una resonancia magnética en formato DICOM. Este modelo será posteriormente utilizado para el desarrollo de una aplicación móvil, que permite el guiado de la técnica de bloqueo interescalénico mediante realidad aumentada.

El éxito del sistema sería no solo una forma de mejorar la técnica de bloqueo del plexo braquial durante la ejecución de la anestesia, sino también una posibilidad complementaria de adiestramiento de nuevos especialistas.

## **1.2 Objetivos**

Con el fin de facilitar la técnica anestésica de bloqueo interescalénico se propone:

- Realizar una reconstrucción de la zona interescalénica de un cuello humano por planos de disección a partir de una resonancia magnética utilizando programas de diseño tridimensional.
- Desarrollar una aplicación de realidad aumentada para anestesia troncular del plexo braquial.

Con todo esto se pretende realizar una aplicación móvil y aportar material complementario que pueda ayudar al adiestramiento de nuevos especialistas en las técnicas de anestesia troncular y su aplicación como un sistema de navegación durante la propia ejecución de la técnica de bloqueo interescalénico sobre el paciente.

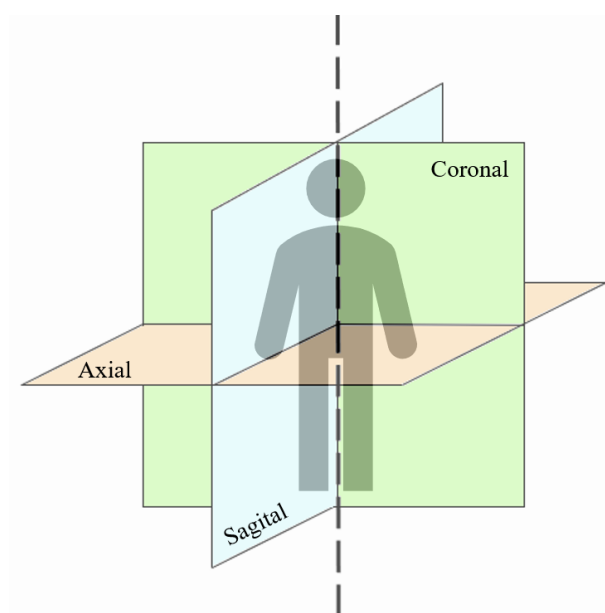


# 2

## Marco teórico

### 2.1 Resonancia magnética

La resonancia magnética es una técnica de imagen diagnóstica no invasiva que permite la obtención de imágenes del cuerpo humano en los tres planos anatómicos: Axial, coronal y sagital (figura 1).



**Figura 1.** Esquema de los planos anatómicos. Fuente: Elaboración propia.



En las imágenes generadas, podremos observar las estructuras anatómicas en diferentes niveles de gris según la composición del tejido y la técnica utilizada.

A grandes rasgos, el procedimiento consiste en introducir al paciente en el seno de un campo magnético y emitir sobre él ondas de radiofrecuencia que serán absorbidas por los átomos del cuerpo. Esta energía será posteriormente devuelta, recibida y reconstruida en forma de imagen a partir de los cortes tomográficos realizados.

### **2.1.1 Principio físico**

La resonancia magnética se debe principalmente a algunas propiedades físicas de los átomos y su comportamiento bajo la acción de un campo magnético. Especialmente el átomo de hidrógeno (H), por su abundancia en el organismo y su susceptibilidad a este fenómeno.

Entre estas se encuentra el espín o movimiento intrínseco de giro constante que poseen las partículas subatómicas. En reposo, los protones se encuentran orientados al azar y simplemente girando debido al espín. Cuando son sometidos a la acción de un campo magnético, los núcleos se orientan en la dirección de este, ya sea paralela o antiparalelamente y, además, se produce un nuevo movimiento denominado movimiento de precesión, que hace que los protones estén perfectamente acompasados describiendo la trayectoria de una peonza. Todo esto, produce el fenómeno de resonancia, en el cual, bajo la influencia de un campo magnético, los núcleos son capaces de absorber ondas de radiofrecuencia a una frecuencia determinada que será la frecuencia de precesión. Es decir, aquella a la que los núcleos realicen el movimiento de precesión.

Cuando cesa la acción del campo magnético, los núcleos vuelven a su posición y liberan la energía de radiofrecuencia absorbida. Esta se recoge con la antena receptora del equipo de resonancia magnética y es interpretada por el sistema correspondiente para la formación de la imagen.

Como se ha explicado previamente, el aspecto de cada tejido depende de sus características específicas y de la técnica utilizada. Así, los tipos principales de resonancias que encontramos son:

- Resonancias magnéticas ponderadas en T1: Miden el tiempo de relajación longitudinal (T1), es decir, el tiempo que tardan los núcleos en precesión en regresar a su estado inicial. En T1, la señal de la grasa es brillante, mientras que es baja en músculos y líquidos.
- Resonancia magnética ponderada en T2: Miden el tiempo de relajación transversal (T2) que es el tiempo que tardan en desfasarse los protones. Los líquidos se verán muy brillantes, mientras que la intensidad de grasa y músculos será baja.

### **2.1.2 Ventajas con respecto a otras técnicas**

Aunque el tiempo de obtención de las imágenes de resonancia magnética es muy lento con respecto a otras técnicas, presenta las siguientes ventajas (Álvarez et al., 2012):

- Capacidad multiplanar. Puede obtener cualquier corte o plano.
- Ausencia de efectos nocivos para la salud para campos magnéticos menores de 2'5 T. Aunque existen precauciones para embarazadas y contraindicaciones para personas con marcapasos o cualquier otra prótesis metálica.

- Posee una elevada resolución de contraste y versatilidad para el manejo de este.

### **2.1.3 Equipamiento necesario**

Un equipo de resonancia magnética consta principalmente de una serie de bobinas generadoras del campo magnético y antenas de radiofrecuencia que emiten y recogen la energía del cuerpo. Además, se necesitan equipos auxiliares como un ordenador, capaz de realizar los cálculos computacionales pertinentes para la reconstrucción de las imágenes, y un sistema de visualización de estas.

## **2.2 Formato DICOM**

DICOM (en inglés Digital Imaging and Communications in Medicine) es un estándar de imagen médica digital. Como tal, contiene todas las herramientas necesarias para la representación diagnóstica precisa y el procesamiento de los datos. No es solo un formato de imagen, sino que engloba todo un sistema de transferencia de datos, almacenamiento y protocolo de visualización (Mildenberger et al., 2002).

### **2.2.1 Funcionamiento**

Primero, se guarda al paciente como una entidad IOD (en inglés Information Object Definitions), la cual identifica al sujeto por una serie de parámetros clínicamente relevantes (nombre, número de identificación, sexo, edad, peso, etc.). Estos datos, serán transmitidos y procesados entre varios softwares y dispositivos DICOM conocidos como AEs (en inglés Application Entities). En este caso, tendríamos el scanner de resonancia magnética, el software de archivo digital, el programa de procesamiento de imágenes y una estación con

visualizador DICOM. Estas entidades se comunican entre sí a través de la red (Mildenberger et al., 2002).

DICOM permite, entre otras cosas, una excelente calidad de imagen, gran soporte para diferentes parámetros de adquisición de imágenes y sistemas de codificación de los datos.

### **2.3 Bloqueo interescalénico**

En el campo de la anestesiología, se define la anestesia como la privación más o menos completa de la sensibilidad general, o de la sensibilidad de una región del cuerpo en particular, provocada por un agente anestésico.

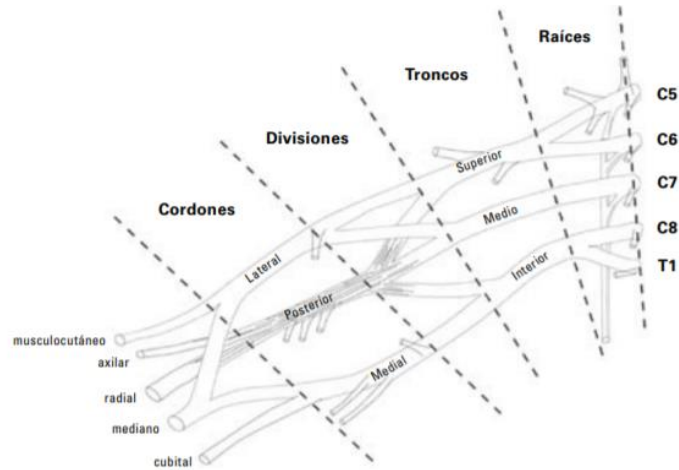
Como se ha descrito al principio, se recurre siempre que sea posible, a la anestesia regional, pues se reduce enormemente el riesgo que supone para el paciente la aplicación de la anestesia general convencional, es decir, con intubación (Mejía-Terrazas et al., 2014).

Uno de los procedimientos de anestesia regional más utilizados actualmente es el denominado bloqueo interescalénico para cirugía de hombro y parte proximal del brazo, el cual consiste en la anestesia troncular del plexo braquial (Sosa et al., 2010).

#### **2.3.1 Anatomía**

Los nervios raquídeos nacen de la médula espinal y salen de la columna vertebral hacia el resto del cuerpo. Al salir, se dividen en dos ramas: la posterior y la anterior. Esta última forma los plexos nerviosos. El plexo braquial está formado por la unión de los nervios raquídeos cervicales, (desde C5 a C8) y torácico T1. En algunos casos, puede existir la contribución de C4 y T2. Las raíces del plexo braquial descienden entre los músculos escaleno anterior y

medio (zona interescalénica) y se unen para formar los troncos nerviosos (Sosa et al., 2010). La figura 2 es una representación de los segmentos del plexo braquial.



**Figura 2.** Segmentos del plexo braquial. Fuente: Sosa Yunes, D., Cacheiro, F., Lassalle, P., Lucchelli, A., Moreno, M., & Bollini, C. (2010). Técnica de bloqueo interescalénico guiado por ecografía. *Rev. argent. anestesiología*, (pp. 187-191).

### 2.3.2 Técnica

En el bloqueo interescalénico, se coloca al paciente en la posición decúbito dorsal, con la cabeza rotada hacia el lado contralateral y el brazo paralelo al cuerpo (Sosa et al., 2010). Esta posición se muestra en la figura 3.



**Figura 3.** Posición del paciente para la técnica de bloqueo interescalénico. Fuente: Elaboración propia.

El abordaje se realiza a la altura del surco interescalénico, donde el plexo braquial se encuentra muy superficial. La idea de cualquier bloqueo es infiltrar los alrededores del tejido nervioso con el anestésico, pero nunca tocarlo. La técnica se realiza normalmente guiada por ecografía y las imágenes obtenidas se verifican mediante neuroestimulación. Es decir, se comprueba que realmente lo que se observa en ellas se corresponde con el nervio esperado. En otras palabras, si tras la electroestimulación aparece una respuesta o contracción del deltoides o bíceps nos encontramos en el tronco superior, mientras que una respuesta del tríceps se correspondería con el tronco medio (Sosa et al., 2010). También se puede aplicar simplemente la neuroestimulación, pero esta carece de las ventajas del proceso eco-guiado como la visualización en tiempo real de los plexos y nervios, de la punta de la aguja, de la difusión del anestésico y de las estructuras vasculares adyacentes (Mejía-Terrazas et al., 2014).

### **2.3.3 Desventajas de la técnica actual**

La gran dificultad de interpretación de las imágenes ecográficas, así como la trasposición de una situación bidimensional (ecografía) a la realidad tridimensional que se lleva a cabo en el proceso eco-guiado, requiere de una gran experiencia del anestesista. Una mínima desviación de la trayectoria de la aguja, que haga que esta salga del plano de la imagen, puede suponer graves riesgos para la salud del paciente como el contacto con estructuras sensibles (vasos sanguíneos) o con los nervios, lo que los lesionaría gravemente.

### **2.4 Reconstrucción tridimensional**

La reconstrucción tridimensional consiste en la elaboración de un modelo virtual en tres dimensiones de un objeto.

### **2.4.1 3D Slicer**

“3D Slicer es una plataforma de software de código abierto para informática médica de imágenes, procesamiento de imágenes y visualización tridimensional” (Recuperado el 26 de mayo de 2020 de: <https://www.slicer.org/>). Es un programa muy adecuado para la reconstrucción tridimensional, pues cuenta con numerosas herramientas de segmentación que permiten la construcción de volúmenes a partir de imágenes médicas en formato DICOM.

### **2.4.2 Segmentación de imágenes**

La segmentación consiste en la localización de objetos en la imagen. Existen diferentes herramientas de segmentación entre la que encontramos la técnica de crecimiento de regiones.

El procedimiento de crecimiento de regiones consiste en la detección de objetos dentro de la imagen a partir de la definición de una semilla, es decir, una región de la imagen que pertenece y originará la estructura que queremos definir. Partiendo de ese conjunto de píxeles y según la permisividad establecida, el algoritmo va ejecutando sucesivos tests de homogeneidad entre los píxeles de la semilla y los píxeles vecinos, que consisten en comprobar si la diferencia de intensidad entre ellos supera el umbral establecido. En caso positivo, ese píxel se descarta como parte del objeto. Si, por el contrario, la diferencia es menor que el umbral, el píxel se añade a la semilla, considerándose así que pertenece al objeto. El algoritmo finaliza cuando ya no se detectan más píxeles que añadir a la semilla y, por tanto, tendremos definida nuestra región dentro de la imagen.

## **2.5 Unity**

Unity es una plataforma de desarrollo para crear juegos multiplataforma y experiencias interactivas 2D y 3D (Recuperado el 26 de mayo de 2020 de: <https://unity3d.com/es/get-unity/download>). Es un programa de acceso libre hasta un determinado número de descargas. Se puede utilizar para desarrollar aplicaciones de realidad aumentada añadiendo ciertos complementos.

## **2.6 Realidad aumentada**

La realidad aumentada agrupa aquellas tecnologías que permiten la superposición en tiempo real de imágenes o información generados virtualmente sobre el mundo real (Telefónica, 2011).

Para desarrollarla necesitamos los siguientes elementos:

- Elemento capturador de las imágenes de la realidad.
- Dispositivo sobre el que proyectar la mezcla de imágenes reales y digitales.
- Procesador que genera la información virtual.
- Elemento activador de la realidad aumentada.

### **2.6.1 Marcadores de realidad aumentada**

Un marcador de realidad aumentada es el elemento real que el dispositivo detecta a través de la cámara y sobre el que proyecta la información generada virtualmente.

## **2.7 Vuforia™**

Vuforia™ es la plataforma más utilizada para el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada. Se suele utilizar de forma conjunta con Unity.



### **2.7.1 Gestión de marcadores**

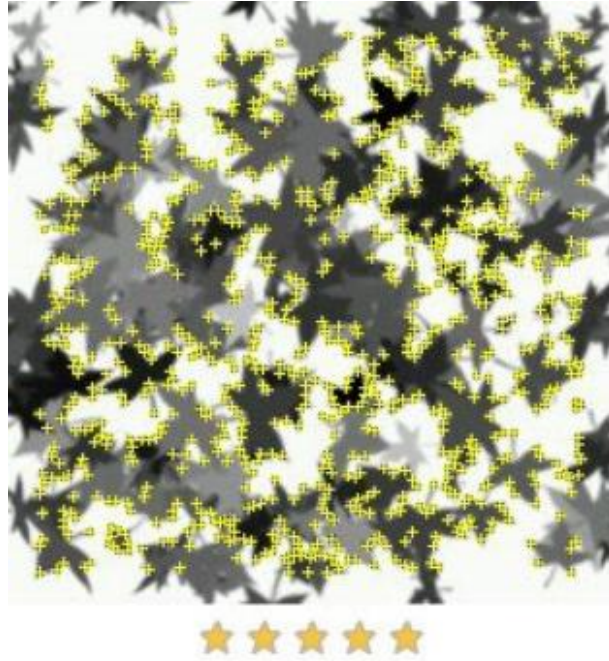
Una de las principales funciones de Vuforia™ a la hora de desarrollar una aplicación de realidad aumentada en Unity es la gestión de los marcadores. Se contemplan tres tipos distintos:

- Marcadores de imagen
- Marcadores de forma: Se permite la definición de cubos o cilindros que no se van a desarrollar en este documento.
- Marcadores de objetos tridimensionales

Estos marcadores se suben a la base de datos del proyecto dentro del portal de desarrolladores de Vuforia™, desde donde se pueden descargar los datos e importarlos directamente a Unity.

### **2.7.2 Marcadores de imagen**

En este caso, se utiliza una imagen bidimensional como marcador de realidad aumentada. Vuforia™ otorga una puntuación a la fotografía según su calidad y la facilidad con la que el programa la detecte. La valoración se lleva a cabo mediante un sistema en el que se establecen una serie de señales, llamadas atributos, en las partes reconocibles de la imagen (figura 4).



**Figura 4.** Sistema de establecimiento de atributos en la valoración de marcadores de imagen en Vuforia™. Fuente: Recuperada el 26 de mayo de 2020 de <https://library.vuforia.com/features/images/image-targets/best-practices-for-designing-and-developing-image-based-targets.html>

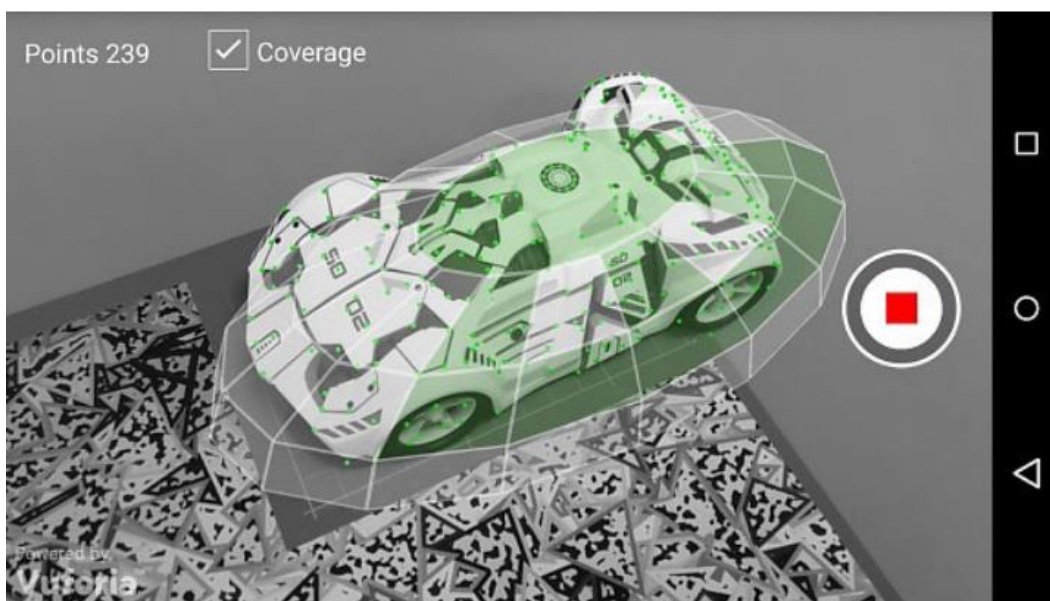
Cuantos más atributos tenga esa imagen, más reconocible será para el programa. Las características que hacen que una imagen sea fácilmente reconocible y, por lo tanto, un buen marcador, son:

- Imagen rica en detalle.
- Con buen contraste.
- Patrones no repetitivos
- Contornos bien definidos: Evitar imágenes con contornos suaves y redondeados.
- Atributos distribuidos homogéneamente por toda la imagen.

Un marcador adecuado facilitará la detección y el funcionamiento de la aplicación de realidad aumentada desarrollada.

### 2.7.3 Marcadores de objetos tridimensionales

Los marcadores de objeto se suelen utilizar cuando la imagen no resulta eficaz como marcador. Se definen a través de la función de reconocimiento de objetos de Vuforia™, la cual permite la detección de un objeto tridimensional real. Para crear este tipo de activador de la realidad aumentada, se utiliza la aplicación “Vuforia Object Scanner”. Es una aplicación Android que permite escanear el objeto deseado utilizando la cámara del dispositivo. Durante el escaneo, el programa va estableciendo una serie de puntos reconocibles del objeto en el espacio tridimensional, de manera que una mayor cantidad de puntos implica un mejor reconocimiento del objeto. En la figura 5 aparece una captura de la aplicación.



**Figura 5.** Captura de la aplicación “Vuforia Object Scanner” en funcionamiento. Fuente: Recuperada el 26 de mayo de 2020 de <https://library.vuforia.com/content/vuforia-library/en/articles/Training/Vuforia-Object-Scanner-Users-Guide.html>

Como se observa en la figura 5 la aplicación va informando al usuario del número de puntos y forma una cúpula que representa en verde las partes ya escaneadas del objeto. El usuario puede jugar con la relación calidad tamaño parando el proceso cuando desee pues, a más puntos, mayor calidad, pero

también se ralentiza el funcionamiento de la aplicación al manejar objetos más grandes.

Una vez terminado el escaneo, se guarda el modelo y se genera un archivo de tipo Objeto (\*.OD) que podremos importar a la base de datos de marcadores de nuestro proyecto. En este caso, Vuforia™ no dispone de una valoración por estrellas para los marcadores de objeto, por consiguiente, es el usuario el responsable de considerar si el número de puntos es suficiente ayudándose del simulador de la aplicación “Vuforia Object Scanner”, que informa de la validez del marcador al mostrar un rectángulo verde cuando el objeto real es reconocido a través de la cámara (figura 6).



**Figura 6.** Captura de la aplicación “Vuforia Object Scanner” durante la simulación de reconocimiento del objeto real. Fuente: Recuperada el 26 de mayo de 2020 de: <https://library.vuforia.com/content/vuforia-library/en/articles/Training/Vuforia-Object-Scanner-Users-Guide.html>

Por si fuera necesario, la aplicación contempla la posibilidad de volver a realizar el escaneo para añadir más puntos al modelo.

Sin embargo, la mayor desventaja de este proceso es que es bastante delicado. En primer lugar, no es conveniente utilizar iluminación directa sobre el objeto.

Sus superficies deben estar iluminadas uniformemente y sin introducir sombras indeseadas. En segundo lugar, el fondo puede introducir características que no forman parte del modelo, por lo que tendrá que ser lo más liso y homogéneo posible. Por último, el giro de la cámara puede también comprometer el escaneo, por lo que se recomienda utilizar un plato giratorio de 360° para evitar el movimiento del dispositivo.

# 3

## Material y métodos

El desarrollo del proyecto se ha dividido principalmente en tres partes. La primera consistió, como cualquier trabajo científico, en la búsqueda de información para aportar una base sólida al proyecto. La segunda parte se centró en la elaboración del modelo tridimensional. Finalmente, partiendo de los resultados obtenidos en la fase anterior, se desarrolló la aplicación de realidad aumentada.

### **3.1 Búsqueda bibliográfica**

El proceso de búsqueda de bibliografía es vital en cualquier proyecto científico y tiene el objetivo de recopilar información relacionada con el tema central del proyecto que se está desarrollando, con el fin de sustentarlo aportando una base científica sólida y fiable.

La revisión bibliográfica inicial se llevó a cabo utilizando las bases de datos PubMed® y Google Scholar. Se buscaron los términos “tridimensional

reconstruction AND anatomy”, “tridimensional modeling AND anatomy”, “anatomy AND 3D Slicer”, “augmented reality AND anatomy”, “augmented reality AND anesthesia” con el fin de cubrir toda la posible bibliografía relacionada con el tema. Debido a la rápida evolución de la tecnología y en un intento de evitar publicaciones obsoletas, se estableció un filtro de fecha, preferentemente posterior a 2015, así como un criterio de ordenación por relevancia para consultar solo publicaciones fiables y rigurosas, que considera principalmente el número de veces que se ha citado el artículo, el prestigio de sus autores y la editorial a la que pertenece.

Inicialmente, encontramos miles de artículos para cada búsqueda, las cuales se redujeron al orden de la centena en trabajos más comunes como el modelado tridimensional, y al orden de la decena para los proyectos sobre anatomía y realidad aumentada, que son claramente más escasos. Escogimos un total de diez publicaciones, entre las que encontramos principalmente proyectos que desarrollaban un sistema de características parecidas al nuestro o publicaciones que revisaban alguna técnica similar ya existente. Como se puede apreciar, no toda la bibliografía consultada cumple el criterio exacto de fecha, bien porque tratan temas teóricos que no se han quedado obsoletos o, en el caso de los artículos de realidad aumentada aplicada a procedimientos anestésicos, porque no se han encontrado artículos de interés posteriores.

Además, se completó la investigación con la realización de una entrevista a un anestesista, que se incluye en los apéndices del documento (apéndice A), el cual aportó nuevas ideas y perspectivas sobre las fases del proyecto y la utilidad real del mismo

## 3.2 Desarrollo del modelo tridimensional

Este bloque de desarrollo del modelo tridimensional se completó a través de dos fases principales.

La primera constituyó la elección del modelo “in vitro”, es decir, la obtención de la resonancia magnética del cuello de un paciente anónimo que fue la base para construir el volumen. Se escogió la modalidad de resonancia magnética por las ventajas de la técnica que se han enumerado previamente y porque permite la personalización de las propias estructuras anatómicas del sujeto. El paciente elegido fue un varón de mediana edad y sus imágenes se extrajeron de la biblioteca pública virtual “The Cancer Imaging Archive” (TCIA).

Posteriormente, pasamos al diseño del modelo tridimensional propiamente dicho que se centró en la reconstrucción de la zona interescalénica del cuello con el fin de simplificar el trabajo lo máximo posible y limitar la reconstrucción a las regiones estrictamente necesarias. El modelo se generó en el programa 3D Slicer, el cual permite el procesamiento del formato DICOM, la visualización de las imágenes y la creación de los volúmenes deseados.

La base del diseño del modelo tridimensional fue la segmentación de las imágenes en las diferentes estructuras de interés, a partir de las cuales, el programa construyó los volúmenes. Se utilizó primero un proceso bruto de segmentación de crecimiento de regiones para tratar de identificar cada una de las estructuras y después pasamos a concretar la definición de cada una de las estructuras manualmente.

3D Slicer contempla la aplicación del algoritmo de crecimiento de regiones dentro de la función de segmentación. No obstante, requiere de un mínimo de dos semillas para ejecutarse. Se puede entonces definir dos regiones a la vez o, si



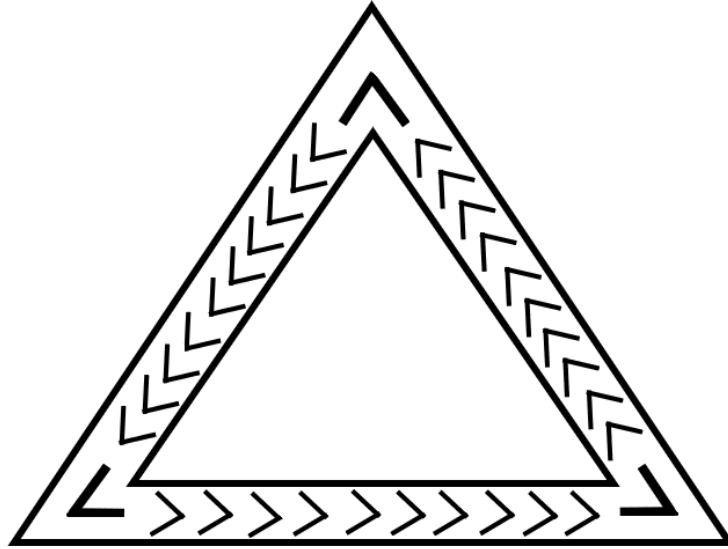
se desea elaborar cada estructura individualmente, escoger una semilla de contorno con el fin de delimitar la región de interés y luego borrarla. La definición de semillas se llevó a cabo seleccionando los píxeles que las formaban utilizando las herramientas de dibujo del programa. Al terminar la ejecución del algoritmo, aparecieron las regiones de interés marcadas con mayor o menor exactitud según la calidad de los tejidos o de la propia resonancia. Por ello, el proceso final consistió en corregir manualmente los segmentos utilizando esas mismas funciones de dibujo. Como el programa trabaja en los tres planos anatómicos a la vez durante la segmentación, la reconstrucción tridimensional se realiza automáticamente una vez definidos los segmentos en todos los cortes y planos anatómicos.

Para finalizar, se guardó el volumen obtenido como un objeto tridimensional con extensión \*.OBJ para exportarlo posteriormente a Unity como parte de la escena.

### **3.3 Desarrollo de la aplicación de realidad aumentada**

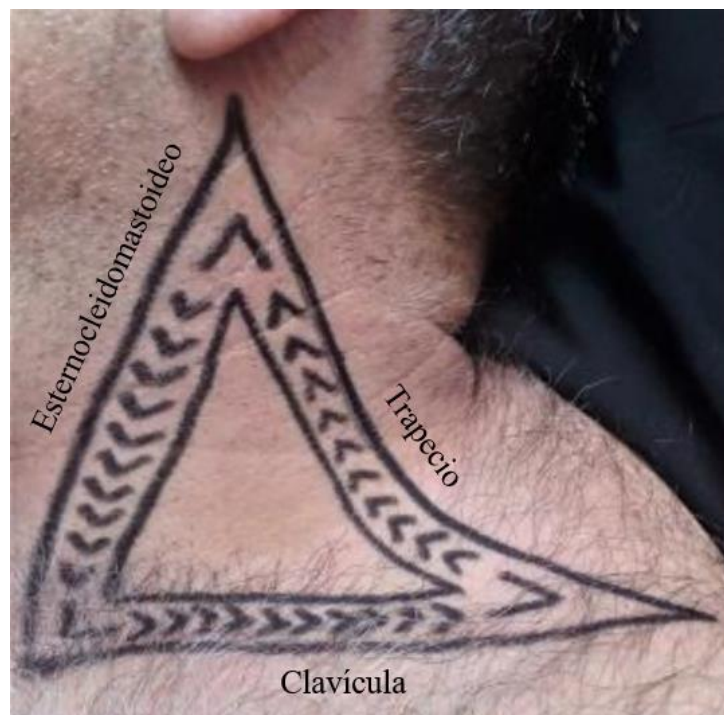
El primer paso en el desarrollo de la aplicación de realidad aumentada fue la definición de los marcadores. La gestión de los marcadores se llevó a cabo utilizando la plataforma Vuforia™.

La fotografía del cuello del paciente no cumplía con las características previamente especificadas para un marcador de imagen, ya que este posee contornos redondeados y suaves, sin ninguna clase de detalle y con muy poco contraste, lo que hacía prácticamente imposible su reconocimiento. Por ello, se utilizó como marcador de imagen un patrón específico (figura 7) dibujado sobre la piel que sí reunía las características necesarias para ser reconocido fácilmente.



**Figura 7.** Patrón dibujado sobre el cuello del paciente utilizado como marcador de imagen de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.

La realización del dibujo estuvo guiada por la anatomía del paciente, situándose sobre el triángulo formado por los músculos esternocleidomastoideo y trapecio, y clavícula, como se muestra en la figura 8. Sobre este, se proyectó el modelo tridimensional elaborado en el paso anterior.



**Figura 8.** Colocación del patrón utilizado como marcador de imagen de la realidad aumentada sobre el cuello del paciente. Fuente: Elaboración propia.

El caso de la aguja supuso una serie de consideraciones iniciales. Primero, que gran parte de ella desaparecería al introducirse en el paciente. Por ello, se utilizó como parte reconocible la sonda que permanece fuera durante la inyección. Segundo, que durante el proceso va a estar continuamente moviéndose, cambiando de superficie y posición para realizar satisfactoriamente su cometido. Por tanto, se decidió utilizar un marcador de objeto tridimensional en lugar de un marcador de imagen porque, aunque aumenta considerablemente el tamaño de la aplicación, posee mucho más detalle y permite el reconocimiento del objeto desde diferentes ángulos. Sobre el marcador tridimensional, se proyectó un cilindro creado virtualmente para simular a la aguja real.

En segundo lugar, pasamos a establecer la configuración de la escena en Unity y la adición de complementos. Es decir, se definieron todos los atributos y configuraciones pertinentes para el funcionamiento correcto de la realidad aumentada.

A continuación, se importaron los objetos necesarios a la escena, como el volumen tridimensional del cuello y los marcadores, y se llevó a cabo el propio desarrollo del sistema utilizando los recursos de Unity.

La parte correspondiente a la utilización de la interfaz de Unity consistió principalmente en la colocación de los objetos en la escena con respecto a sus marcadores, definiendo así la posición que ocuparán luego en la realidad aumentada, y en la definición correcta de las jerarquías marcador-objeto para posibilitar la activación del objeto cuando el marcador es reconocido.

Además, se añadieron distintos menús para crear una interfaz de usuario fácil e intuitiva para la aplicación Android mediante la elaboración de códigos

adicionales en C# en Microsoft Visual Studio. Todos estos códigos se recogen en los apéndices del documento (apéndice B).

El último paso, constituyó la verificación del funcionamiento del sistema. El hecho de haber desarrollado una aplicación Android, facilitó la realización de dichas pruebas, pues esta pudo instalarse de forma sencilla en un dispositivo móvil compatible. Necesitamos, además, un sujeto con características parecidas a las del individuo de la resonancia sobre el que proyectar la realidad aumentada. Dicho sujeto fue un varón de aproximadamente la misma edad que el paciente en cuestión. Los tests realizados fueron encaminados a probar la correcta escala del cuello sobre el modelo “in vivo”, el reconocimiento de la aguja y el desempeño general del sistema. En los apéndices del documento (apéndice C), se añaden una serie de vídeos explicativos en los que se describe claramente el proceso y se demuestra el funcionamiento de la aplicación.

### **3.4 Material utilizado**

En resumen, durante el transcurso del proyecto se ha utilizado:

- Programa 3D Slicer 4.10.2.
- Plataforma Vuforia™ 9.0.12.
- Programa Unity 2019.3.10f1.
- Programa Visual Studio 2017.
- Ordenador con sistema operativo Windows 10 y procesador Intel CORE i7, es decir, se necesita un ordenador compatible con las versiones especificadas de los programas.
- Dispositivo móvil con sistema operativo Android 4 o superior.



# 4

## Resultados

En este capítulo se presentan los resultados de las fases del proyecto que van destinadas a la consecución de los objetivos planteados.

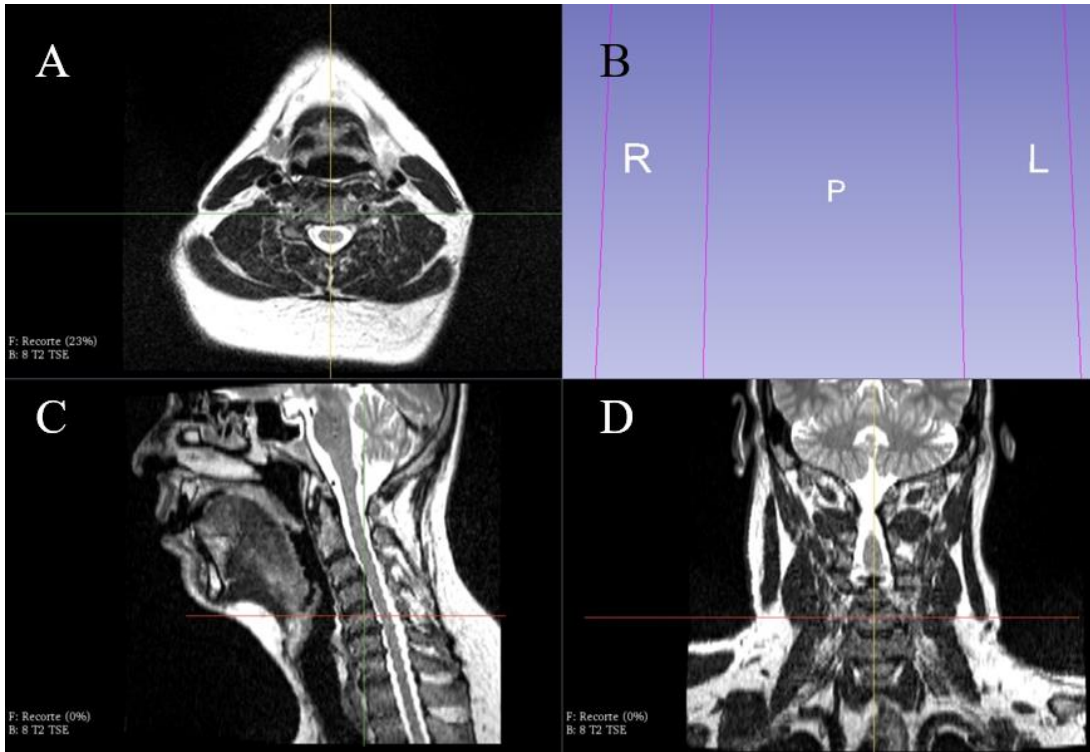
### **4.1 Reconstrucción del modelo tridimensional**

En la reconstrucción tridimensional, partiendo de la resonancia magnética, se siguió un proceso de reconocimiento de los distintos tejidos que culminaba con la segmentación de las estructuras de interés. Fue difícil escoger una resonancia magnética sin la posibilidad de realizar una totalmente personalizada. En primer lugar, obtuvimos dos resonancias magnéticas de adultos, cuya calidad no permitía la percepción correcta de las estructuras, ya que contenían artefactos de movimiento, no se centraban la mayor resolución en la zona interescalénica o eran versiones simplificadas que no permitían la reconstrucción. En segundo lugar, recurrimos a varias exploraciones de niños, donde se potenció la visualización del plexo, pero dejando de lado al resto de estructuras. Además, eran resonancias tomadas en un solo plano anatómico y que reconstruían el

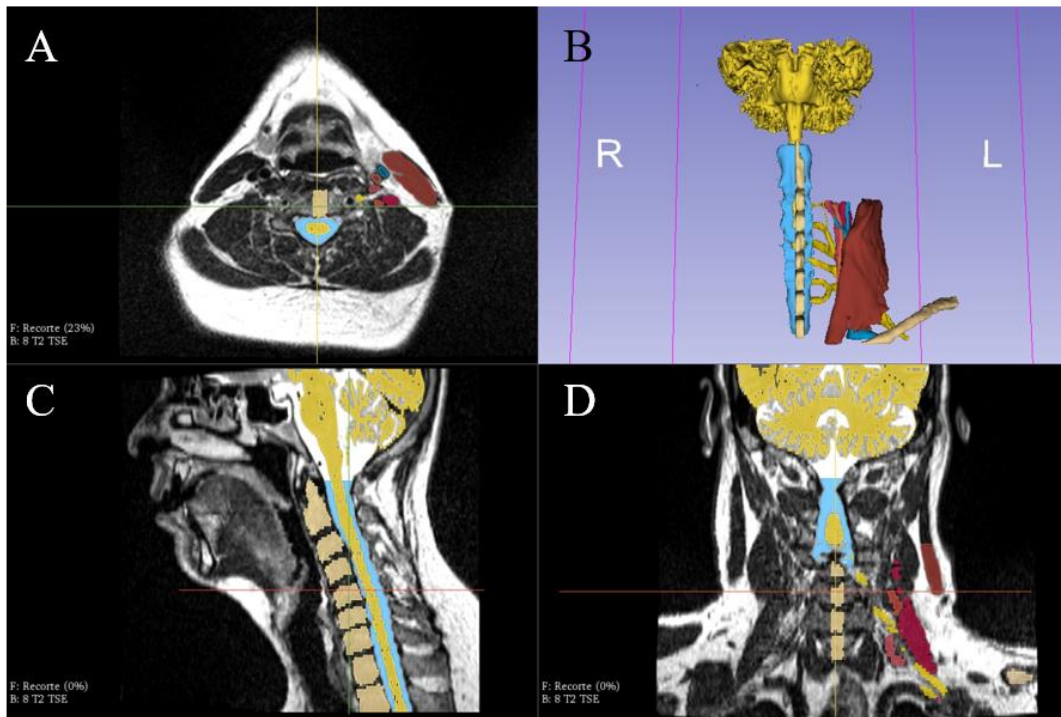
resto a partir de este, lo que, una vez más, hacía que la resonancia no tuviera suficiente calidad para el modelado. Asimismo, el hecho de pertenecer a niños recién nacidos hubiera complicado extremadamente el posterior proceso de prueba de la aplicación de realidad aumentada al no disponer de un modelo “in vivo” semejante. Por eso, finalmente se decidió realizar una búsqueda en bibliotecas públicas de imágenes médicas que culminó con la elección de la resonancia magnética utilizada.

En la figura 9 se observa la interfaz del programa con la resonancia magnética en bruto, mientras que en la figura 10 se muestra el mismo corte anatómico con el proceso de segmentación ya realizado y el volumen reconstruido.

Se consideró únicamente la reconstrucción de una de las mitades del cuello para simplificar el proceso porque normalmente el bloqueo interescalénico se realiza en un solo lado. Si se requieren ambos, se puede considerar el ya realizado como simétrico.



**Figura 9.** Interfaz del programa 3D Slicer con la resonancia magnética del paciente a la altura de la vértebra C5. **A.** Corte axial. **B.** Ventana de visualización tridimensional con las referencias de posición R (derecha), L (izquierda) y P (posterior). **C.** Corte sagital. **D.** Corte coronal. Fuente: Elaboración propia.

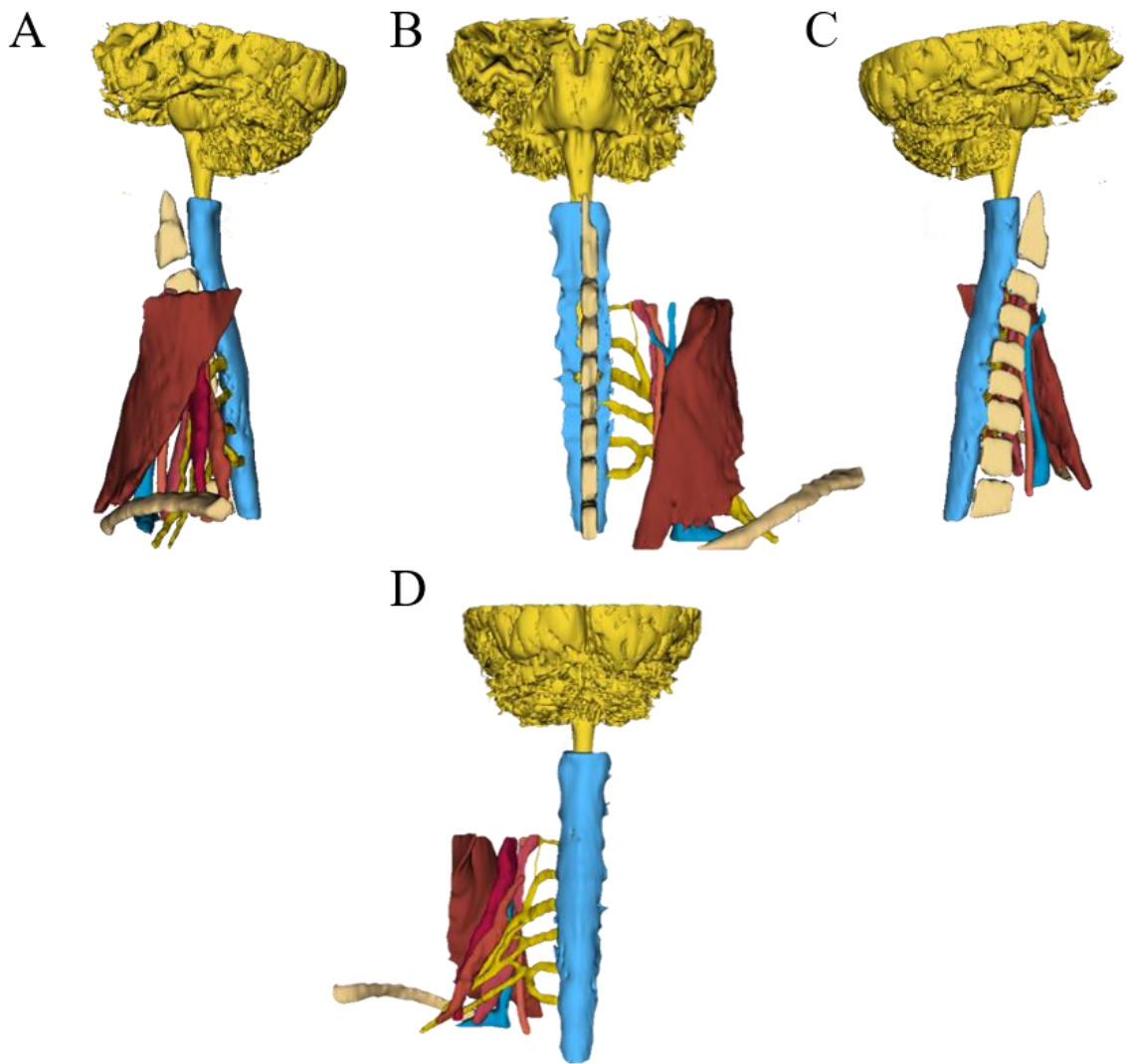


**Figura 10.** Interfaz del programa 3D Slicer que muestra el resultado de la segmentación sobre el corte anatómico realizado a la altura de la vértebra C5 y la reconstrucción del volumen asociado. **A.** Corte axial. **B.** Reconstrucción tridimensional del modelo. **C.** Corte sagital. **D.** Corte coronal. Fuente: Elaboración propia.



El diseño en volumen de las estructuras de interés se centró inicialmente en la zona interescalénica del cuello. Sin embargo, durante el posterior proceso de prueba de la aplicación, se detectó una enorme dificultad a la hora de escalar este primer volumen sobre nuestro modelo, por lo que se añadieron algunas estructuras complementarias que ayudaron a la orientación del mismo. Las estructuras diseñadas fueron entonces, las que forman la zona interescalénica propiamente dicha, compuesta por los músculos escalenos anterior, medio y posterior. Entre el músculo anterior y el medio encontramos el plexo braquial. Como estructuras complementarias, se añadieron las venas yugular y subclavia y la arteria carótida, por su importancia, y el músculo esternocleidomastoideo y la clavícula para posibilitar la triangulación del modelo en el establecimiento de la posición. Para facilitar el escalado del volumen sobre el paciente se añadieron también la médula, tronco del encéfalo, mesencéfalo, cerebelo, cara inferior del telencéfalo, el saco dural y una porción de los cuerpos vertebrales.

La reconstrucción se centró en el corte axial por la mayor facilidad para identificar las estructuras y su mayor calidad de imagen. Al reconstruir en tres dimensiones cada uno de los segmentos, se obtuvo el volumen deseado que aparece en la figura 11, el cual representa las estructuras anatómicas previamente mencionadas.



**Figura 11.** Reconstrucción tridimensional de las estructuras de interés del cuello del paciente, realizada con el programa 3D Slicer a partir de una resonancia magnética. **A.** Vista lateral derecha. **B.** Vista anterior. **C.** Vista lateral izquierda. **D.** Vista posterior. Fuente: Elaboración propia.

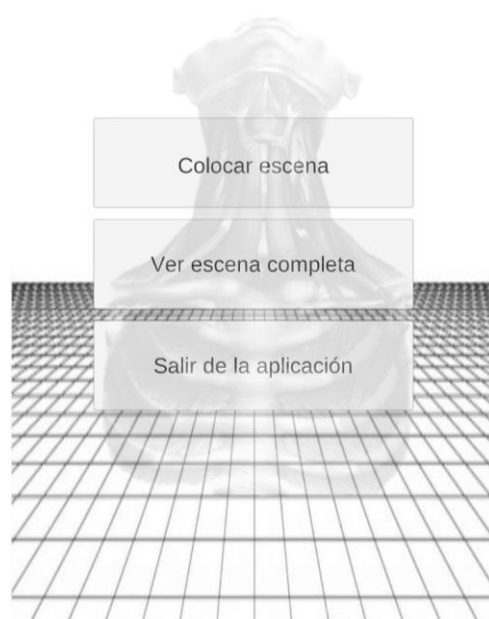
Los colores escogidos fueron los establecidos por 3D Slicer según el tejido al que pertenecía la estructura en cuestión. Se utilizó el amarillo para las estructuras nerviosas (médula espinal, tejido cerebral y plexo braquial), azul para venas y líquido cefalorraquídeo y rojo para arterias y músculos. Se modificó ligeramente el color de los músculos para facilitar la distinción entre ellos.

## 4.2 Desarrollo de la aplicación de realidad aumentada

El proyecto en Unity para la aplicación de realidad aumentada se dividió principalmente en tres escenas y su funcionamiento se explica detalladamente en el manual de usuario recogido en el apéndice C.

### 4.2.1 Primera escena de la aplicación de realidad aumentada

La primera escena se corresponde con el menú principal de la aplicación, el cual permite el movimiento por las otras escenas y la salida de la aplicación (figura 12). Para el diseño de esta escena en Unity se añadió un canvas, que permite la creación de la interfaz de usuario, sobre el que se colocaron tres botones, dos de los cuales permiten la navegación (“Colocar escena”, “Ver escena completa”) mediante el fragmento de código de la figura 13, y un último que sirve para cerrarla (“Salir de la aplicación”). También se añadieron distintas imágenes al fondo para hacerla más atractiva para el usuario. El funcionamiento de esta primera escena y su relación con las demás mediante el accionamiento de los botones, se explica en el diagrama de flujo de la figura 14.



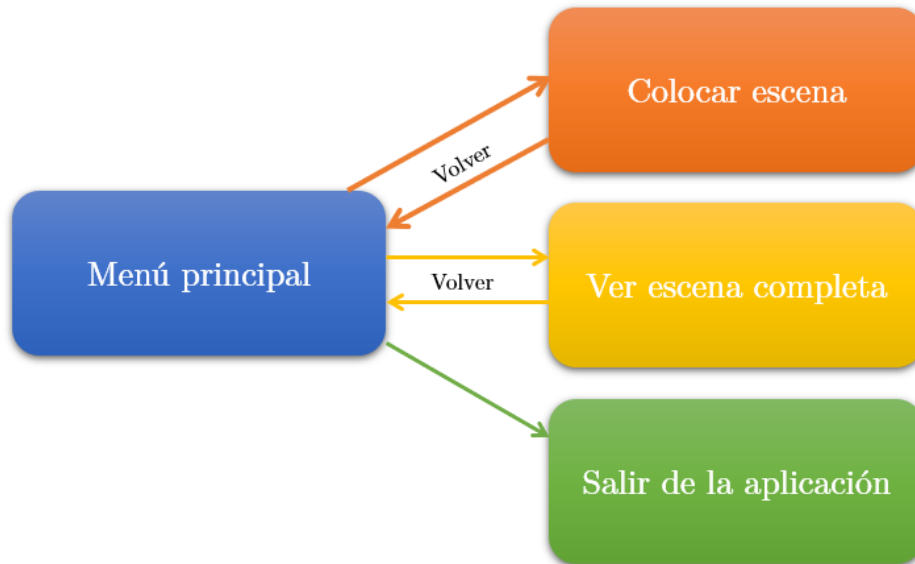
**Figura 12.** Menú principal de la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.

```

public void Pulsar()
{
    SceneManager.LoadScene("MovimientoCuello");
}

```

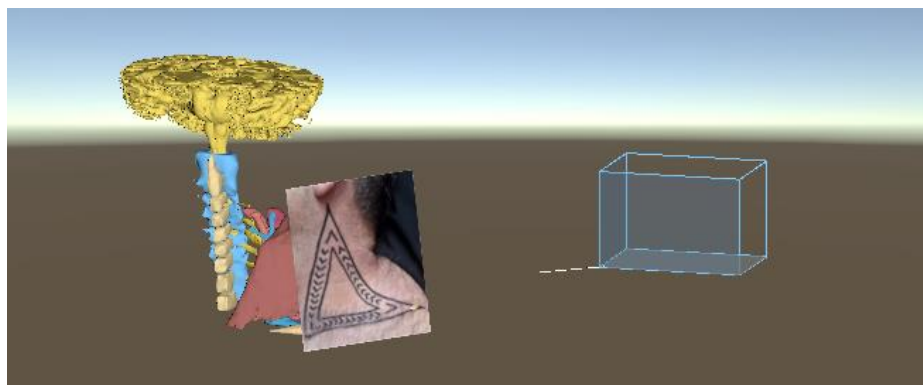
**Figura 13.** Fragmento de código elaborado en C# para el cambio de escena en la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 14.** Diagrama de flujo que muestra la relación del menú principal con las demás escenas de la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.

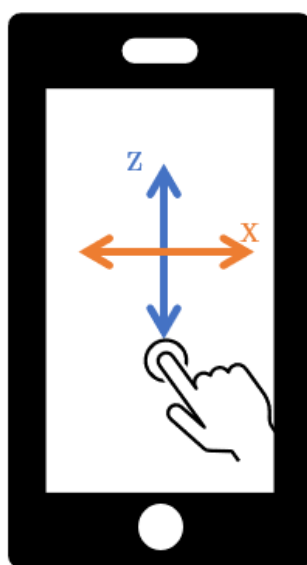
#### 4.2.2 Segunda escena de la aplicación de realidad aumentada

La segunda escena es la de colocación del volumen del cuello (“Colocar escena”), que es la primera que va a ofrecer realmente la realidad aumentada y, por eso, se diseñó tal y como se muestra en la figura 15.



**Figura 15.** Escena en Unity. A la izquierda, aparece el modelo tridimensional del cuello sobre el marcador de imagen y a la derecha encontramos el marcador tridimensional y la aguja virtual. Fuente: Elaboración propia.

Esta es la escena más compleja de las tres, pues contiene diversas opciones que el especialista puede utilizar para personalizar la aplicación a su gusto. La primera función que encontramos es la que permite, mediante el desplazamiento del dedo por la pantalla de la forma que se muestra en el esquema de la figura 16, cambiar ligeramente la posición del volumen del cuello para corregir posibles errores en su definición durante el diseño de la aplicación. Esta función fue implementada con el fragmento de código que se muestra en la figura 17.



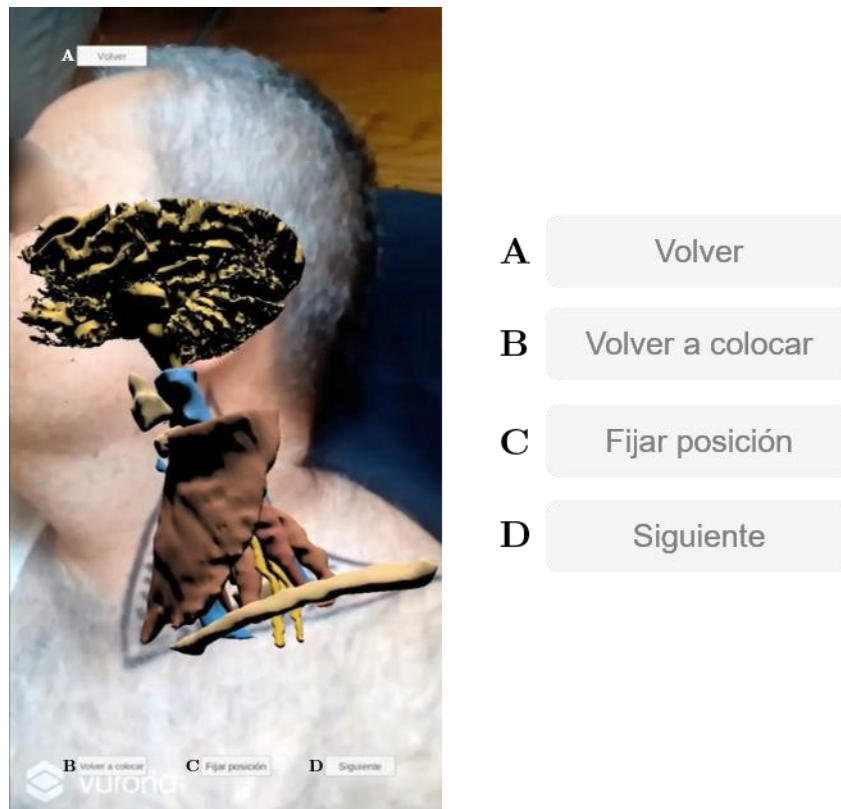
**Figura 16.** Esquema del deslizamiento del dedo por la pantalla del dispositivo con la aplicación de realidad aumentada y el consecuente movimiento del volumen con respecto a los ejes. Fuente: Elaboración propia.

```
if (Input.touchCount > 0)
{
    touch = Input.GetTouch(0);

    if(touch.phase == TouchPhase.Moved)
    {
        transform.position = new Vector3(
            transform.position.x + touch.deltaPosition.x * speedModifier,
            transform.position.y,
            transform.position.z + touch.deltaPosition.y * speedModifier);
    }
}
```

**Figura 17.** Fragmento de código elaborado en C# para el movimiento del volumen del cuello dentro de la opción “Colocar escena” de la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.

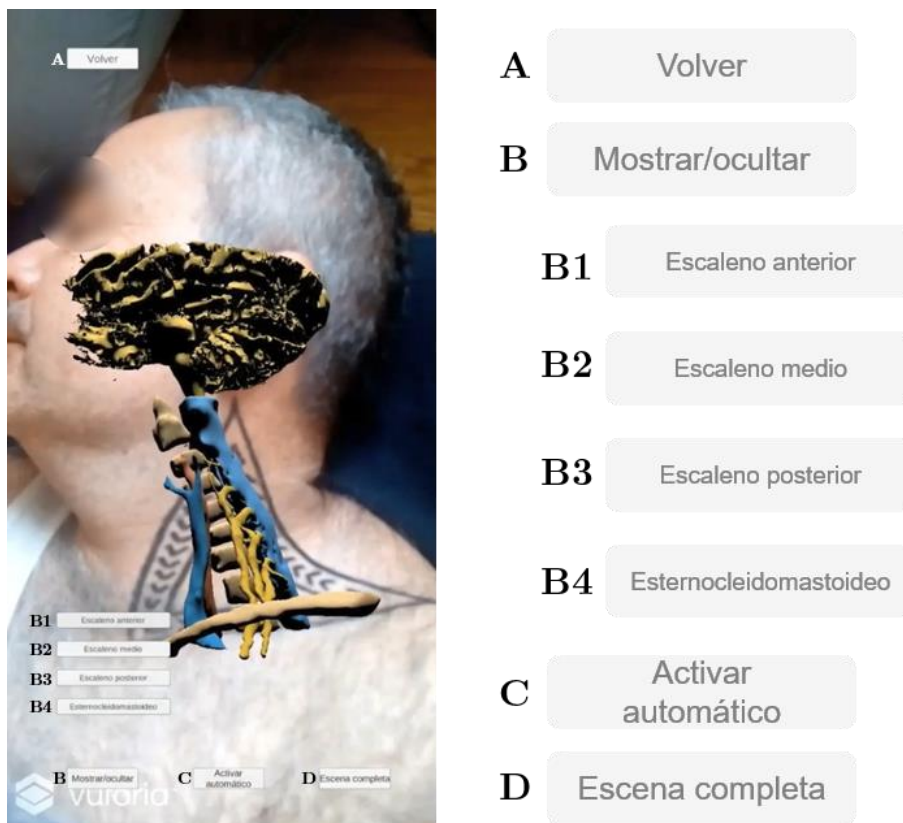
A parte del código, se tuvo que añadir al volumen un componente de cuerpo rígido para que fuera considerado como un objeto sujeto a las físicas reales que, aunque no se ve afectado por la gravedad, sí que puede moverse. Al igual que en el menú principal, se añadió una interfaz de usuario que permite fijar la posición, es decir, desactivar la opción de movimiento para impedir cualquier desplazamiento indeseado una vez colocado, y un botón “Volver a colocar” que reactiva esa función. Por último, el botón “Siguiente” da paso a la próxima opción de la escena. Todo esto está representado mediante capturas de la propia aplicación en la figura 18.



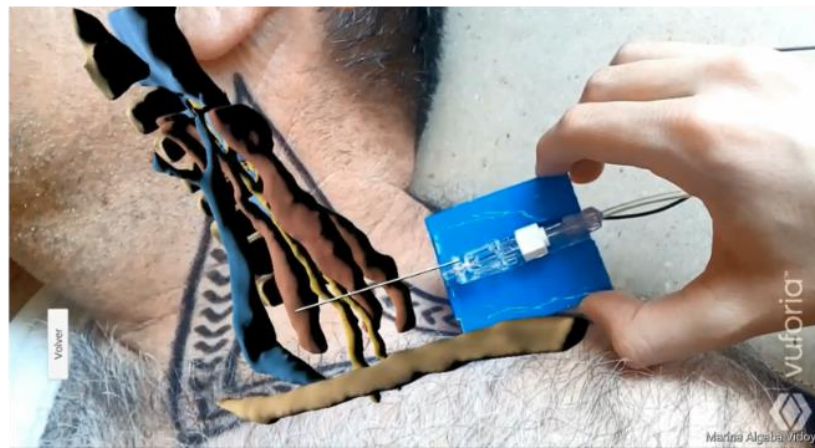
**Figura 18.** Captura de la primera función de colocación del volumen dentro del modo “Colocar escena” en la aplicación de realidad aumentada y el correspondiente aumento de sus botones. **A.** Botón “Volver”. **B.** Botón “Volver a colocar”. **C.** Botón “Fijar posición”. **D.** Botón “Siguiente”. Fuente: Elaboración propia.

La siguiente opción dentro de la escena (figura 19), permite la modificación manual de la visualización de los músculos con el botón “Mostrar/ocultar”, que despliega una serie de botones para cambiar la visualización de los músculos

correspondientes. Si, en vez de esto, se desea la desaparición automática del músculo esternocleidomastoideo al ser tocado por la aguja, como se enseña en la figura 20, bastará con pulsar el botón “Activar automático”, que activará la función implementada a través de un sistema de colisiones programado como aparece en la figura 21. El código se complementó con unos mensajes en pantalla para comprobar su correcto funcionamiento por consola. Del mismo modo que antes, habrá que añadir un componente de cuerpo rígido tridimensional a alguno de los dos objetos de la colisión (aguja virtual o esternocleidomastoideo) para permitir la física de estos y un componente de colisión con la forma de cada objeto que defina el espacio que ocupan y, por tanto, cuando colisionan.



**Figura 19.** Captura de la segunda función de modificación de la visualización de los músculos dentro del modo “Colocar escena” en la aplicación de realidad aumentada y el correspondiente aumento de sus botones. **A.** Botón “Volver”. **B.** Botón “Mostrar/ocultar”. **B1.** Botón “Escaleno anterior”. **B2.** Botón “Escaleno medio”. **B3.** Botón “Escaleno posterior”. **B4.** Botón “Esternocleidomastoideo”. **C.** Botón “Activar automático”. **D.** Botón “Escena completa”. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 20.** Captura del funcionamiento del modo automático de desaparición del músculo esternocleidomastoideo de la segunda función de modificación de la visualización de los músculos dentro del modo “Colocar escena” en la aplicación de realidad aumentada. En la imagen superior se muestra el momento anterior a la colisión y la imagen inferior representa el volumen del cuello tras la colisión con la correspondiente desaparición del músculo. Fuente: Elaboración propia.

```

void OnCollisionEnter(Collision collision)
{
    Debug.Log("Collision detected");
}

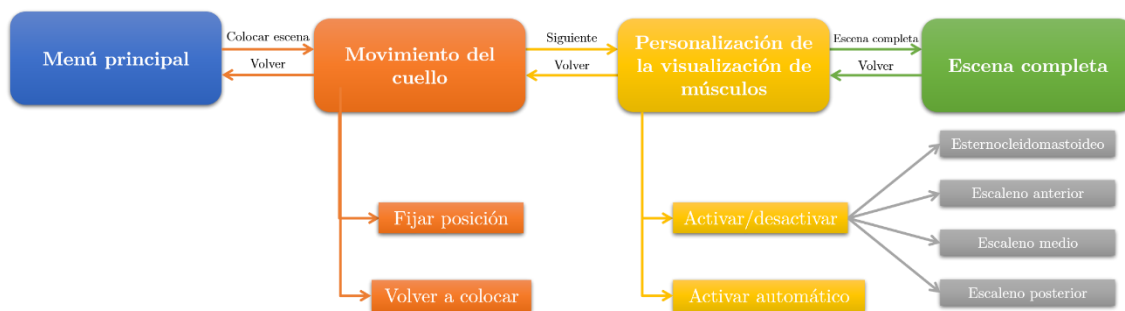
void OnCollisionStay(Collision collision)
{
    Debug.Log("Collision staying");
    esternocleidomastoideo.SetActive(false);
}

```

**Figura 21.** Fragmento de código elaborado en C# para la desaparición automática del músculo esternocleidomastoideo ante la detección de una colisión con la aguja virtual y los correspondientes mensajes en consola, del modo automático de la opción para personalizar la visualización de los músculos de la escena “Colocar escena”. Fuente: Elaboración propia.



Encontramos también los botones “Volver” y “Siguiente” que nos llevan a la función anterior de movimiento del cuello o a la escena completa, respectivamente. La escena completa muestra la interacción del cuello y la aguja con los modos anteriormente seleccionados. Para clarificar el funcionamiento de esta última escena, se elaboró el diagrama de flujo de la figura 22, que resume las distintas opciones y la relación entre ellas a través de los botones.



**Figura 22.** Diagrama de flujo que muestra el funcionamiento de la escena “Colocar escena” de la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3 Tercera escena de la aplicación de realidad aumentada

Finalmente, el modo “Ver escena completa” ofrece la aplicación tal y como se diseñó y como aparece en “Escena completa” de “Colocar escena”, pero sin posibilidad de realizar ninguna modificación (figura 23).



**Figura 23.** Visualización de la escena completa con la interacción de la aguja virtual y el volumen del cuello. Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Pruebas realizadas

La realización de las pruebas pretendía detectar posibles errores en el sistema para llevar a cabo su corrección. Como era de esperar, se detectaron distintos problemas que se detallan a continuación y que supusieron algunos cambios en el diseño inicial.

Teniendo en cuenta que los marcadores tienen que cumplir una serie de requisitos, comenzamos utilizando como paciente sobre el que proyectar el modelo tridimensional, a una mujer aproximadamente de la misma edad que el paciente de la resonancia magnética, porque la mayor definición del cuello de esta facilitaba el proceso de reconocimiento o su utilización como marcador. Sin embargo, resultó imposible escalar y encajar correctamente el volumen del cuello obtenido mediante la resonancia a este modelo femenino, por lo que se descartó y se sustituyó por el modelo varón. La menor definición del cuello masculino se solventó dibujando sobre la piel el marcador descrito en la figura 7. A pesar de ello, se detectó una enorme dificultad a la hora de establecer el tamaño y posición del volumen inicial sobre el nuevo modelo por lo que, como se explicó previamente, se añadieron algunas estructuras complementarias.

La segunda dificultad que se nos presentó fue un problema de no interacción entre la aguja virtual y el volumen del cuello, el cual implicaba que, aunque según la posición establecida en la escena de Unity la aguja y el volumen se encontraban en el mismo espacio, luego durante las pruebas la aguja virtual no atravesaba realmente el cuello cuando tenía que hacerlo. Además, encontramos otro problema de funcionamiento en la detección de las colisiones para el sistema automático.

Nos movimos entonces a una nueva escena más sencilla en Unity formada por simples objetos tridimensionales proporcionados por el programa, donde se estuvo probando tanto el problema de no interacción como el de la colisión.

El problema de la no interacción se debía al establecimiento al azar del parámetro de anchura a uno en la definición del marcador de imagen, lo que se traducía a que la medida real del dibujo era supuestamente de un metro. Esto confundía al sistema haciéndole pensar que el marcador era mucho más grande de lo que era en realidad y, por eso, aunque en la realidad los dos objetos estaban físicamente en el mismo espacio, la aplicación no lo consideraba así. Bastó entonces con cambiar el valor de la anchura en la definición del marcador de imagen a la medida real del dibujo.

Para el mal funcionamiento del sistema de colisiones, nos dimos cuenta de que solo funcionaba cuando se permitía la gravedad en los objetos virtuales, pero esto no nos interesaba, porque entonces desaparecen de la escena o cambian su posición arbitrariamente. Para resolverlo, tuvimos que cambiar la configuración de la física que viene por defecto y que solo permite las colisiones entre objetos cinemáticos (a los que si les afecta la gravedad) a objetos no cinemáticos.

Cabe destacar que el funcionamiento de la aplicación durante las pruebas estuvo enormemente limitado por la falta de infraestructuras luminosas artificiales, fijas y suficientemente potentes, por lo que las fluctuaciones de luz natural impidieron en innumerables ocasiones, el correcto reconocimiento de los marcadores.

Por último, durante las primeras pruebas, costó bastante la correcta detección de los marcadores durante la simulación del proceso de bloqueo interestelar por lo que se hicieron las propuestas que se enumeran a continuación.

Uno de los principales problemas estaba en la detección de la sonda para la activación de la aguja virtual. Aunque el marcador de objeto tridimensional aumentó considerablemente la detección de la aguja, no resultaba del todo eficaz cuando esta se movía por el espacio y cambiaba la textura del fondo durante la simulación, por eso se acopló una superficie fija debajo de ella que evitaba el continuo movimiento de la aguja y la pérdida del marcador.

Con el fin de optimizar el funcionamiento de la aplicación, inicialmente se diseñó el modo “Colocar escena” para impedir la activación de la aguja desde un primer momento, es decir, centrar primero al programa en el cuello y, en la escena completa, añadir la aguja. No obstante, esto dificultaba gravemente el reconocimiento de ambos objetos a la vez, por lo que se descartó finalmente la idea.

También se intentó desarrollar una especie de sistema que permitiera, una vez colocado correctamente el volumen del cuello, “desligarlo” de alguna forma del marcador para que mantuviera su posición durante el movimiento de la cámara. Sin embargo, esto también se descartó porque no funcionaba como queríamos, ya que el volumen simplemente mantenía su posición, pero se movía con la cámara como cualquier objeto bidimensional, sin respetar su posición en el espacio tridimensional real.



# 5

## Discusión

Tras la exposición de los resultados del modelo tridimensional de la zona interescalénica de un cuello humano y su posterior utilización en una aplicación de guiado del proceso de bloqueo interescalénico mediante realidad aumentada, se procede a realizar en este apartado una discusión para consolidar, analizar y contrastar lo obtenido, que a su vez suponga una futura línea para nuevas investigaciones.

### **5.1 Discusión sobre la reconstrucción del modelo tridimensional**

Entre los objetivos que se planteaban en este proyecto, incluíamos la realización de una reconstrucción de la zona interescalénica de un cuello humano por planos de disección a partir de una resonancia magnética utilizando programas de diseño 3D.

Hoy en día, si se cuenta con el personal, infraestructuras y equipamiento necesarios, puede solicitarse directamente al radiólogo la prueba requerida, lo

que permitiría que, en nuestro caso, la exploración de resonancia magnética estuviera realizada desde el primer momento seleccionando los parámetros adecuados para ver con la máxima claridad unas u otras estructuras y, además, se podrían usar las unidades de trabajo de la propia estación radiológica para aumentar la resolución espacial en las zonas de interés.

La imposibilidad de llevar a cabo este proceso personalizado de la obtención de la imagen médica ha supuesto uno de los principales problemas a los que nos enfrentamos, ya que, a diferencia de Ott et al., 2020 y Domínguez et al, 2016 que poseen resonancias magnéticas totalmente específicas para el tipo de tejido que quieren diseñar, no dispusimos de los medios necesarios para obtener resonancias magnéticas que se centraran en las zonas de interés. En nuestro caso, además de complicarse enormemente el diseño y localización del plexo braquial sobre nuestra resonancia, no se pudo realizar, por ejemplo, el volumen completo de las vértebras porque la mala calidad de imagen lo impedía y, diseñarlas enteras, hubiera supuesto demasiado esfuerzo sin aportar nada realmente a su cometido, que era la mejor localización de las raíces nerviosas cervicales.

A esto hay que unirle, que nuestra reconstrucción se basa en el modelado de tejidos de diversa naturaleza y características (nervioso, muscular, vascular y óseo), lo que puede complicar que todos queden resaltados con suficiente calidad a través de una resonancia magnética. Al contrario que Ott et al., 2020, Domínguez et al., 2016 y Siemionow et al., 2020 que se centran respectivamente en tejido hepático, líquido cefalorraquídeo de los ventrículos cerebrales y tejido óseo de las vértebras lumbares, lo que optimiza aún más su proceso de diseño tridimensional.

Aunque la resonancia magnética totalmente personalizada, no fuera capaz de mostrar todos los tejidos implicados en este proyecto con la máxima intensidad, el proceso mejoraría enormemente. Primero, porque podríamos ajustar la calidad máxima de la resonancia al elemento principal (plexo braquial) y supeditar el resto de las estructuras a esta. Segundo, porque podríamos utilizar al mismo sujeto de la resonancia en las pruebas de la aplicación de realidad aumentada, pero esto se detallará más adelante. Aun así, se podrían explorar nuevas opciones de imagen médica como expone Chhabra et al., 2013 que afirma que la neurografía por resonancia magnética, que es una modificación de la técnica que se centra en la visualización directa de los nervios del cuerpo, es la mejor opción para mostrar el plexo braquial y sus ramas.

En cuanto a la herramienta 3D Slicer, de la misma forma que Domínguez et al., 2016, nos basamos principalmente en el plano axial de la resonancia magnética para la reconstrucción y dividimos el proceso de segmentación en un primer paso automático utilizando el algoritmo de crecimiento de regiones, seguido de una segmentación manual. Para el crecimiento de regiones, estos autores utilizaron también dos semillas. Una que definía el líquido cefalorraquídeo de los ventrículos cerebrales y otra que representaba el fondo, como hicimos nosotros para la definición de cada una de las estructuras individualmente. La diferencia es que Domínguez et al., 2016 pudieron utilizar diferentes herramientas manuales, a parte de la segmentación seleccionando píxel a píxel con la herramienta de dibujo, como la selección de píxeles adyacentes con las mismas características o estableciendo un rango de intensidad y cogiendo los que cumplen la condición, técnicas que, en nuestro caso, no resultaron satisfactorias por la peor calidad de nuestra resonancia magnética en los tejidos más complejos. Otra cuestión que no nos planteamos, fue la adición de complementos a 3D Slicer que facilitaran la segmentación, como hicieron



Domínguez et al., 2016 que utilizaron la extensión EM Segmentation Pipeline (Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA) que automatiza algo más el proceso de separación en las distintas estructuras anatómicas.

El uso de otra aplicación como Blender, no especialmente dirigida al diseño tridimensional a partir de imagen médica, no hubiera funcionado en nuestras circunstancias porque, aunque a Andayani et al., 2019 les proporcionó resultados satisfactorios en el diseño tridimensional del intestino, tuvieron que realizar el modelado a partir de las imágenes de un atlas de anatomía y no de imágenes médicas, ya que Blender no dispone de procesador de este tipo de imágenes.

Domínguez et al., 2016 expone plataformas alternativas concebidas para imagen médica y gratuitas como Osirix o Amira, pero prefiere la utilización de 3D Slicer por su interfaz intuitiva, su convertidor DICOM y la posibilidad de modificar y superponer diferentes escenas y volúmenes.

## **5.2 Discusión sobre la aplicación de realidad aumentada**

El segundo objetivo del proyecto abarcaba el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada para el guiado de la anestesia troncular del plexo braquial, más conocida como técnica de bloqueo interescalénico.

Se ha conseguido desarrollar una aplicación funcional e intuitiva que, como se señaló previamente, podrá utilizarse en ámbitos educativos como las aplicaciones de Rahman et al. 2020 y Andayani et al., 2019 o en ámbitos quirúrgicos como el caso de Siemionow et al., 2020 y Won et al., 2017.

Aunque el proceso de colocación del volumen del cuello sobre nuestro paciente mejoró notablemente con los cambios realizados, ha sido imposible colocarlo a la perfección sobre nuestro modelo por dos simples razones. Primero, porque el modelo sobre el que se realizaron las pruebas era una persona diferente al paciente de la resonancia magnética y, aunque se intentó que fueran de edades similares, no compartían la complexión. Segundo, porque nuestro modelo estaba colocado en la posición necesaria para la práctica de la técnica de bloqueo interescalénico (cuello rotado en dirección contralateral y brazo paralelo al cuerpo), mientras que la resonancia muestra al paciente en la posición de decúbito dorsal con el cuello recto y relajado, lo que modifica la posición de las estructuras anatómicas de ambos individuos, haciendo imposible su perfecta coincidencia. Ambos problemas, emanan nuevamente de la imposibilidad de realizar una prueba de resonancia magnética específica a nuestro modelo por problemas éticos y económicos dentro del marco del Trabajo de Fin de Grado, cosa que no sucede en los trabajos que proyectan modelos anatómicos tridimensionales sobre el paciente como Siemionow et al., 2020 y Won et al., 2017.

Un enfoque novedoso que aporta nuestro proyecto con respecto a otros como el de Siemionow et al., 2020 y Won et al., 2017 que solo tienen un objeto de realidad aumentada, es que nosotros añadimos también una aguja virtual que, aunque incrementa el tamaño de la aplicación pudiendo dificultar su funcionamiento, potencia el guiado del proceso anestésico al poder seguir y predecir la trayectoria de la aguja una vez que se inserta en el cuello del paciente.

El principal problema al que nos hemos enfrentado y que no está presente en ninguno de los trabajos mencionados, se relaciona con la falta de instalaciones y

equipamiento necesario para la realidad aumentada. En primer lugar, no contábamos con una iluminación fija y suficiente que asegurase el funcionamiento de la aplicación en cualquier situación sin depender de las fluctuaciones de la luz natural. En segundo lugar, aunque intentamos ser lo más riguroso posible en el proceso de escaneo del marcador tridimensional de la aguja, no se pudo realizar exactamente en las condiciones que se indica por la falta de infraestructuras necesarias, lo que pudo empeorar el reconocimiento de la aguja durante la simulación. En tercer lugar, no se pudo diseñar un sistema fijo de cámaras, por lo que los pequeños movimientos producidos al sostener el móvil con una mano y manejar la aguja con la otra durante las pruebas, empeoraban el desempeño de la aplicación produciendo movimientos indeseados de los objetos en la realidad aumentada. En último lugar, el dispositivo móvil del que disponíamos era de calidad media-baja, lo que producía graves calentamientos durante las pruebas, así como bajadas bruscas de batería hasta apagarse y una calidad de imagen mejorable.

Andayani et al., 2019 y Rahman et al. 2020 utilizan también Unity y Vuforia™ en sus respectivos proyectos educativos de realidad aumentada. Se recurrió al programa Unity por su popularidad, su compatibilidad con Vuforia™ y por la experiencia previa que teníamos con él, que resultó bastante útil para desarrollar todo el sistema desde cero. El principal defecto que se le ha encontrado a Unity es la poca precisión en la colocación de los objetos con respecto a sus marcadores, lo cual se entiende porque es una plataforma destinada al desarrollo de videojuegos, pero esta imprecisión puede ser fatal si se va a utilizar en la asistencia de un procedimiento quirúrgico como el que nos ocupa. Andayani et al., 2019 y Rahman et al. 2020 obtuvieron resultados satisfactorios porque el objetivo de sus proyectos es meramente educativo, por lo que no se requiere tanta exactitud en la posición de los objetos.

A nuestro entender, no existen plataformas accesibles en las que desarrollar realidad aumentada con fines expresamente anatómicos. Siemionow et al., 2020 utilizaron para la proyección de la columna vertebral sobre el paciente el sistema de navegación quirúrgica de realidad aumentada e inteligencia artificial ARAI™ (HoloSurgical Inc., Chicago, IL, USA), el cual proporciona en tiempo real visión de las estructuras anatómicas tridimensionales a partir de imágenes médicas sobre el paciente utilizando realidad aumentada con determinados marcadores y una inteligencia artificial.

Por otro lado, Won et al., 2017 desarrollan un pseudo sistema de realidad aumentada superponiendo los modelos tridimensionales semitransparentes de la mandíbula elaborados en plataformas como 3D Slicer, sobre imágenes tomadas del paciente, construyendo así una especie de sistema de realidad aumentada, pero que no asiste el proceso en tiempo real sobre el propio paciente como pretende hacer nuestro sistema.

### **5.3 Líneas futuras de investigación**

Como líneas futuras en esta investigación encontramos:

- Realizar una resonancia magnética personalizada del mismo paciente sobre el que se proyectará luego la realidad aumentada pudiendo así potenciar los tejidos de interés y colocar al paciente en la posición requerida.
- Probar nuevos tipos de imagen como la neurografía por resonancia magnética que permite la visión del plexo braquial y sus raíces.
- Añadir ciertos complementos a 3D Slicer que permitan una mayor automatización del proceso de segmentación.

- Desarrollar un código en Unity que permita el establecimiento fijo y preciso o incluso automático de la posición de los volúmenes, tomando como referencia algunos puntos del propio paciente.
- Desarrollar un sistema que permita la optimización de la aplicación mediante el establecimiento fijo de la posición del cuello una vez colocado correctamente sobre el paciente para impedir esos continuos movimientos del volumen cuando, por ejemplo, se acerca la aguja y se pierde el marcador del cuello.
- Probar el sistema con las infraestructuras adecuadas para la realidad aumentada.
- Modificar el diseño de la sonda de la aguja para mejorar su detección y evitar la colocación de una superficie no profesional.

# 6

## Conclusiones

Se ha demostrado que la idea de una aplicación de realidad aumentada que guíe la técnica de bloqueo interescalénico a través de la proyección en tiempo real del modelo anatómico tridimensional de las estructuras del paciente es posible.

Por tanto, se ha conseguido reconstruir el volumen de las estructuras anatómicas necesarias a partir de la resonancia magnética de un paciente en el programa 3D Slicer y añadirlo a Unity como un objeto de realidad aumentada.

También se ha logrado crear un diseño relativamente sencillo para el marcador de imagen del cuello que sea reconocible por la aplicación.

En el caso del otro objeto de realidad aumentada, también se pudo capturar la cánula de la aguja anestésica como un marcador de objeto tridimensional y proyectar la aguja virtual sobre este.

Finalmente, se ha conseguido la interacción entre los volúmenes de realidad aumentada, aun cuando se está produciendo el movimiento real de la aguja física.

La resolución de las dificultades expuestas previamente y, por tanto, la puesta a punto de este sistema de guiado para el proceso de anestesia troncular del plexo braquial podría ayudar enormemente en la ejecución de la técnica, pudiendo extrapolar el sistema a otras técnicas quirúrgicas semejantes y utilizarlo como material complementario para la enseñanza de la anatomía o como una opción de entrenamiento de nuevos anestesistas.

# Referencias

*3DSlicer*. Recuperado el 26 de mayo de 2020 de: <https://www.slicer.org/>

Álvarez, L., Aldana, D., Carmona, M. (2012). *Principios de resonancia magnética*.

Andayani, U., Syahputra, M. F., Muchtar, M. A., Sattar, M., Prayudani, S., & Fahmi, F. (2019, October). 3D Modelling Intestine Anatomy with Augmented Reality for Interactive Medical Learning. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 648, No. 1, p. 012035). IOP Publishing.

Ashab, H. A. D., Lessoway, V. A., Khallaghi, S., Cheng, A., Rohling, R., & Abolmaesumi, P. (2013). An augmented reality system for epidural anesthesia (area): Prepuncture identification of vertebrae. *IEEE transactions on biomedical engineering* (pp. 2636-2644), 60(9).

*Best Practices for Designing and Developing Image-Based Targets*. Recuperada el 26 de mayo de 2020 de <https://library.vuforia.com/features/images/image-targets/best-practices-for-designing-and-developing-image-based-targets.html>

Chhabra, A., Thawait, G. K., Soldatos, T., Thakkar, R. S., Del Grande, F., Chalian, M., & Carrino, J. A. (2013). High-resolution 3T MR neurography of the brachial plexus and its branches, with emphasis on 3D imaging.



*American Journal of Neuroradiology* (pp. 486-497), 34(3).

Descargar Unity. Recuperado el 26 de mayo de 2020 de:  
<https://unity3d.com/es/get-unity/download>

Domínguez, M. G., Hernández, C., Ruisoto, P., Juanes, J. A., Prats, A., & Hernández, T. (2016). Morphological and volumetric assessment of cerebral ventricular system with 3D slicer software. *Journal of medical systems* (p. 154), 40(6).

Fedorov, A., Beichel, R., Kalpathy-Cramer, J., Finet, J., Fillion-Robin, J. C., Pujol, S., ... & Buatti, J. (2012). 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magnetic resonance imaging* (pp. 1323-1341), 30(9).

Jacquesson, T., Simon, E., Dauleac, C., Margueron, L., Robinson, P., & Mertens, P. (2020). Stereoscopic three-dimensional visualization: interest for neuroanatomy teaching in medical school. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 1-9.

Mejía-Terrazas, G. E., Ruiz-Suárez, M., Gaspar-Carrillo, S. P., Valero-González, F., Unzueta-Navarro, D., Encalada-Díaz, I. (2014). Bloqueo interescalénico para artroplastia total de hombro: estudio comparativo ultrasonido vs neuroestimulación. *Cirugía y Cirujanos* (pp. 381-388), 82(4).

Mildenberger, P., Eichelberg, M., Martin, E. (2002). Introduction to the DICOM standard. *European radiology* (pp. 920-927), 12(4).

Ott, N., Sill, M., Shah, M. D., & Ashesh, P. (2020). *Patient-specific 3D Printed Liver Models for Pre-operative Planning and Improved Patient Adherence*.

Rahman, N. A., Mailok, R., & Husain, N. M. (2020). Mobile Augmented Reality

- Learning Application for Students with Learning Disabilities. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 10(2).
- Siemionow, K. B., Katchko, K. M., Lewicki, P., & Luciano, C. J. (2020). Augmented reality and artificial intelligence-assisted surgical navigation: Technique and cadaveric feasibility study. *Journal of Craniovertebral Junction and Spine* (p. 81) , 11(2).
- Soler, E., Faus, M. T., Burguera, R., Fernández, J. A., Mula, P (2002). Anestesiología. *Farmacia Hospitalaria – Tomo II* (pp. 777 – 803), SEFH.
- Sosa Yunes, D., Cacheiro, F., Lassalle, P., Lucchelli, A., Moreno, M., & Bollini, C. (2010). Técnica de bloqueo interescalénico guiado por ecografía. *Rev. argent. anestesiol* (pp. 187-191).
- Telefónica, F. (2011). *Realidad Aumentada: una nueva lente para ver el mundo*. Fundación Telefónica.
- Vuforia Object Scanner*. Recuperada el 26 de mayo de 2020 de <https://library.vuforia.com/content/vuforia-library/en/articles/Training/Vuforia-Object-Scanner-Users-Guide.html>
- Won, Y. J., & Kang, S. H. (2017). Application of augmented reality for inferior alveolar nerve block anesthesia: A technical note. *Journal of dental anesthesia and pain medicine* (pp. 129-134), 17(2).



# Apéndice A

## Entrevista a especialista

*Entrevista realizada al anestesista D. Tomás Joaquín Fernández Vílchez.*

**¿Te parece que el cuello es una parte suficientemente importante como para estudiarla?**

El cuello es una parte muy importante del organismo humano, ya que, por él pasan todas las estructuras que salen del cerebro y van hacia el resto del cuerpo. Desde el punto de vista de la Anestesiología, supone una parte imprescindible y digna de estudio porque en el cuello se encuentran grandes vasos sanguíneos y estructuras nerviosas y, además, las técnicas que se utilizan en esta zona no siempre resultan eficaces.

**¿Qué tipos principales de anestesia podemos distinguir y cuáles son sus ventajas e inconvenientes?**

Para empezar, se pueden distinguir dos tipos principales de anestesia. La anestesia general, en la cual el paciente pierde la consciencia y la capacidad de realizar algunas funciones vitales por sí mismo. Es un proceso bastante arriesgado, debido a que este entra en estado de apnea siendo necesaria la intubación o el hecho que la inducción anestésica provoca una hipotensión, que en algunos pacientes no es bien tolerada, así como diversas complicaciones. Por

este motivo, es un proceso que solo se aplica cuando es estrictamente necesario. Por otro lado, encontramos la anestesia regional. En ella, solo se insensibiliza la zona que se vaya a someter a la cirugía. A lo largo de la operación, el paciente permanece sedado y lo suficientemente colaborador como para poder comunicarse con el especialista en caso de que la intervención lo requiera (cirugía con paciente despierto) y puede respirar de forma espontánea, sin sentir dolor y, evitando así, la mayor parte de las complicaciones producidas por la anestesia general. Sin embargo, uno de los mayores problemas que presenta este tipo de anestesia, es la localización del nervio correcto según la zona en cuestión. La mala realización de esta tarea puede producir bloqueos erróneos o lesiones irreversibles si se inyecta el fármaco directamente sobre el nervio (siempre hay que hacerlo en sus proximidades, nunca dentro de la estructura nerviosa).

### **¿En qué consiste la técnica de anestesia troncular?**

La anestesia troncular es un tipo de anestesia regional muy útil, en la que el anestésico se administra en las proximidades de los troncos nerviosos que salen de la médula espinal y que, posteriormente, se ramifican en los nervios que llegan a las diferentes partes del cuerpo. Consecuentemente, para bloquear una región concreta, no tendremos que pinchar los numerosos nervios que la inervan, sino solo los troncos nerviosos. Lo cual facilita enormemente la tarea de localización, pero aun así no es suficiente.

### **¿Se utiliza algún sistema de guiado en la realización de estos procedimientos?**

A causa de la dificultad que presenta lo anteriormente descrito y los problemas que puede ocasionar, normalmente se utiliza la administración de anestesia guiada por ecografía. El mayor impedimento de este sistema, es que reproduce situaciones tridimensionales en dos dimensiones. Esto hace que, si la aguja se

sale del plano ecográfico, dejemos de verla y podamos estar produciéndole una lesión nerviosa grave o atravesando estructuras que pueden ocasionarle daños al paciente. Además, la calidad de la imagen es bastante regular y el proceso es tan complejo, que depende mucho de la habilidad de cada médico.

Por consiguiente, el desarrollo de un nuevo sistema que guíe la anestesia troncular, supondría un avance enorme en el campo de la Medicina.

### **¿Cuál es la técnica de anestesia troncular más utilizada?**

Uno de los procesos más comunes que requeriría de esta tecnología es el llamado bloqueo interescalénico, un tipo de anestesia regional utilizada en la cirugía del hombro. La más común es la artroscopia de hombro. Se aplica sobre todo a pacientes que practican deporte (nadadores, levantadores de pesas, jugadores de baloncesto...) o trabajadores que han sufrido accidentes laborales al cargar peso (albañiles, estibadores...). La artroscopia es una técnica para examinar y reparar los tejidos dentro o alrededor de la articulación del hombro. El traumatólogo hace pequeñas incisiones en el hombro del paciente por donde se insertan una cámara llamada artroscopio y otros dispositivos que permiten operar al paciente si fuese necesario.

### **¿Cómo se lleva a cabo este proceso de bloqueo interescalénico?**

Se hace necesario anestesiarse la articulación glenohumeral durante esta operación. El desarrollo de esta tarea consiste en bloquear el plexo braquial, formado por tres troncos nerviosos (superior, medio e inferior) que salen de la médula espinal y al llegar al cuello se localizan entre los escalenos anterior y medio en una disposición que comúnmente se denomina “en semáforo” por su disposición sonográfica. Muchas veces, cuesta encontrar estos troncos, ya que no existe una referencia clara para localizarlos por la variabilidad anatómica

entre los pacientes, lo que lo convierte en un arduo cometido. Por tanto, disponer de una guía para facilitar su localización sería una gran revolución.

Una vez ubicados, hay que inyectar el anestésico en sus alrededores y ver como difunde y los envuelve hasta que aparezca en la ecografía lo que se conoce como “imagen en donut”; que representa que el sedante ha rodeado la zona. Un fallo en la realización de la técnica puede ser fatal para el enfermo, ya que podría atravesar otras estructuras o administrar el anestésico en un vaso sanguíneo, entre otras complicaciones.

**¿Qué sistema te sería más cómodo para visualizar nuestro sistema de guiado de la técnica de bloqueo interescalénico mediante realidad aumentada?**

Podríamos utilizar un soporte con forma de gafas, donde se puede colocar el móvil. Esto supondría un gran avance con respecto al sistema de ecografía que se utiliza actualmente; en razón de que, estaríamos viendo a la vez la aguja y al paciente junto con la información añadida que guiaría el proceso. De ese modo, fabricaríamos nuestras propias gafas de realidad aumentada.

**¿Te parece un sistema interesante como especialista?**

El interés del producto, no es meramente anestesiológico. También tiene una gran utilidad a nivel docente; no solo para estudiantes de universidad (para estudios de anatomía básica), sino también práctica tanto para médicos residentes que podrían hacer prácticas quirúrgicas sobre un paciente simulado o para cirujanos que ante una operación que debido a su localización dificultosa quisieran planificar la ejecución de la intervención sobre una “réplica virtual en 3D” del paciente en cuestión. El poder localizar estructuras de forma rápida y sencilla, tendría una gran aplicación en anestesia pediátrica, en la cual se

presenta la dificultad añadida de que todo es más pequeño y más difícil de encontrar.

### **¿Qué otras aplicaciones podría tener el sistema?**

En la práctica podría emplearse para otro tipo de servicios, como por ejemplo:

- Endarterectomía carotídea (Cirugía de carótida): La endarterectomía carotídea consiste en la eliminación de la placa que causa el estrechamiento en la arteria para mejorar el flujo sanguíneo en la arteria carótida y reducir el riesgo de sufrir un accidente cerebrovascular. En esta cirugía hay que bloquear el plexo cervical profundo.
  
- Canalizar vías centrales (yugulares, subclavia): Muchas veces hay que colocar al paciente en una determinada posición para encontrar estas venas (posición de Trendelenburg). Con este proyecto disminuiría la complejidad de la técnica.





# Apéndice B

## Códigos desarrollados en C#

En este apéndice se incluyen los códigos desarrollados en C# y añadidos a Unity para la creación de la interfaz de usuario y la gestión de las funciones de la aplicación de realidad aumentada.

```
1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4  using UnityEngine.SceneManagement;
5
6  public class AccesoColocarEscena : MonoBehaviour
7  {
8      public void Pulsar()
9      {
10         SceneManager.LoadScene("ColocarEscena", LoadSceneMode.Single);
11     }
12 }
```

**Código 1.** Código para el acceso a la escena de colocación del cuello a través del botón “Colocar escena” del menú principal de la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.

```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  public class Move : MonoBehaviour
6  {
7      private Touch touch;
8      private float speedModifier;
9
10     // Start is called before the first frame update
11     void Start()
12     {
13         speedModifier = 0.0005f;
14     }
15
16     // Update is called once per frame
17     void Update()
18     {
19         if (Input.touchCount > 0)
20         {
21             touch = Input.GetTouch(0);
22
23             if(touch.phase == TouchPhase.Moved)
24             {
25                 transform.position = new Vector3(
26                     transform.position.x + touch.deltaPosition.x * speedModifier,
27                     transform.position.y,
28                     transform.position.z + touch.deltaPosition.y * speedModifier);
29             }
30         }
31     }
32 }

```

**Código 2.** Código para el movimiento del volumen del cuello de la primera función de la escena “Colocar escena” de la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.

```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  public class ActivarDesactivarMusculos : MonoBehaviour
6  {
7      public void DesactivarMusculo(GameObject musculo)
8      {
9          if(musculo.activeSelf == true)
10         {
11             musculo.SetActive(false);
12         }
13         else
14         {
15             musculo.SetActive(true);
16         }
17     }
18 }
19

```

**Código 3.** Código para la modificación manual de la visualización de los músculos de la segunda función de la escena “Colocar escena” de la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.

```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  public class SistemaColision : MonoBehaviour
6  {
7      public GameObject esternocleidomastoideo;
8
9      void OnCollisionEnter(Collision collision)
10     {
11         Debug.Log("Collision detected");
12     }
13
14     void OnCollisionStay(Collision collision)
15     {
16         Debug.Log("Collision staying");
17         esternocleidomastoideo.SetActive(false);
18     }
19 }

```

**Código 4.** Código para la gestión del sistema de colisión del modo automático de desaparición del esternocleidomastoideo de la segunda función de la escena “Colocar escena” de la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.

```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4  using UnityEngine.SceneManagement;
5
6  public class VolverMenu : MonoBehaviour
7  {
8      public void Pulsar()
9      {
10         SceneManager.LoadScene("MenuPrincipal", LoadSceneMode.Single);
11     }
12 }

```

**Código 5.** Código para regresar al menú principal de la aplicación de realidad aumentada con el botón “Volver”. Fuente: Elaboración propia.

```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4  using UnityEngine.SceneManagement;
5
6  public class AccesoEscenaCompleta : MonoBehaviour
7  {
8      public void Pulsar()
9      {
10         SceneManager.LoadScene("EscenaCompleta", LoadSceneMode.Single);
11     }
12 }

```

**Código 6.** Código para el acceso a la escena completa a través del botón “Ver escena completa” del menú principal de la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.

```
1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  public class Salir : MonoBehaviour
6  {
7      public void Pulsar()
8      {
9          Application.Quit();
10     }
11 }
```

**Código 6.** Código para cerrar la aplicación de realidad aumentada a través del botón “Salir de la aplicación” del menú principal. Fuente: Elaboración propia.

# Apéndice C

## Manual de usuario

### Requerimientos:

Dispositivo móvil con cámara y sistema operativo Android 4 o superior.

### Instalación:

Para la instalación de la aplicación, necesitamos añadir el archivo \*.apk, generado desde el proyecto de Unity, a nuestro dispositivo. Bastará entonces con buscarlo en la memoria con el explorador de archivos e instalarlo.

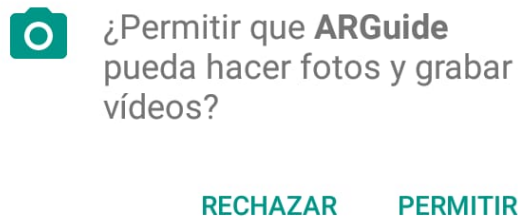
### Primer contacto con la aplicación:

Tras la instalación, la aplicación tendrá el aspecto que se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Icono de la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.

Podemos abrirla con un simple toque en la pantalla. La primera vez que la iniciamos, requiere de una serie de permisos que implican el acceso a la cámara para tomar imágenes y vídeos (figura 2).



**Figura 2.** Captura de los permisos solicitados por la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.

Una vez concedidos los permisos, la aplicación se ejecutará normalmente y ya no habrá que volver a repetir este paso.

Al iniciarse, lo primero que encontramos es el menú principal (figura 3), que se ha diseñado como una interfaz de usuario sencilla e intuitiva con tres botones.



**Figura 3.** Menú principal de la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.

El primer botón “Colocar escena” accede al primer modo de visualización, el cual, muestra la interacción de la aguja con el volumen del cuello tras posibilitar una serie de modificaciones iniciales sobre la escena.

Estas configuraciones conllevan el cambio de la posición del volumen del cuello y de la visualización de los músculos que lo conforman a través de las pantallas de las figuras 4 y 5 respectivamente.



**Figura 4.** Captura de la primera ventana de colocación del volumen dentro del modo “Colocar escena” en la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.





**Figura 5.** Captura de la segunda ventana de modificación de la visualización de los músculos dentro del modo “Colocar escena” en la aplicación de realidad aumentada Fuente: Elaboración propia.

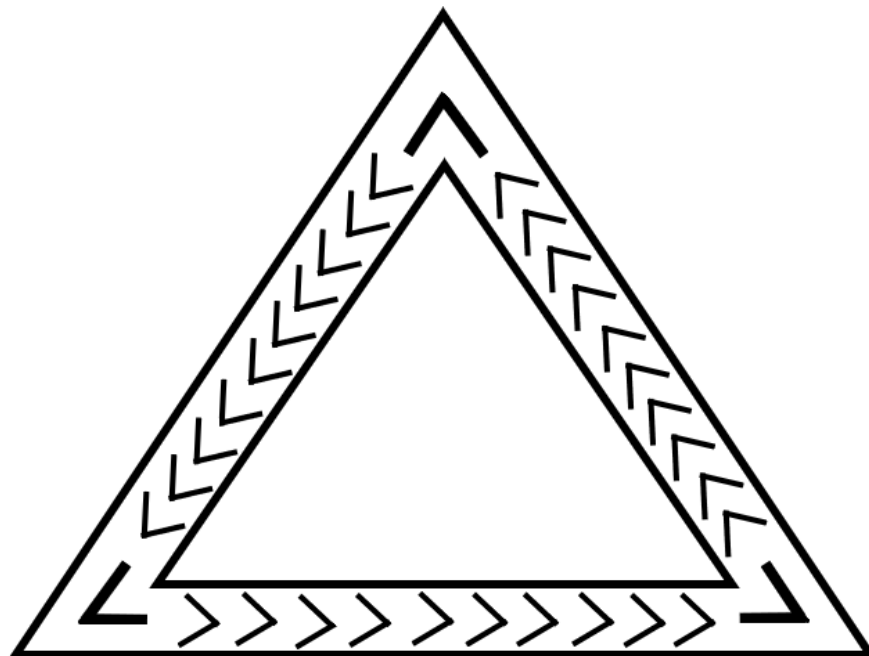
Tras esto, se accederá a la escena completa que muestra la interacción aguja-cuello mediante realidad aumentada respetando las modificaciones previamente establecidas.

El siguiente botón del menú “Ver escena completa” ofrece la interacción de los objetos de realidad aumentada sin la posibilidad de realizar ningún cambio sobre la escena diseñada en Unity.

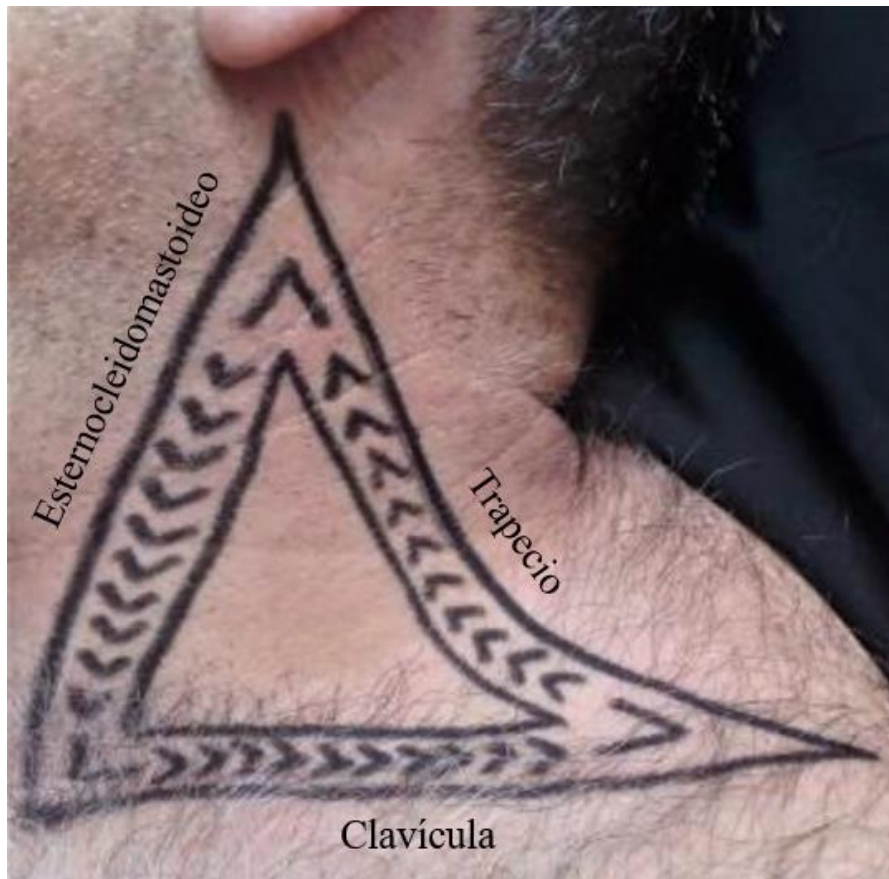
Finalmente, con el botón “Salir de la aplicación” podremos, como su propio nombre indica, cerrar el sistema.

**Descripción del proceso de guiado de la técnica de bloqueo interescalénico con la aplicación de realidad aumentada:**

En primer lugar, tendríamos que realizar el dibujo del marcador de imagen (figura 6) sobre el cuello del paciente de la forma en la que se muestra en la figura 7.



**Figura 6.** Patrón dibujado sobre el cuello utilizado como marcador de imagen de la realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 7.** Colocación del patrón utilizado como marcador de imagen de la realidad aumentada sobre el cuello del paciente. Fuente: Elaboración propia.

La figura se puede realizar con cualquier lápiz apto para la piel del color que más resalte sobre el paciente, para generar el mayor contraste posible y conseguir así, una mayor detección. Para la localización de las estructuras anatómicas de nuestro modelo, podemos valernos del movimiento del hombro para la identificación de la clavícula o de la rotación del cuello para el esternocleidomastoideo, siempre teniendo en cuenta que los picos del triángulo tienen que ser lo más abruptos posible evitando los contornos suaves.

Suponiendo que ya esté correctamente definido el marcador de imagen a través de una fotografía, y colocado en la escena de Unity, podremos instalar en nuestro dispositivo la aplicación de la forma que se indicó anteriormente.

Al abrir la aplicación, encontraremos el menú principal y seleccionaremos la opción “Colocar escena” (figura 8).

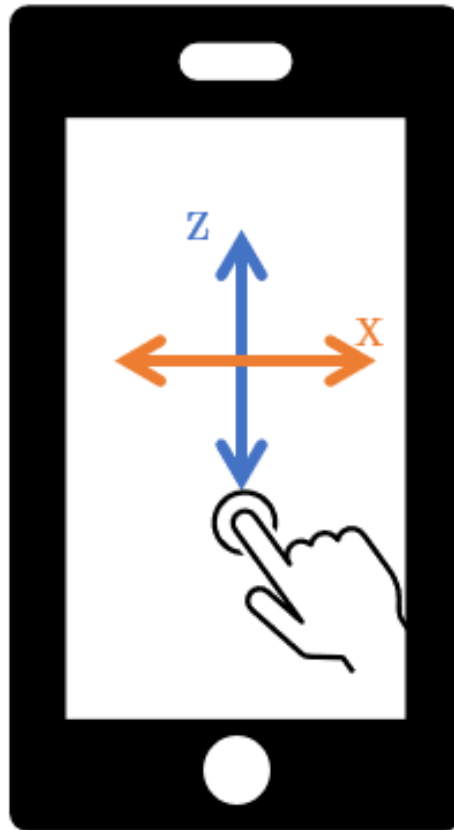


- A Volver
- B Volver a colocar
- C Fijar posición
- D Siguiente

**Figura 8.** Captura de la primera función de colocación del volumen dentro del modo “Colocar escena” en la aplicación de realidad aumentada y el correspondiente aumento de sus botones. **A.** Botón “Volver”. **B.** Botón “Volver a colocar”. **C.** Botón “Fijar posición”. **D.** Botón “Siguiente”. Fuente: Elaboración propia.

Apuntaremos con la cámara hacia el marcador dibujado en el cuello del paciente para que este se reconozca y active el volumen correspondiente de las estructuras anatómicas. Si hay problemas con la detección del marcador, podemos modificar ligeramente la posición del dispositivo y la luz de forma que la situación se parezca lo más posible a las condiciones de la fotografía.

Cuando se detecta, procederemos a valorar la posición del volumen sobre el modelo. Si se requiere algún cambio de posición, lo moveremos con desplazamientos del dedo por la pantalla que se traducirán en movimientos del volumen en los ejes horizontal y vertical, tal como indica el esquema de la figura 9.



**Figura 9.** Esquema del deslizamiento del dedo por la pantalla del dispositivo con la aplicación de realidad aumentada y el consecuente movimiento del volumen con respecto a los ejes. Fuente: Elaboración propia.

En caso de que la colocación sea la correcta, pulsaremos el botón “Fijar posición” para evitar futuros movimientos indeseados. No obstante, si se desea, se puede mantener la función activada durante el transcurso de todo el proceso por si hubiera que realizar modificaciones posteriores. Si tras haberla desactivado, se necesitara seguir modificando, bastará con pulsar el botón “Volver a colocar” para reactivar la función.

Podemos pulsar entonces el botón “Siguiente” que nos lleva al próximo modo de configuración de la escena, que se muestra en la figura 10. En caso de que se quisiera regresar al menú principal, pulsaremos “Volver”.



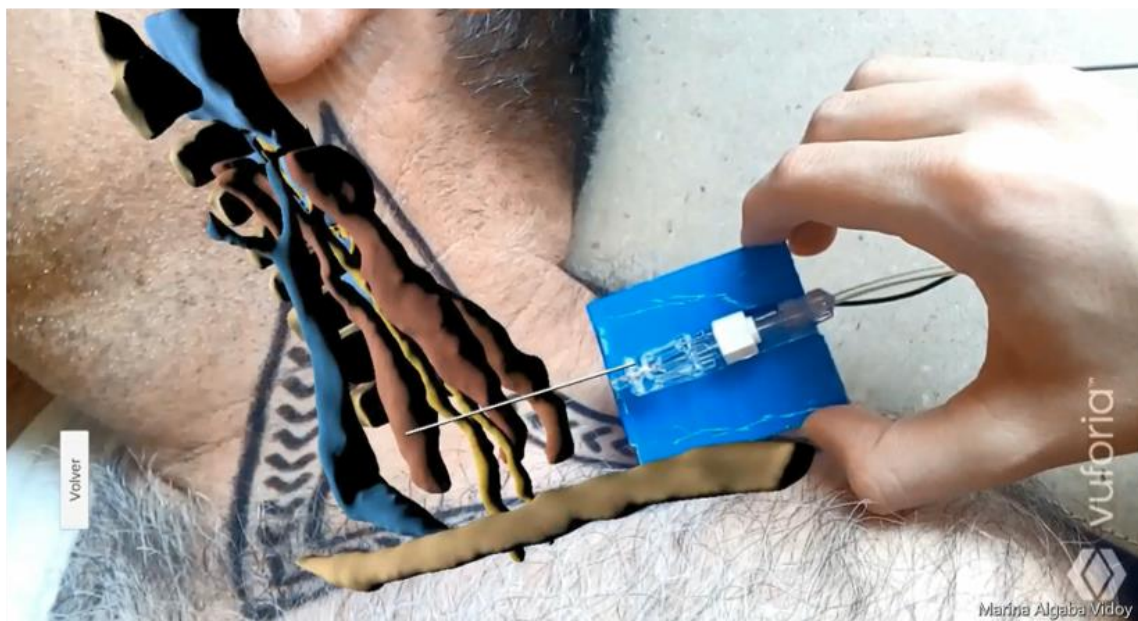
- A Volver
- B Mostrar/ocultar
- B1 Escaleno anterior
- B2 Escaleno medio
- B3 Escaleno posterior
- B4 Esternocleidomastoideo
- C Activar automático
- D Escena completa

**Figura 10.** Captura de la segunda función de modificación de la visualización de los músculos dentro del modo “Colocar escena” en la aplicación de realidad aumentada y el correspondiente aumento de sus botones. **A.** Botón “Volver”. **B.** Botón “Mostrar/ocultar”. **B1.** Botón “Escaleno anterior”. **B2.** Botón “Escaleno medio”. **B3.** Botón “Escaleno posterior”. **B4.** Botón “Esternocleidomastoideo”. **C.** Botón “Activar automático”. **D.** Botón “Escena completa”. Fuente: Elaboración propia.

Encontramos aquí nuevamente el botón “Volver”, que siempre nos va a llevar a la ventana anterior, en este caso, regresaríamos a la función de movimiento de volumen del cuello.

El botón “Mostrar/ocultar” ofrece la posibilidad de activar o desactivar la visualización de los músculos manualmente. Al pulsarlo, se despliega una lista de botones en el que cada uno representa a un músculo y al accionar el correspondiente a cada estructura, se cambiará el estado del músculo en cuestión. En otras palabras, si por ejemplo el escaleno anterior estaba oculto, se mostrará, y viceversa.

Por si se deseara que el músculo esternocleidomastoideo desapareciera de forma automática al colisionar con la aguja se añadió la opción “Activar automático” cuya acción se muestra en la figura 11.



**Figura 11.** Captura del funcionamiento del modo automático de desaparición del músculo esternocleidomastoideo de la segunda función de modificación de la visualización de los músculos dentro del modo “Colocar escena” en la aplicación de realidad aumentada. En la imagen superior se muestra el momento anterior a la colisión y la imagen inferior representa el volumen del cuello tras la colisión con la correspondiente desaparición del músculo. Fuente: Elaboración propia.

Una vez tenemos el volumen personalizado a nuestro gusto podremos pulsar “Escena completa”, añadir la aguja a la realidad aumentada y realizar el guiado del proceso anestésico propiamente dicho.

Apuntaremos entonces la cámara hacia la aguja, hasta que esta se reconozca satisfactoriamente y suavemente iremos desplazándola hasta el cuello, el cual mantendrá las modificaciones que hayamos realizado sobre él. Tendremos que mover la aguja con cuidado y tapando lo mínimo posible la parte reconocible, es decir, la sonda, para evitar la pérdida del marcador.

En cualquier momento podremos retroceder con el botón “Volver” y cambiar las opciones anteriores.

Como se ha expuesto antes, si quisiéramos ver la interacción de los objetos de realidad aumentada tal cual fueron diseñados, accederemos desde el menú principal al modo “Ver escena completa” el cual servirá, sobre todo, para detectar posibles fallos en el diseño de la aplicación.

Cuando terminemos el proceso, regresaremos al menú principal con los diferentes botones de “Volver” y pulsaremos “Salir de la aplicación”.





# Apéndice D

## Vídeo demostrativo

En este anexo se incluye el vídeo que muestra el funcionamiento de la aplicación de realidad aumentada y, en general, los resultados de este proyecto.



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA | [uma.es](http://uma.es)

E.T.S de Ingeniería Informática  
Bulevar Louis Pasteur, 35  
Campus de Teatinos  
29071 Málaga

E.T.S. DE INGENIERÍA INFORMÁTICA