

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA



**SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA PARA LA INTERACCIÓN
CON EL INSTRUMENTAL EN EL PROCEDIMIENTO DE ACCESO
VENOSO CENTRAL**

ERIKA MARITZA GUTIÉRREZ PUERTO

Informe final de auxiliar de Investigación para optar al Título de
Ingeniero en Mecatrónica

TUTOR INVESTIGADOR

Ingeniero Byron Alfonso Pérez Gutiérrez M.Sc.

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ, 2015**

**SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA PARA LA INTERACCIÓN
CON EL INSTRUMENTAL EN EL PROCEDIMIENTO DE ACCESO
VENOSO CENTRAL**

ERIKA MARITZA GUTIÉRREZ PUERTO

Informe final de auxiliar de Investigación para optar al Título de
Ingeniero en Mecatrónica

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ, 2015**

**SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA PARA LA INTERACCIÓN
CON EL INSTRUMENTAL EN EL PROCEDIMIENTO DE ACCESO
VENOSO CENTRAL**

ERIKA MARITZA GUTIÉRREZ PUERTO

Informe final de auxiliar de Investigación para optar al Título de
Ingeniero en Mecatrónica

TUTOR INVESTIGADOR

Ingeniero Byron Alfonso Pérez Gutiérrez M.Sc.

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ, 2015**

El informe final de Auxiliar de Investigación titulado: **“Sistema de Realidad Aumentada para la interacción con el instrumental en el procedimiento de acceso venoso central”**, elaborado y expuesto por la estudiante Erika Maritza Gutiérrez Puerto como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Mecatrónica fue aprobado por el jurado calificador.

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

*"Sea lo que sea que puedas o sueños que puedas, comiéndalo.
El atrevimiento posee genio, poder y magia. Comiéndalo ahora."*

Johann Wolfgang Von Goethe

A mis padres Sonia Imelda y Víctor Manuel, a Diana Sofía y Santiago:

Han sido mi espejo, mi serenidad, mi fortaleza, mis maestros en el camino hacia mi crecimiento como ser.

Deseo agradecer a la Universidad Militar Nueva Granada por ser un ambiente tanto para mi formación académica como para mi formación personal, igualmente por las facilidades que me ha dado para llevar a cabo esta investigación. Al ingeniero Byron Pérez por su disponibilidad y apoyo durante el proceso de elaboración de este proyecto. Finalmente a todas las personas que me brindaron su apoyo, consejos y tiempo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
<i>DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</i>	3
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	3
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	3
<i>JUSTIFICACIÓN</i>	3
<i>ALCANCE O DELIMITACIÓN DE LA PROPUESTA</i>	4
<i>METODOLOGÍA</i>	4
II. MARCO TEÓRICO	1
1. <i>REALIDAD AUMENTADA</i>	1
1.1.1. <i>Generador de Escena</i>	3
1.1.2. <i>Sistema de seguimiento de posición y orientación (Tracking)</i>	4
1.1.3. <i>Visualización</i>	5
2. <i>ACCESO VENOSO CENTRAL</i>	10
2.1. <i>TÉCNICA DE SELDINGER MODIFICADA</i>	11
III. ESTADO DEL ARTE	15
<i>SIMULADORES DE ACCESO VENOSO</i>	15
<i>SISTEMAS DE ENTRENAMIENTO PARA EL ACCESO VENOSO CENTRAL CON REALIDAD VIRTUAL Y REALIDAD AUMENTADA</i>	16
IV. HERRAMIENTAS Y MODELADO INSTRUMENTAL	18
<i>EVALUACIÓN HERRAMIENTAS DISPONIBLES</i>	18
1. <i>SUITE DE MODELADO 3D</i>	18
2. <i>APLICACIONES DE DESARROLLO MULTIMEDIA</i>	21
3. <i>LIBRERÍAS DE RA</i>	23
4. <i>HARDWARE</i>	29
<i>MODELADO INSTRUMENTAL</i>	30

<i>MODELO INTERACCIÓN AGUJA-TEJIDO</i>	32
<i>DEFORMACIÓN USANDO UNITY3D</i>	33
<i>ANIMACIÓN USANDO BLENDER</i>	35
V. <i>DESARROLLO Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO</i>	53
1. <i>DISEÑO DEL OBJETIVO/TARGET</i>	54
2. <i>INTERACCIÓN CON EL HARDWARE</i>	55
3. <i>ESCENA PRINCIPAL</i>	57
<i>INTERACCIÓN A NIVEL VISUAL</i>	59
<i>RA CON VUFORIA</i>	59
<i>EVENTO COLISIÓN</i>	61
<i>INTERACCIÓN CON EL HMD Y DESPLAZAMIENTO A TRAVÉS DE LA ESCENA</i> .	62
4. <i>ESCENA TUTORIAL AVC</i>	63
5. <i>ESCENA CRÉDITOS</i>	63
6. <i>ESCENA MENÚ PRINCIPAL</i>	64
7. <i>PRUEBAS CON EL PROTOTIPO</i>	65
VI. <i>CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO</i>	70
<i>CONCLUSIONES</i>	70
<i>TRABAJO FUTURO</i>	71
<i>TRABAJOS CITADOS</i>	72

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Elementos habituales de hardware en un sistema de RA.....	7
Tabla 2 Elementos habituales de software en un sistema de RA	8
Tabla 3 Riesgo de complicaciones según el sitio de inserción del catéter *NA: no aplica..	14
Tabla 4 Comparativa de características de suites de modelado 3D	20
Tabla 5 Comparativa aplicaciones de desarrollo multimedia	22
Tabla 6 Comparativa características librerías de RA escogidas	24
Tabla 7 Medidas promedio de catéter, aguja introductora, alambre guía y dilatador	30

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Continuo virtualidad-realidad, modificado de [4].....	1
Figura 2 Esquema funcionamiento sistema típico de RA	2
Figura 3 Ejemplo de RA con marcadores	3
Figura 4 Ejemplo de utilización de BazAR	4
Figura 5 Diagrama conceptual HMD See-through óptico, modificado de [3]	6
Figura 6 Diagrama conceptual HMD See-through vídeo, modificado de [3]	7
Figura 7 Ejemplo de cirugía guiada aplicando RA.....	8
Figura 8 Aplicación EyePet para consolas Sony [17]	9
Figura 9 Ejemplo de RA en ensamble y mantenimiento de vehículos [18]	9
Figura 10 Ejemplo de cirugía virtual usando brazos robóticos (2007, Intuitive Surgical, Inc.)	10
Figura 11 Ejemplos de catéteres venosos centrales a) catéter reservorio, b) catéter tunelizado (Hickman), c) catéter no tunelizado (PICC).....	10
Figura 12 Materiales necesarios para procedimiento de acceso venoso central, modificado de [21]	11
Figura 13 a) Catéter monolúmen, b) Catéter multilúmen.....	12
Figura 14 Procedimiento paso a paso AC, tomado de [21]	13
Figura 15 Gen II Ultrasound Central Line Training Model.....	15
Figura 16 Simulador RV con háptica, tomada de [24]	16
Figura 17 Simulador mixto de AVC, tomado de [26].....	17
Figura 18 Selección de la técnica de Tracking a utilizar en Metaio Creator	25
Figura 19 Configuración del Tracking usando Metaio Creator	25
Figura 20 Implementación de la escena de RA en Unity3D usando Metaio	26
Figura 21 Resultados obtenidos con la posición inicial del objetivo.....	26
Figura 22 Imagen de fondo del Trackable	27
Figura 23 Utilización del Target Manager para la creación del objetivo	27
Figura 24 Implementación de la escena de RA en Unity con Vuforia	28
Figura 25 Resultados obtenidos con el Target cilíndrico sobre la jeringa de 3ml.....	28
Figura 26 WRAP 920 AR	29
Figura 27 HMD Oculus Rift en sus vistas frontal y posterior.....	30
Figura 28 Modelado catéter trilumen en SolidWorks y texturizado en Blender	31
Figura 29 Modelado jeringa 3ml en SolidWorks	31
Figura 30 Modelado pinzas para sutura en SolidWorks	32
Figura 31 Fases de inserción aguja	32
Figura 32 Escena básica de detección de colisión en Unity3D	33
Figura 33 Utilización de script Meshinator en escena con un Rigidbody.....	34
Figura 34 Uso de script SculptVertices en escena básica Unity3D	34
Figura 35 Implementación de Scripts en escena con malla correspondiente al paciente ..	35

Figura 36Animación del desplazamiento de la jeringa	36
Figura 37Animación de la deformación del tejido.....	36
Figura 38Interacción entre escenas del prototipo.....	53
Figura 39Interacción usuario prototipo, hardware y software requeridos.....	54
Figura 40Objetivo final a ser usado en el prototipo	54
Figura 41Resultados obtenidos en registro con el nuevo Target	55
Figura 42Configuración del Tracker Vuzix en MiddleVR.....	56
Figura 43Pruebas con la configuración por defecto para el Oculus Rift MiddleVR	56
Figura 44Prueba visión stereo con vuforia	57
Figura 45 Esquemático nivel visual de la escena principal.....	58
Figura 46Parte visual escena principal	59
Figura 47Propiedades ARCamera	60
Figura 48Mensaje en consola Trackable Found.....	60
Figura 49Implementación del cambio de instrumental	61
Figura 50Asignación del collider a la malla de la jeringa	61
Figura 51Frame del vídeo al detectar colisión.....	62
Figura 52Visualización de la escena luego de desplazamiento en el eje Z+	62
Figura 53Cambio entre frames del vídeo AVC	63
Figura 54Imagen créditos	64
Figura 55Menú principal	64
Figura 56Antes y después escena principal.....	65
Figura 57Dimensiones inadecuadas en modelo 3D proyectado.....	66
Figura 58Cambio en dimensiones y proyección modelo 3D.....	66
Figura 59 Calidad del registro con cámara Microsoft a) Luz encendida, b) Sombra sobre la cámara, c) Luz apagada	67
Figura 60 Calidad del registro con cámara Logitech a) Luz encendida, b) Sombra sobre la cámara, c) Luz apagada	68
Figura 61 Prueba prototipo desde la perspectiva del usuario.....	69

Lista de Anexos

Anexo 1 Manual uso de Metaio con Unity3D

Anexo 2 Deformación de mallas usando utilidades de Unity3D

Anexo 3 Visión estéreo usando los prefabricados de Vuforia

Anexo 4 Utilidades de la escena principal

Anexo 5 Instructivo para el usuario

Anexo 6 HCI 2015

GLOSARIO

GDL: Característica de los dispositivos de seguimiento de posición y orientación, que describe la cantidad de ejes en los que estos sistemas detectan el movimiento, ya sea traslacional o rotacional.

HMD: Dispositivo de visualización similar a un casco, el cual permite reproducir imágenes creadas por computador sobre una pantalla muy cercana a los ojos.

Interlogical: Software que asiste aplicaciones para interactuar entre ellas, paquetes de programas, redes, hardware y/o sistemas operativos.

Nutrición parenteral: Técnica mediante la cual se proporciona al paciente por vía intravenosa los nutrientes básicos que necesita, se usa en la mayoría de los casos en bebés prematuros y pacientes operados del tracto digestivo.

Neumotórax: Colapso pulmonar, que ocurre cuando el aire se escapa del pulmón y este llena el espacio comprendido entre el pulmón y la caja torácica, causando presión sobre este órgano lo que impide su normal expansión.

Oclusión: Referente a ocultar o tapar partes de la escena para brindar mayor realismo, también puede describir la funcionalidad de un algoritmo en las librerías de realidad aumentada que permite seguir identificando el Objetivo sin importar que su vista en cámara no sea completa.

Perspectiva: Modelo de proyección que brinda un efecto de distancia al representar los objetos más alejados del plano de visualización con un menor tamaño en la imagen generada.

Punción arterial: Recolección de sangre de una arteria para su posterior análisis en laboratorio.

Punta distal: Relativo al extremo del catéter o aguja, generalmente la parte más afilada y pequeña.

Yodopovidona: Producto formado por una solución de povidona y yodo molecular al 10 %, usado principalmente como desinfectante y aséptico.

RA: Técnica de visualización que combina un escenario real con una escena virtual generada por computadora, en la que los objetos virtuales se superponen con la escena real.

Renderizado: Proceso de generar una imagen o vídeo mediante el cálculo de iluminación indirecta, teniendo en cuenta la luz directa de la fuente y su reflexión sobre las superficies partiendo de un modelo en 3D.

RV: Entorno de escenas y objetos generados por computador que crean la sensación de estar inmerso en el, este entorno se visualiza a través de dispositivos HMD comúnmente y generalmente hace uso de otros dispositivos que cuentan con sensores que permitan la interacción y la percepción de diferentes estímulos.

Texturizado: Proceso en el que se asignan datos de color e imagen a las superficies poligonales que conforman un objeto virtual.

Tracking: Estimación de la posición y orientación del punto de vista del observador mediante diferentes técnicas que involucran diversos tipos de sensores.

RESUMEN

Este documento resume el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada que permite a los estudiantes de medicina hacer una primera aproximación al procedimiento de acceso venoso central en recién nacidos. El sistema posee herramientas para el seguimiento de posición y orientación de un marcador 3D, que permite al usuario interactuar con modelos de herramientas quirúrgicas tales como la jeringa, el alambre guía, el dispositivo de dilatación y el catéter, cada uno de ellos superpuestos como contenido virtual sobre el marcador. También dispone de entradas de teclado con el fin de desplazarse en la escena y cambiar entre las vistas de la piel, el esqueleto o el sistema circulatorio del paciente. El prototipo está programado en Unity3D con el uso de la librería para RA Vuforia y un Oculus VR con una cámara web adjunta.

ABSTRACT

This paper summary the development of an augmented reality application that allows medicine students to make a first approach to the central venous access procedure applied to newborns. The system has a 3D marker tracking, that enables the user interact with models of surgical tools such as syringe, blunt guidewire, dilating device and catheter, each one of them shows up over the marker. It also has keyboard inputs in order to move into the scene and change between views like patient's skin, skeleton or circulatory system. The prototype is programmed in Unity3D with the use of AR Vuforia library and an Oculus VR with an attached webcam.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, con el avance de la tecnología, es posible tener a mano cualquier tipo de información mediante el uso de diversos dispositivos, sin embargo es algo relativamente nuevo el hecho de poder ver información de tipo digital (sonidos, imágenes, etc.) sobre un escenario real y que esta tecnología, Realidad Aumentada, esté al alcance de todos. No es sino hasta este siglo que la investigación en esta área ha tenido relevancia por su utilidad en diversos campos de trabajo, sectores como el médico, educativo, turístico, publicitario, etc. Se podría pensar que la razón de que esta temática este presente con más fuerza día a día es que ha dejado de estar al alcance de unos pocos, ya que antes era necesario el uso de equipos muy costosos para poder visualizar los contenidos, mientras que hoy en día a través de cualquier dispositivo móvil con cámara (Smartphones, Tablets) se puede interactuar de manera directa con esta técnica.

La utilización de este sistema en un área como la medicina permite que el estudiante y/o residente tenga la oportunidad de practicar sin restricciones de tipo éticas y de tiempo, lo que convierte a los simuladores en herramientas importantes en el aprendizaje de técnicas complejas al afrontar diferentes situaciones o casos de estudio perfeccionando sus habilidades, siendo su principal ventaja la interacción de forma repetitiva y la visualización del procedimiento desde diferentes perspectivas.

El principal propósito de esta memoria es la experimentación en esta área de la investigación, evaluando diferentes herramientas para el desarrollo en Realidad Aumentada, en la creación de una aplicación interactiva que permita el entrenamiento en la técnica médica de acceso venoso central, implementando un software que combine imágenes de un ambiente real (marcador 3D) con imágenes generadas por computador que representen el cuerpo de un paciente. El sistema propuesto integra a nivel visual la interacción entre el instrumental y el tejido humano utilizando como hardware un display inmersivo tipo Head Mounted Display y un sistema de seguimiento de posición y orientación para registrar las imágenes.

Con el fin de realizar una descripción minuciosa del diseño y desarrollo del sistema el siguiente documento que consta de cinco capítulos. En el capítulo uno, se describirá el planteamiento del problema haciendo énfasis en los objetivos del proyecto, la justificación del trabajo y el alcance de la propuesta. Por ser bastante amplio el concepto de Realidad Aumentada y sus aplicaciones, se presenta en el capítulo dos un marco teórico sobre los aspectos generales de esta y también acerca de la técnica a simular (AVC), dando cuenta de su utilidad. En el capítulo tres se expondrán los antecedentes que demuestran el avance de esta tecnología en simuladores de acceso venoso; para la efectiva utilización de la Realidad Aumentada en el desarrollo del proyecto en el capítulo cuatro se evalúan

las herramientas disponibles en el Centro de Realidad Virtual de la UMNG, abarcando tanto el software y algoritmos como el Hardware: display, sensores y dispositivos de entrada y salida; también se hará énfasis en el modelado del instrumental y la interacción tejido-instrumental partiendo de sus de propiedades físicas. Para finalizar en el capítulo cinco se muestra un esquema general del diseño del sistema estructurado desde el punto de vista de Hardware y Software escogidos en la evaluación anteriormente planteada y los resultados de las simulaciones y pruebas realizadas, culminando con el planteamiento de conclusiones y recomendaciones donde se tiene en cuenta los parámetros a mejorar a la hora de desarrollar el prototipo final.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El diseño de simuladores de procedimientos virtuales para entrenamiento en medicina tiene como uno de los mayores retos el garantizar un alto grado de realismo visual y táctil durante la interacción entre usuario y aplicación, lo que trae consigo el cuestionamiento de ¿cómo implementar un sistema de realidad aumentada que permita una interacción realista con el instrumental? Buscando una primera aproximación a esta rama de investigación, este trabajo plantea el desarrollo de un prototipo que simule la técnica de Acceso Venoso Central, una técnica compleja, que requiere gran destreza y conocimiento por parte del practicante, con el agravante de representar grandes riesgos para la vida del paciente cuando se practica sin la técnica adecuada, dicho prototipo usará técnicas de Realidad Aumentada para cumplir con estos requerimientos.

OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de Realidad Aumentada para la interacción con el instrumental del procedimiento de Acceso Venoso Central.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el sistema de seguimiento de posición y orientación adecuado para el problema de estudio.
- Modelar en 3D el instrumental necesario para el procedimiento.
- Modelar la interacción a nivel visual entre el instrumental y los tejidos teniendo en cuenta sus propiedades físicas.
- Implementar un sistema de Realidad Aumentada que integre a nivel visual la interacción propuesta haciendo énfasis en la inserción de la aguja.

JUSTIFICACIÓN

En el campo de la educación la tecnología llega a ser parte integral del aprendizaje al utilizarse en forma habitual en las aulas utilizando recursos y aplicativos web y standalone, algunos de estos utilizando Realidad Aumentada, luego esta herramienta empleada para aumentar la cantidad de información presente en el entorno lleva a pensar que es posible utilizar la tecnología en la enseñanza de conceptos y técnicas de forma didáctica, dando como ejemplo la práctica de procedimientos complejos en medicina, que al ser perfeccionados con anterioridad permitirán optimizar el tiempo usado y predecir complicaciones.

Los simuladores en el área de medicina son herramientas importantes en el aprendizaje de técnicas complejas como el acceso venoso central, ya que los estudiantes pueden afrontar diferentes situaciones o casos de estudio optimizando sus habilidades para

realizar el procedimiento. Estas herramientas ofrecen ventajas ya que permiten interactuar de manera repetitiva con las estructuras anatómicas y visualizarlas desde diferentes perspectivas algo que es difícil de realizar con pacientes reales.

ALCANCE O DELIMITACIÓN DE LA PROPUESTA

La propuesta de investigación se realizó en el Centro de Realidad Virtual de la Universidad Militar Nueva Granada en el segundo semestre del año 2014, con el propósito de evaluar los diferentes recursos que existen en el área de Realidad Aumentada e implementar de esta manera un simulador que permita su utilización de una manera apropiada en la solución de un problema como lo es el adecuado entrenamiento en una técnica como el Acceso Venoso Central.

Se plantea desarrollar un prototipo que integre a nivel visual la interacción entre el instrumental y el tejido utilizando técnicas de realidad aumentada. Se propondrá como trabajo futuro la integración de un sistema háptico con realimentación de fuerza al prototipo desarrollado.

Para la realización del presente proyecto se utilizó el hardware y software existente y sujeto a disponibilidad en el Centro de Realidad Virtual de la Universidad Militar Nueva Granada.

METODOLOGÍA

- Revisión documental acerca del procedimiento de Acceso Venoso Central y caracterización del mismo.
- Investigación y evaluación de los diferentes sistemas de seguimiento, librerías existentes y hardware para RA para determinar las más adecuadas en la implementación del prototipo.
- Modelado del instrumental en 3D teniendo en cuenta sus propiedades físicas.
- Modelado de la interacción visual entre tejido e instrumental.
- Implementación del sistema de RA integrando la parte de software y los modelos desarrollados anteriormente.
- Realización de pruebas con los sistemas de visualización para RA disponibles en el CRV.
- Evaluación del prototipo final.
- Elaboración de un artículo que resuma el procedimiento realizado.

II. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se presenta una descripción y definición del concepto de Realidad Aumentada, haciendo un recorrido por sus técnicas y las herramientas necesarias para su ejecución, mencionando algunas de las múltiples aplicaciones que tiene, haciendo énfasis en el ámbito médico. En segundo lugar se describe a fondo el procedimiento de acceso venoso central, incluyendo el instrumental necesario dando importancia a la técnica subclavia infraclavicular usando Seldinger modificado.

1. REALIDAD AUMENTADA

La *Realidad Aumentada* puede explicarse como un modelo de interacción que aumenta escenas obtenidas del mundo real con información generada por computador. Así la escena que perciben los sentidos está enriquecida con información que no existe en el escenario físico proporcionada por un sistema de software.

Se podría definir como una técnica de visualización que combina un escenario real con una escena virtual generada por computadora, compuesta por información que no es detectable por los sentidos humanos, en la que los objetos virtuales se superponen con la escena real [1]. Siendo el propósito final de esta técnica crear un sistema en el que el usuario no pueda notar la diferencia entre el mundo real y el aumento virtual de este, le parecerá estar observando una única escena [2]. La RA se diferencia entonces de la Realidad Virtual (RV) en que en la RA el usuario mantiene la sensación de presencia en el mundo real mientras que en la RV, se realiza una inmersión del usuario en un ambiente virtual mediante el uso de sensores y actuadores que interactúan con los diferentes sentidos, diferencia que se convierte en estudio de investigación hacia principios de los 90. En 1997 R. Azuma plantea que para que un sistema sea comprendido en la RA este debe combinar elementos reales y virtuales en un entorno real, ser interactivo en tiempo real y registrar y posicionar la información virtual teniendo en cuenta la tridimensionalidad del mundo real [3], posicionando estos sistemas entre las realidades mixtas, concepto que nace a partir del continuo virtualidad-realidad planteado por Malgram y Kishino en 1994 (Figura 1), que incluye todas las posibles variaciones y composiciones entre elementos virtuales y reales .



Figura 1 Continuo virtualidad-realidad, modificado de [4]

De izquierda a derecha aumenta el grado de información creada por software, en la combinación de lo real y lo virtual, presentando la RA como solo una de las posibilidades de realidad mixta y por otro lado la virtualidad aumentada concebida como un entorno virtual con algunos aspectos de la realidad.

Las aplicaciones de RA pueden ser de dos tipos dependiendo de si involucran dispositivos o no (lentes, Head-mounted Displays), haciendo que no sea necesario el uso de la pantalla de una computadora para percibir los objetos virtuales o las que no requieren de estos ya que se puede visualizar la información virtual sobre un video de las escenas reales. Sin embargo para implementar cualquier sistema de RA es necesario cumplir con cuatro tareas fundamentales: la captación de la escena real, su posterior identificación, la mezcla de la realidad y la información virtual y por último la visualización de esta, en la Figura 2 se puede observar un esquema que describe este procedimiento.

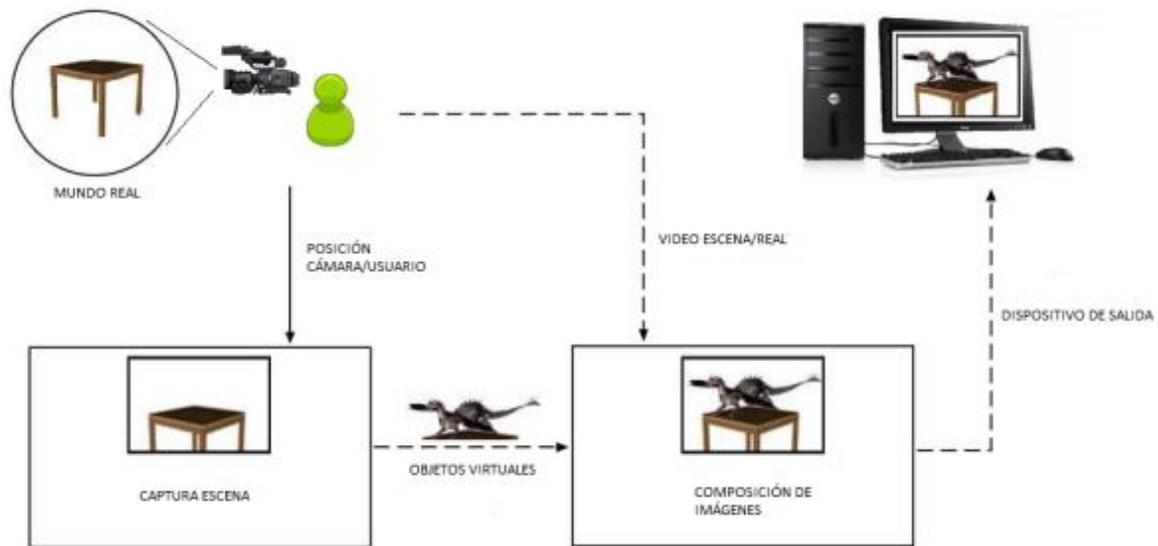


Figura 2 Esquema funcionamiento sistema típico de RA

A la hora de implementar un sistema de RA es necesario conocer las diferentes técnicas y herramientas que se utilizan en su desarrollo, para así poder a la hora de realizar un diseño propio evaluarlas y escoger las más adecuadas dependiendo del objetivo que se quiera lograr. Entre estas técnicas y herramientas se encuentran los componentes básicos de la RA, los dispositivos de hardware y software existentes y los diferentes métodos de composición de las escenas reales con la información virtual. A continuación se realiza un resumen de cada uno de estos conceptos.

1.1. COMPONENTES DE REALIDAD AUMENTADA

1.1.1. Generador de Escena

Es el dispositivo o software encargado de renderizar la escena, tarea que no representa mayores problemas ya que varios objetos necesitan ser dibujados y no se precisa que todos sean realistas con el fin de servir a los propósitos de la aplicación en sí [5]. Para que la mezcla de estos dos entornos sea consistente para el ojo humano se debe procurar que el entorno virtual guarde propiedades de perspectiva, oclusión y sombreado [6], una correcta perspectiva se consigue cuando las imágenes de cada entorno coinciden geoméricamente, haciendo primordial el correcto registro de la cámara en tiempo real.

Identificación de Escenas

El proceso de identificación de escenas consiste en averiguar qué escenario físico real es el que el usuario quiere que se aumente con información virtual. Este proceso puede llevarse a cabo, básicamente, de dos maneras: utilizando marcadores o sin utilizarlos [7].

- *Reconocimiento por marcadores*

Un marcador es un objeto conocido por el sistema de RA, el cual puede identificarlo por su geometría, color o la combinación de estas. Para este procesamiento se pueden utilizar técnicas de procesamiento digital de imágenes incluyendo segmentación y similitud de imágenes. Algunos sistemas que utilizan esta técnica de detección de marcas son ARToolKit [8] y ARTag [9], en la Figura 3 se muestra un ejemplo de reconocimiento por marcadores. Estos sistemas están compuestos por librerías que utilizan las técnicas de visión por computador anteriormente descritas, al ser estas abiertas al público y al requerir tan solo de una cámara y los marcadores, hacen de estos los más utilizados por su economía y flexibilidad.



Figura 3 Ejemplo de RA con marcadores

- *Reconocimiento sin marcadores*

También se puede reconocer la escena real por medio de técnicas de estimación de posición del usuario o reconocimiento de imágenes, como ejemplo se pueden mencionar los sistemas que registran rasgos naturales (natural feature tracking), en los cuales se identifican una serie de puntos entre una imagen testigo y una imagen capturada en tiempo real de tal manera que la correspondencia entre ambas imágenes describe la matriz de transformación, la cual establece los parámetros de posición y orientación de la cámara. Entre los sistemas que utilizan esta técnica se puede encontrar la librería BazAR [10], un ejemplo del uso de esta se puede encontrar en la Figura 4.



Figura 4 Ejemplo de utilización de BazAR

1.1.2. Sistema de seguimiento de posición y orientación (Tracking)

Para conseguir que la mezcla entre las imágenes reales y las virtuales se realice de manera óptima es necesario que una cámara virtual se alinee con el punto de vista del observador, a esto se le conoce como Tracking, esta estimación puede llevarse a cabo utilizando diversas estrategias que conseguirán más o menos precisión a un mayor o menor costo. Es así una de las tareas más importantes y que causa mayores problemas a raíz de los problemas de registro de de posición y orientación [11]. Los objetos en el mundo real y virtual deben estar apropiadamente ubicados uno respecto al otro, sino la ilusión que se le debe brindar al usuario de coexistencia de estos dos se verá comprometida, muchas aplicaciones exigen un registro adecuado y robusto especialmente en el área de la medicina [12]. Para escoger la estrategia correcta es preciso realizar un previo análisis del entorno en el que trabajará la aplicación y del problema que se busca resolver. A continuación se explicarán algunas de estas técnicas.

- *Tracking con sensores inerciales*

Suelen estar compuestos por un casco sobre el que se monta la cámara y los sensores necesarios para medir los seis grados de libertad (GDL) del movimiento de ésta, los movimientos de traslación usualmente se miden con acelerómetros mientras que las rotaciones con giroscopios.

Utilizando esta técnica se suele conseguir una precisión bastante elevada ya que se realiza una medición directa del movimiento, aunque la mayoría son equipos de elevado costo, además necesitan comenzar en la posición inicial de la cámara lo que atribuye que después de un cierto tiempo se presente acumulación de errores (drifting).

- *Tracking con sensores magnéticos*

Consiste en la generación de campos magnéticos artificiales y la medición de los campos a los que se expone la cámara para así hallar su seis GDL, para esto se tiene un emisor con tres bobinas ortogonales y de un sensor con bobinas similares.

La principal ventaja de utilizar esta técnica es que da una buena precisión a una elevada frecuencia de muestreo y su precio reducido, sin embargo son sensibles a interferencias electromagnéticas, presentes en cualquier aparato electrónico, lo que provoca errores en las mediciones. Estos sistemas son utilizados en la captura de movimientos en películas o videojuegos [13].

- *Tracking con sensores ópticos*

Para la implementación de esta técnica se utilizan las imágenes captadas por cámaras de vídeo para calcular los GDL del observador, siendo su principal ventaja su reducido coste, aunque invierten gran carga computacional para poder ejecutarse en tiempo real. Existen muchas variantes de este tipo de tracking clasificados por número de cámaras y por si es necesario usar marcadores externos o no.

1.1.3. Visualización

La tecnología e investigación en la realidad aumentada están en constante desarrollo y las soluciones dependen de decisiones que se tomen para el diseño de determinada aplicación. La mayoría de los dispositivos de visualización utilizados en esta técnica son HMD (Head-mounted Displays) pero existen otras soluciones que se presentarán más adelante. En términos de desarrollo esta parte sigue siendo un impedimento para muchas aplicaciones ya que todavía no existen dispositivos see-through que posean suficiente brillo, resolución, campo visual y contraste que permitan combinar a la perfección un amplio número de información virtual y real, sin contar con que muchas de las tecnologías que ya han alcanzado algunas de estas propiedades tienen costos muy elevados [5].

La primera tarea a llevar a cabo en el desarrollo de un sistema de RA es la captura e identificación de la escena que se desea aumentar, tarea con mayor importancia cuando se utilizan técnicas de reconocimiento visual, siendo indispensable el uso de dispositivos que permitan captar la realidad para que después pueda ser procesada. Estos dispositivos pueden agruparse principalmente en dos conjuntos: los dispositivos *see-through* y los dispositivos *video-through*, cuya diferencia radica en que los primeros además de capturar la realidad también muestran al usuario la escena ya aumentada.

- *See-through óptico*

Funcionan básicamente a través de un arreglo de espejos ubicados al frente de los ojos del usuario, quien podrá ver por propiedades transmisivas de estos espejos el mundo real y por reflexión las imágenes virtuales producidas por los monitores (ver Figura 5). Algunos ejemplos de esta tecnología se pueden encontrar en sistemas aplicados a la medicina en simuladores de cirugía [14] y en la superposición de imágenes de ultrasonido en un paciente real [15], entre otras.

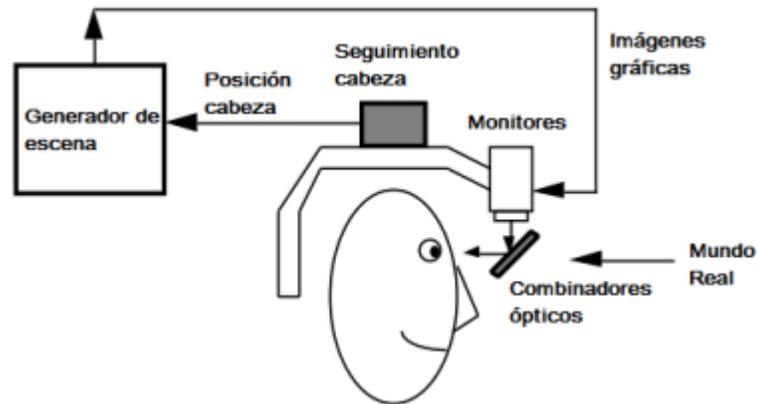


Figura 5 Diagrama conceptual HMD See-through óptico, modificado de [3]

- *See-through video*

Trabajan combinando un Head-mounted Display con una o dos cámaras montadas sobre este, estas cámaras le permiten al usuario visualizar el mundo real, así el video grabado por estas se une con las imágenes gráficas creadas por el generador de escenas y el resultado final se envía al Head-mounted Display. La Figura 6 muestra un esquema representativo de esta tecnología.

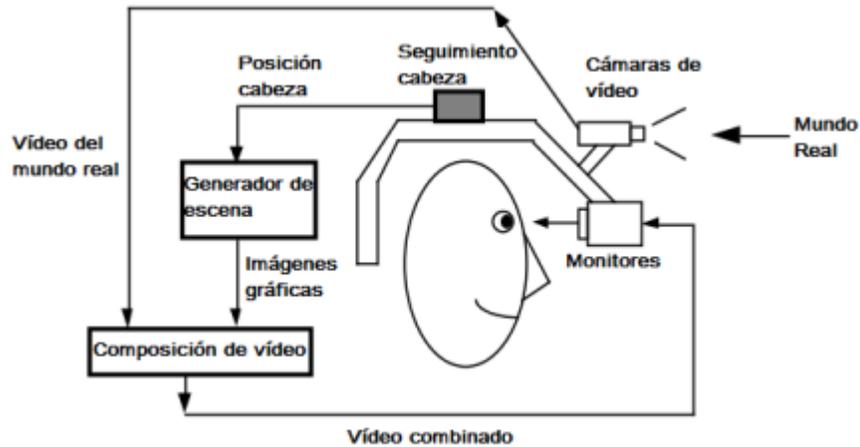


Figura 6 Diagrama conceptual HMD See-through vídeo, modificado de [3]

Habiendo identificado los componentes utilizados en la RA, los equipamientos de hardware y software que serán necesarios dependerán de la técnica utilizada y del propósito del sistema que se quiera implementar. A continuación (Tablas 1 y 2) se presentará un resumen de los diferentes elementos de hardware y software que son habituales en el desarrollo de un sistema que utilice esta técnica.

Método	Elemento de Hardware
Captura video-through	Todo tipo de cámaras de vídeo
Captura see-through	Cámaras integradas de vídeo, HMD
Tracking inercial	Acelerómetros y giroscopios
Tracking magnético	Emisor y sensor magnéticos
Tracking óptico	Cámaras de vídeo
Tratamiento de imágenes	Procesador con velocidad de procesamiento igual o superior a 2GHz.
Almacenamiento	Disco duro convencional
Visualización video-through	Pantallas de vídeo, monitores, proyectores
Visualización see-through	HMD, teléfonos móviles

Tabla 1 Elementos habituales de hardware en un sistema de RA

<i>Método</i>	<i>Elemento de Software</i>
Captura de la escena	Controladores de las cámaras de vídeo
Modelado del contenido virtual	Suite de gráficos 3D
Generación de escena y visualización de contenidos	Entorno de programación para el render de la escena.
Identificación de escenas	Librerías de RA

Tabla 2 Elementos habituales de software en un sistema de RA

1.2. APLICACIONES DE RA

A continuación se detallarán algunas de las posibilidades de aplicación en diferentes campos, que día a día aumentan con la difusión de esta tecnología. La primera de ellas es en el campo de la medicina, área de gran relevancia ya que facilita en gran medida el trabajo a la hora de realizar intervenciones en el paciente, de tal manera que la mayoría de estas aplicaciones están orientadas a la cirugía guiada por imágenes (Figura 7) [16]. La recolección de las imágenes obtenidas de estudios preoperatorios del paciente, tales como CT (tomografía computarizada) o MRI (Imagen por Resonancia Magnética), proporcionan al cirujano la visión necesaria de la anatomía interna. La visualización de la ruta a través de la anatomía de la zona afectada se hace creando primero un modelo 3D a partir de los múltiples puntos de vista y las imágenes obtenidas con anterioridad y este modelo se proyecta luego sobre la superficie objetivo para ayudar al procedimiento quirúrgico o se muestra en pantallas que hacen parte del instrumental en la sala de operaciones.



Figura 7 Ejemplo de cirugía guiada aplicando RA

Por otro lado desde hace bastante tiempo formas simples de RA han estado presentes en el entretenimiento y la publicidad o noticias, por ejemplo en el informe del tiempo cuando el presentador permanece de pie frente a una pantalla en la que se van mostrando cambios del clima a partir de imágenes generadas por computadora; en el área del entretenimiento se pueden observar desarrollo de juegos tanto en dispositivos móviles como en consolas (Figura 8).



Figura 8 Aplicación EyePet para consolas Sony [17]

La RA puede aplicarse también en el campo del ensamble y el mantenimiento, haciendo de las instrucciones más fáciles de entender con dibujos 3D superpuestos al equipo y mostrando paso a paso las acciones que se deben realizar y el cómo hacerlas, un ejemplo claro de estas aplicaciones fue desarrollado por la compañía BMW (Figura 9) en la cual se le dan instrucciones claras al operario de mantenimiento acerca de como retirar y cambiar algunos componentes en el vehículo.



Figura 9 Ejemplo de RA en ensamble y mantenimiento de vehículos [18]

Por último otra utilización de esta tecnología se encuentra en los sistemas tele-operados, que son comúnmente utilizados en la medicina y la industria, permitiendo el manejo remoto de un robot *slave* (ubicado en una zona remota) a través de los movimientos realizados en un robot *master* (localizado en el espacio de trabajo). La contribución de la RA a esta área es significativa ya que brinda la posibilidad de simular virtualmente la tarea (por ejemplo una cirugía) y así poder probar su funcionamiento antes de llevar a cabo la operación (Figura 10).



Figura 10 Ejemplo de cirugía virtual usando brazos robóticos (2007, Intuitive Surgical, Inc.)

2. ACCESO VENOSO CENTRAL

La cateterización venosa es una intervención necesaria y muy empleada en neonatos debido a la necesidad de aportar líquidos, nutrición parenteral o fármacos [19]. Consiste en introducir catéteres en los grandes vasos venosos colocando su punta distal en la vena cava superior, la aurícula derecha o en la vena cava inferior. Los catéteres pueden dividirse de forma general en tunelizados o no tunelizados, siendo tunelizado el que posee un trayecto subcutáneo antes de su salida del cuerpo a través de una pequeña incisión realizada en la piel, o en reservorios subcutáneos que disponen de un dispositivo situado bajo la piel que se utiliza para la punción y se conecta directamente con el catéter (ver Figura 13).



Figura 11 Ejemplos de catéteres venosos centrales a) catéter reservorio, b) catéter tunelizado (Hickman), c) catéter no tunelizado (PICC)

La técnica más utilizada para la inserción del catéter es la descrita por Seldinger, la cual, a través de una guía metálica dirige el catéter hasta su ubicación final. A continuación se analizarán las indicaciones, contraindicaciones, la elección del sitio de inserción y las posibles complicaciones que pueden presentarse.

2.1. TÉCNICA DE SELDINGER MODIFICADA

La técnica de Seldinger modificada (MST) es una técnica mínimamente invasiva, en la que el practicante accede al vaso con una aguja de pequeño calibre y luego se dilata al tamaño requerido para el catéter. En primer lugar se localiza la vena mediante una aguja fina, una vez obtenido flujo de sangre se introduce una guía metálica flexible a través de la aguja y se avanza un catéter apoyándose en la guía sujetándola de manera firme para que no se deslice, cuando el catéter ha accedido lo suficiente se debe retirar la guía finalmente para comprobar si este ha quedado en la posición correcta se realiza una técnica de imagen (radiografía de tórax, ecocardiografía, etc.) [20].

Equipamiento necesario

El procedimiento debe realizarse con la máxima asepsia, ya que se conecta el exterior con el espacio intravascular, con el riesgo de infección que ello conlleva. En la ilustración 14 se muestra el equipamiento necesario para el procedimiento, sin incluir la bata quirúrgica, los guantes estériles, el tapabocas y el gorro que son indispensables en cualquier procedimiento para evitar complicaciones por infecciones.

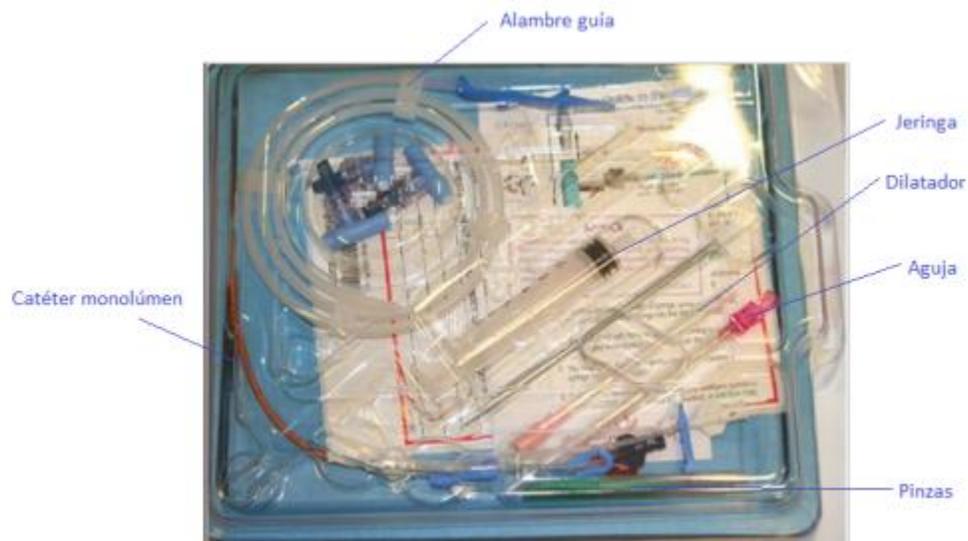


Figura 12 Materiales necesarios para procedimiento de acceso venoso central, modificado de [21]

Los demás materiales a utilizar son los siguientes:

- Gasa y solución de yodopovidona.
- Catéter venoso central, dependiendo de la necesidad puede ser unilúmen o multilúmen (ver Figura 13).
- Jeringa con aguja estéril.
- Pinzas.
- Alambre guía para acceso venoso central, útil para encontrar la vena a partir de una correcta inserción.
- Dilatador para permitir el mejor paso del catéter.
- Vendaje transparente y sutura, para asegurar el catéter.

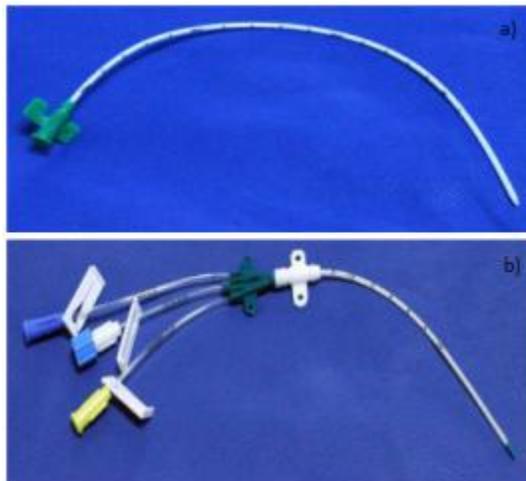


Figura 13 a) Catéter monolúmen, b) Catéter multilúmen

Descripción de la Técnica

A continuación se explicará más a fondo la técnica, planteando pasos importantes a seguir, en la Figura 14 se puede observar la técnica a profundidad.

a) Medir la distancia desde la zona de punción hasta la entrada de la aurícula derecha.

b) Realizar la punción venosa con aguja y jeringa aspirando hasta que refluya sangre.

- c) Introducir la guía blanda a través de la aguja hasta la distancia que se ha medido con anterioridad.
- d) Retirar la aguja y dejar la guía.
- e) Realizar una incisión en la piel para introducir el dilatador a través de la guía.
- f) Introducir el dilatador a través de la guía hasta llegar al vaso para evitar lesionarlo.
- g) Retirar el dilatador e introducir utilizando la guía el catéter.
- h) Retirar la guía y comprobar que refluyen todas las luces del catéter.
- i) Realizar radiografía o análisis de imagen para comprobar la correcta situación del catéter.
- j) Fijar el catéter con puntos de sutura.



Figura 14 Procedimiento paso a paso AC, tomado de [21]

Elección sitio de inserción

Cuando se quiere elegir el sitio de inserción se debe considerar el tiempo de utilidad necesario del catéter y el riesgo que exista de complicaciones, basándose en esto [22] plantea ventajas y desventajas de realizar el procedimiento por vena yugular interna, vena subclavia y vena femoral, como se describen a continuación:

- *Vena yugular interna*: como principal ventaja presenta el fácil acceso y el bajo riesgo de falla cuando no se tiene experiencia suficiente, no debe usarse por períodos prolongados y se tiene riesgo de punción arterial.

- *Vena subclavia*: es fácil de mantener, confortable, presenta baja tasa de infecciones pero como desventaja existe un alto riesgo de neumotórax.
- *Vena femoral*: presenta una gran tasa de éxito y sin riesgo de grandes lesiones vasculares, pero se asocia a altas tasas de infección por lo que se recomienda su uso en forma provisional.

Complicaciones

Pueden presentarse complicaciones mecánicas (punción arterial, neumotórax, malposición del CVC, etc.) que pueden depender de factores correspondientes al operador del procedimiento, al paciente o al tipo de catéter a usar que en mayor o menor medida determinan el riesgo de una complicación y su posible prevención [23].

En cuanto a complicaciones infecciosas se puede presentar colonización del catéter, cuando crece un organismo en el catéter probado por cultivos cuantitativos; infección del sitio de salida del catéter o infección sistémica relacionada con el catéter. En la tabla 3 se puede observar cuales son los riesgos de complicaciones según el sitio de inserción del catéter, tomando como referencia la enunciada por Graham [21].

Complicación	Riesgo de complicación según sitio de cateterización		
	Vena Yugular Interna	Vena Subclavia	Vena Femoral
Neumotórax (%)	<0.1-0.2	1.5-3.1	NA
Hemotórax (%)	NA	0.4-0.6	NA
Infección (tasa por 1000 días-catéter)	8.6	4	15.3
Trombosis (tasa por 1000 días-catéter)	1.2-3	0-13	8-34
Punción arterial (%)	3	0.5	6.25
Malposición	Bajo riesgo	Alto riesgo	Bajo riesgo

Tabla 3 Riesgo de complicaciones según el sitio de inserción del catéter *NA: no aplica

III. ESTADO DEL ARTE

Actualmente existen diversas aplicaciones de RA Y RV que han sido utilizadas para la enseñanza de algún contenido que el educando requiere ser capaz de manejar en un alto nivel de abstracción para comprenderlos y aplicarlos. Estas tecnologías al permitir interactuar con distintos elementos proporcionan a los alumnos capacidades de percibir y controlar objetos que de otra forma sería imposible, y, en el caso de la RA al no eliminar por completo el contexto real facilita que el aprendizaje sea realizado sin dejar de lado la comunicación y la colaboración tanto de los pares como de los docentes que pueden ser necesarios en distintas situaciones. Partiendo del hecho de la educación con estas herramientas en el campo médico se pueden encontrar diversas aplicaciones que permiten el entrenamiento en diversos procedimientos, enseguida se enunciarán los avances utilizando estas tecnologías en el área pertinente de investigación, Acceso Venoso Central, partiendo de simuladores básicos que se utilizan en las escuelas hasta llegar a simuladores más avanzados que utilizan técnicas de RA y RV.

SIMULADORES DE ACCESO VENOSO

Comercialmente se pueden encontrar modelos físicos de adulto y niño para la simulación del acceso venoso central (<http://www.bluephantom.com/>, <http://www.medical-simulator.com/>), estos modelos están contruidos con materiales que presentan propiedades semejantes a las de los tejidos humanos en cuanto a elasticidad, color y textura (ver Figura 15). Aunque estos simuladores son una buena herramienta de entrenamiento dada la similitud física y el comportamiento mecánico de estos modelos comparados con las características de un paciente real no logran representar eficientemente la anatomía humana.



Figura 15 Gen II Ultrasound Central Line Training Model

SISTEMAS DE ENTRENAMIENTO PARA EL ACCESO VENOSO CENTRAL CON REALIDAD VIRTUAL Y REALIDAD AUMENTADA

En la literatura reciente [24] [25] se encuentran algunos simuladores virtuales de acceso vascular, estos implementan modelos biomecánicos que se asocian a objetos tridimensionales que representan tejidos como piel y vasos sanguíneos (Figura 16). Estos sistemas están día a día en constante actualización para así suplir las necesidades académicas, al elaborar modelos físicos con características mecánicas y visuales similares a los tejidos reales e incluyendo herramientas computacionales de realidad virtual y aumentada para interactuar con información asociada al procedimiento.

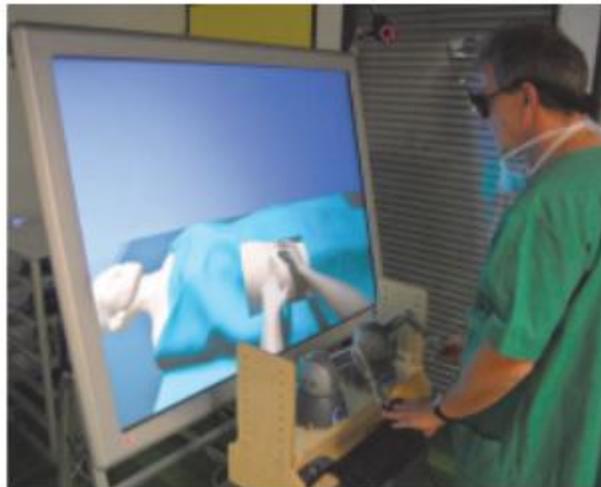


Figura 16 Simulador RV con háptica, tomada de [24]

En el artículo *Mixed simulators: Augmented physical simulators with virtual underlays* [26] se presenta un sistema de simulación para el AVC por subclavia. Este sistema se compone de un modelo físico y un ambiente virtual, basados en la información anatómica de un adulto extraída de imágenes de Tomografía Computarizada y de Resonancia Magnética. El modelo físico representa la piel y los huesos, mientras que en el ambiente virtual además de estas estructuras también se representan los vasos y los pulmones. Una jeringa puede ser manipulada sobre el modelo físico y existe una representación virtual de ésta que sigue sus movimientos. El sistema es capaz de detectar cuando el procedimiento de la inserción de la aguja es correcto, y cuando se presentan complicaciones como la punción de los pulmones. Su principal ventaja es que la información virtual se complementa sobre el modelo físico.

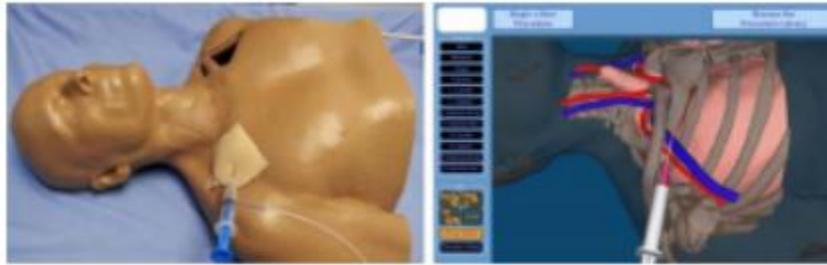


Figura 17 Simulador mixto de AVC, tomado de [26]

En la revista *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, específicamente en el artículo *Peripherally Inserted Central Catheter Placement Using the Sonic Flashlight*, se expone el desarrollo de un dispositivo llamado “Sonic Flashlight” [27], para visualizar en la misma línea de vista entre el observador y el paciente, imágenes de ultrasonido adquiridas en tiempo real de la ubicación de los grandes vasos de interés. Este dispositivo cuenta con un sonda para la adquisición de las imágenes, y junto a ella y sobre la superficie de la zona anatómica explorada, se encuentra un cristal semi-transparente sobre el cual son proyectadas las imágenes adquiridas. Esta superposición de información favorece en el control de la punción en el AVC, dado que se tiene una continua observación de lo que se realiza con las manos y de lo que ocurre debajo de la piel cuando una aguja la atraviesa. Se requiere un entrenamiento previo para el uso de este sistema, comprendiendo principalmente su método de calibración. Este dispositivo se encuentra en pruebas clínicas.

La compañía Laerdal cuenta con una patente en esta área [28], *Vascular-Access Simulation System with Receiver for an End Effector*, en donde se utiliza un dispositivo háptico que proporciona la interfaz física en la que un efector de extremo (por ejemplo, instrumento médico, tal como una aguja, catéter, etc) se manipula para simular la inserción de la aguja. Los sensores que están asociados con el receptor controlan el movimiento y la posición del efector final, generan señales indicativas de los mismos, y transmiten las señales al sistema de procesamiento de datos, de tal manera que estas señales se procesan para determinar las diversas fuerzas resistivas que se producirían si el usuario estuviera manipulando una aguja o catéter a través de la anatomía humana real. En respuesta el receptor genera fuerzas que el usuario experimenta como resistencia al avance.

De acuerdo con la revisión de la literatura, son pocos los desarrollos en simuladores físicos o virtuales especializados en acceso central venoso, es por esto que con el apoyo de la Universidad Militar Nueva Granada en el grupo de investigación Davinci, una rama está orientada a desarrollar este tipo de sistemas que pueden lograr un mayor impacto en el entrenamiento que debe realizarse en el procedimiento al lograr un alto grado de realismo que lo que se ha logrado con los sistemas físicos tradicionales. Hasta el momento se han realizado avances en la creación de un simulador que integra una guía

del procedimiento para su correcta realización, la utilización de un sistema háptico para incrementar el realismo y un maniquí como los mencionados con anterioridad, de un recién nacido, sobre el cual se proyectan imágenes del sistema venoso para orientar al practicante en la correcta utilización de la técnica del acceso venoso central [29]. El presente trabajo proyecta ampliar el grado de realismo del simulador en desarrollo al registrar imágenes del mundo real y mezclarlas con objetos virtuales.

IV. HERRAMIENTAS Y MODELADO INSTRUMENTAL

EVALUACIÓN HERRAMIENTAS DISPONIBLES

Al igual que cualquier sistema informático un sistema de RA requiere de componentes de Hardware y Software sobre los que se llevan a cabo las acciones deseadas, de tal manera que los requerimientos básicos para la creación de esta aplicación son: una suite de modelado 3D para poder modelar los objetos virtuales (instrumentación) que aparecerán en la escena 3D, una librería de RA, una aplicación de desarrollo multimedia y finalmente dispositivos (hardware) que permitan la visualización de la aplicación, con sus respectivos controladores. En el presente capítulo se evaluará cada una de las herramientas disponibles en el centro de realidad virtual de la UMNG, así como las de libre acceso, especificando sus características y resaltando su utilidad en el desarrollo del prototipo, según lo requerido.

1. SUITE DE MODELADO 3D

Además de modelar los objetos virtuales necesarios para el prototipo, se requiere que la suite escogida pueda generar una escena en la que se simulen diferentes escenarios de iluminación y color sobre los modelos. Teniendo en cuenta lo anterior se pueden establecer algunas características que debe cumplir la mejor alternativa a escoger:

- Poco período de aprendizaje, ya que al ser el modelado solo un apartado del proyecto, no puede invertirse tanto tiempo en el aprendizaje de una herramienta.
- Disposición de una licencia en el CRV de la UMNG o estar basado en Software libre.
- Existencia de documentación y soporte.
- Presentar compatibilidad entre versiones, tanto anteriores como nuevas.
- Permitir exportar los modelos en formatos que después puedan ser usados en la aplicación de desarrollo multimedia.
- Suficientemente potente como para que los modelos generados se asemejen a la realidad, tanto en forma como en tamaño.

De acuerdo a lo anterior se procede a evaluar las siguientes herramientas: *SolidWorks* [30], *Blender* [31] y *Autodesk Maya* [32]. A continuación se describe cada una de ellas, para finalmente realizar una comparativa basándose en las características que deben soportar.

1.1. SolidWorks

Es un programa de diseño asistido por computador (CAD) que corre bajo el sistema operativo Microsoft Windows; permite modelar piezas y conjuntos basándose en medidas exactas, y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción, incluyendo la exportación de piezas en formato .stl el cual es usado para prototipado rápido. El proceso base para modelar es partir de planos y figuras geométricas básicas y mediante las múltiples operaciones que brinda poder convertirlos en sólidos.

Actualmente se cuenta con licenciamiento de esta herramienta en su versión 2013 en el Centro de Realidad Virtual de la UMNG.

1.2. Blender

Es un programa multiplataforma que ofrece herramientas para el modelado, animación y creación de gráficos tridimensionales, además de permitir acceder a las diferentes operaciones mediante scripting usando Phyton. Posee una interfaz gráfica un poco diferente a lo convencional en este tipo de suites, pero cuenta con la ventaja de poder personalizar la distribución de los menús y vistas de cámara.

Actualmente es compatible con las plataformas de Windows, Mac OS, Linux, entre otras. La última versión es la 2.73a.

1.3. Autodesk Maya

Es un programa dedicado al desarrollo de gráficos en 3D, efectos especiales y animación, se caracteriza especialmente por la gran cantidad de herramientas que ofrece en cuanto a modelado, animación, render, simulación de ropa y cabello, dinámicas físicas, entre otras; lo que permite expandir y personalizar su interfaz. Brinda además la posibilidad de realizar mediante scripting operaciones usando el lenguaje MEL (Maya Embedded Language).

Autodesk permite solicitar una licencia estudiantil de esta plataforma en sus últimas versiones, la versión actual es la 2015.

Habiendo ya descrito cada una de las herramientas de modelado 3D a evaluar las características deseables mencionadas con anterioridad en la Tabla 4.

	<i>SolidWorks 2013</i>	<i>Blender 3D 2.73a</i>	<i>Autodesk Maya 2014</i>
<i>Principal uso</i>	Modelado, CAD	Videjuegos, animación, iluminación, modelado 3D, rendering.	Videjuegos, animación, iluminación, modelado 3D, rendering, edición de vídeo.
<i>Licenciamiento</i>	Se posee licencia en el CRV.	Gratuita.	Gratuita para estudiantes.
<i>Espacio en disco</i>	~5 GB	~60 MB	~5GB
<i>Documentación</i>	Buena	Excelente	Buena
<i>Conocimiento de la herramienta</i>	Conocimiento previo por curso en la UMNG	Poco	Nulo
<i>Interfaz</i>	Práctica e intuitiva	Flexible, poco intuitiva	Flexible, no intuitiva
<i>Compatibilidad entre versiones</i>	Permite abrir archivos de versiones anteriores en versiones nuevas	Permite abrir archivos sin importar versión	Permite abrir archivos de versiones anteriores en versiones nuevas
<i>Exporta a .obj o .fbx</i>	No	Si	Si

Tabla 4 Comparativa de características de suites de modelado 3D

Conclusión

Así, luego de haber comparado a fondo las tres herramientas de modelado 3D se toma la decisión de utilizar dos de estas de la siguiente manera: SolidWorks en el modelado preciso con medidas de el instrumental y su exportación a .STL formato que puede importarse a Blender 3D en el cual se realizará el texturizado y renderizado conveniente para que los objetos coincidan con la realidad.

2. APLICACIONES DE DESARROLLO MULTIMEDIA

Para el desarrollo de la aplicación se evaluarán principalmente dos entornos de programación orientados a la RA, para finalmente decidir en cuál de los dos es más conveniente implementarla. Se tendrán en cuenta características como: las plataformas que soporta cada aplicación, la posibilidad de importar modelos 3D, la documentación existente en el área de la técnica a utilizar (RA) y finalmente la opción de incluir el hardware existente en el CVR a la aplicación a través de la utilización de librerías.

2.1 Visual Studio 2010

Es un IDE usado para desarrollar programas para Microsoft Windows, así como sitios y aplicaciones web. Entre las herramientas que incluye se encuentran un editor de código, un diseñador de formularios para crear GUIs, un diseñador de clases y de bases de datos. Soporta diferentes lenguajes de programación, posee un depurador de apoyo que admite casi cualquier lenguaje de programación y permite compilar en C, C++, VB, C# y F#.

Entre las ventajas que posee esta herramienta se encuentra el que fue la primera aplicación multimedia en la que se desarrollaron librerías para visión artificial, como OpenCV, rendering y modelado 3D, como OpenGL y RA, como ARToolKit, lo que permite al usuario encontrar gran variedad de información y documentación acerca de procedimientos y prototipos realizados en esta plataforma; también el que se permite descargar una versión Express sin costo. Actualmente se cuenta con una licencia de Visual Studio 2010 en el CRV.

2.2 Unity 4.5.3

Principalmente es un motor de juegos multiplataforma que posee una interfaz intuitiva que permite al usuario poner a prueba su aplicación mediante un “modo de reproducción”, sin necesidad de compilarlo con anterioridad para una plataforma específica, lo que permite no solo trabajar a través de código sino también a través de modelos que se pueden visualizar y manipular en un entorno 3D, parecido al de una suite de modelado. Permite crear modelos simples como cubos y esferas o la importación de modelos más complejos; estos objetos (GameObjects) se posicionan en el mundo 3D y a partir de Scripts se les pueden dar funciones o comportamientos, estos Scripts pueden ser escritos en C#, JavaScript y Boo2.

A través de la página [33] se puede obtener la versión más reciente del software y descargarla sin costo alguno en su versión Free, también permite la opción de descargar su versión Pro y probarla durante un período de 30 días. En este portal igualmente se encuentra documentación muy completa acerca de cómo utilizar cada una de las

herramientas y diversas opiniones acerca de complementos y paquetes que se pueden incluir de manera gratuita, entre los cuales se encontraron varios orientados a la RA. Actualmente se cuenta con licencia para la versión Pro en el CRV de la UMNG.

Luego de haber expuesto las características que posee cada aplicación de desarrollo multimedia se procede a compararlas en la Tabla 5, para finalmente elegir la más adecuada para el desarrollo del prototipo.

	<i>Visual Studio 2010</i>	<i>Unity3D</i>
<i>Plataformas a las que se puede exportar la aplicación</i>	Microsoft Windows, Windows Phone.	Microsoft Windows, Mac OS X, Linux, IOS/Android, Web Player, BlackBerry, Xbox, PlayStation.
<i>Importación de modelos 3D</i>	Si, mediante uso de OpenGL, DirectX.	Si, propio de la aplicación, permite importar en diversos formatos.
<i>Documentación en el área de la RA</i>	Bastante. Existencia de diversas librerías, la mayoría orientadas a detectar imágenes; Metaio entre las que permite detectar objetos 3D (documentación más que todo orientada a Unity3D y AREL).	Bastante. Existencia de diversos plugins; Metaio y Vuforia entre los que permiten detectar objetos 3D.
<i>Inclusión de hardware para RA</i>	Si, mediante OpenCV.	Si, mediante uso de múltiples cámaras en la misma aplicación o mediante paquete MiddleVR.

Tabla 5 Comparativa aplicaciones de desarrollo multimedia

Conclusión

Al haber realizado la comparación entre las características más importantes para la implementación del prototipo, se decide trabajar en la herramienta Unity3D, ya que esta permite una interacción más directa al poder observar gráficamente como va quedando la escena de trabajo; además la documentación existente en los portales de las diferentes librerías, que incluyen plugins para esta aplicación, es muy completa y trae múltiples ejemplos de cómo usar cada utilidad en la detección del marcador, sea este una imagen u

objeto. Finalmente, se decide utilizar Unity3D ya que permite exportar a diversas plataformas ya que en este caso puntual se desea realizar una aplicación standalone.

3. LIBRERÍAS DE RA

La característica principal que debe cumplir la librería a elegir es el que soporte el tracking de un objeto 3D, ya sea mediante su modelo CAD o mediante un target que tenga la forma principal del objeto y en segundo lugar debe de ser compatible con la aplicación de desarrollo multimedia escogida con anterioridad *Unity3D*.

Para la puesta en marcha del desarrollo se decidió utilizar una jeringa de 3ml como objeto de seguimiento de posición y orientación, por lo cual después de una búsqueda por las librerías más populares en el mercado y de libre acceso, que implementen el Markerless Tracking (reconocimiento sin marcadores), se tomó la decisión de evaluar el desempeño de dos herramientas *Vuforia* de Qualcomm y *Metaio SDK*.

En primer lugar se realizará una breve comparativa entre las características que posee cada una de estas librerías al describirlas, luego se mostrarán las pruebas realizadas con cada una de estas enfocándose en las limitaciones que presentan, para finalmente escoger cual se va a utilizar en el desarrollo del prototipo.

3.1. *Vuforia de Qualcomm*

Es un Kit de desarrollo de software de RA (SDK) que permite la creación de aplicaciones utilizando técnicas de visión por computador para reconocer y rastrear imágenes planas y objetos 3D simples (cubos, cilindros y conos), en tiempo real.

Algunas características adicionales del SDK incluyen la detección de oclusión utilizando “Botones virtuales”, la selección de targets u objetivos de imagen en tiempo de ejecución y la capacidad de crear o reconfigurar los targets utilizando el portal TargetManager (<https://developer.vuforia.com/target-manager>).

En la última versión del SDK 4.0, disponible como opción beta desde el 20 de enero de 2015, se puede usar una aplicación para dispositivos Android que permite escanear un objeto 3D y guardar información respectiva a su tamaño y forma, para luego ser usada en la interacción con objetos virtuales (<https://developer-beta.vuforia.com/>).

3.2. *Metaio SDK*

Es un SDK para el desarrollo de aplicaciones utilizando RA, incluye entre sus características la implementación del reconocimiento con marcadores y sin marcadores, así como de códigos QR, en tiempo real. Entre el reconocimiento sin marcadores lo que más se destaca de esta herramienta es que permite el seguimiento de objetos 3D

mediante la configuración del tracking usando un archivo CAD, objetivo que se puede lograr utilizando *Metaio Creator* herramienta disponible para su descarga (<http://www.es.metaio.com/>).

Entre las características adicionales que ofrece este SDK se encuentra el poder cambiar los archivos de configuración del Tracking ya que son archivos .XML y mediante la documentación existente se pueden lograr mejores resultados.

Una vez presentados los SDK que se quieren evaluar se procede a realizar una comparativa entre las características que ofrecen (Tabla 6) y algunas pruebas con cada una de estas en el ambiente de desarrollo Unity3D, utilizando un modelo de una jeringa obtenido en la página GrabCad(<https://grabcad.com/library/10ml-syringe-1>).

	<i>Vuforia</i>	<i>Metaio</i>
<i>Licencia</i>	Libre	Libre con restricciones, marca de agua
<i>Tracking 3D</i>	Si, sólidos simples	Si, mediante modelo CAD
<i>Formatos objetos 3D virtuales</i>	.obj, .fbx	.obj, .fbx, .md2
<i>Documentación</i>	Completa	Completa
<i>Ejemplos</i>	Si, en la página web	Si, incluidos en el paquete para Unity

Tabla 6 Comparativa características librerías de RA escogidas

3.3. Pruebas de Tracking realizadas con Metaio

Se decidió probar la herramienta que más se destaca del SDK el tracking 3D basado en CAD, para lo cual se siguió la documentación de la página. En primer lugar se creó la configuración del Tracking utilizando *Metaio Creator* y luego se exportó esta configuración en un archivo .zip para implementar la escena en Unity3D (Ver en Anexo 1 información más detallada acerca de desarrollar con *Metaio* y Unity3D).

- Configuración del tracking 3D

La interfaz de *Metaio Creator* permite de manera intuitiva crear un nuevo Trackable, y ofrece diversas opciones de las cuales se escogió Object Tracking y se cargó el modelo de la jeringa a usar en formato .obj (Figura 18).

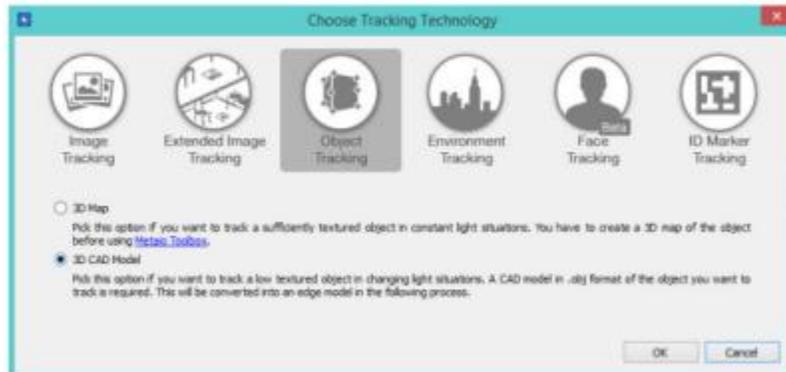


Figura 18 Selección de la técnica de Tracking a utilizar en Metaio Creator

Después de haber seleccionado el objeto 3D el software ofrece guía a través de su interfaz para crear dos modelos necesarios: el modelo de superficie y el modelo de líneas y una posición inicial desde la cual se comenzará el reconocimiento, los cuales conformarán la configuración del seguimiento del objetivo (Figura 19).



Figura 19 Configuración del Tracking usando Metaio Creator

- Escena de RA en Unity3D

La implementación en Unity se realiza mediante los prefabs que trae el paquete de Metaio y al importar el archivo .zip de la configuración del objetivo, en las Figuras 20 y 21 se puede apreciar la configuración de la escena y los resultados obtenidos al probar con el Objetivo en la vida real.

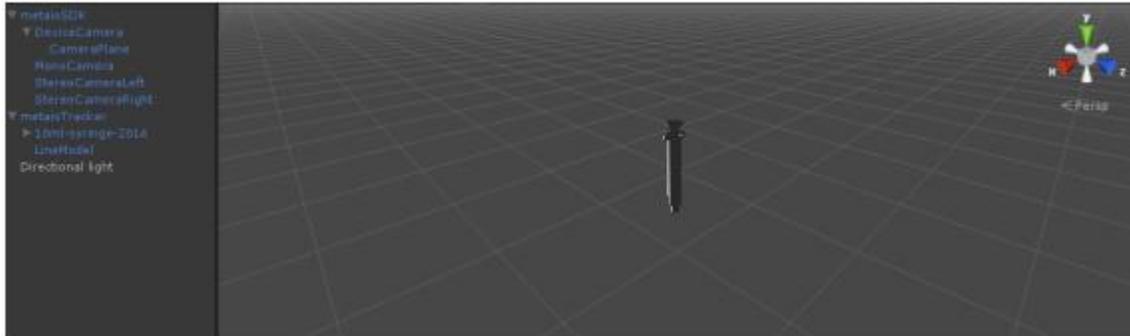


Figura 20 Implementación de la escena de RA en Unity3D usando Metaio



Figura 21 Resultados obtenidos con la posición inicial del objetivo

3.4. Pruebas de Tracking realizadas con Vuforia

Se decidió utilizar esta herramienta ya que la forma de la jeringa en general es cilíndrica, así mediante la aplicación de un Target Cilíndrico se podría hacer correctamente el reconocimiento de este objeto. A continuación se muestra la implementación paso a paso de la aplicación para el Tracking usando Unity3D y el Target Manager.

- *Creación de un Target Cilíndrico*

La imagen de fondo del objetivo debe ser rica en detalles, los cuales deben estar distribuidos de forma uniforme en toda la superficie del cilindro, no deben usarse patrones repetitivos y debe estar en formato PNG o JPG de 8 o 24 bits de menos de 2MB de tamaño. Teniendo en cuenta estas especificaciones del desarrollador (<https://developer.vuforia.com/resources/dev-guide/cylinder-targets>) se crea la

siguiente imagen (Figura 22) para ser usada, teniendo en cuenta las dimensiones en píxeles de la jeringa con un diámetro de 10mm y un largo de 60mm.



Figura 22 Imagen de fondo del Trackable

Luego de haber creado la imagen esta se debe subir al Target Manager con el cual se genera el archivo de configuración .xml que se encuentra incluido en el paquete que se importa a Unity3D (Figura 23).

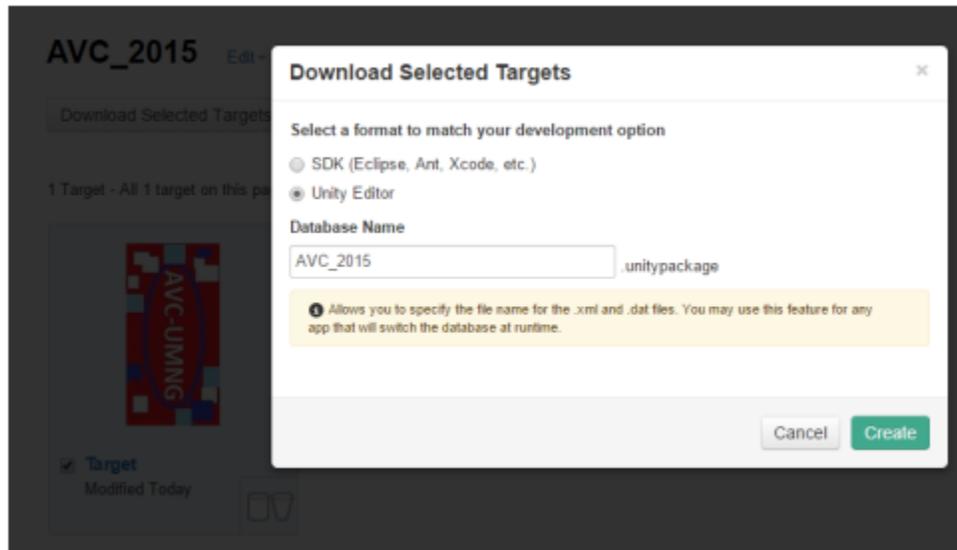


Figura 23 Utilización del Target Manager para la creación del objetivo

- *Escena de RA en Unity3D*

La implementación en Unity se realiza mediante los prefabs que trae el paquete de Vuforia y al importar la configuración del Target, en las Figuras 24 y 25 se puede apreciar la configuración de la escena y los resultados obtenidos al probar con el Objetivo en la vida real.

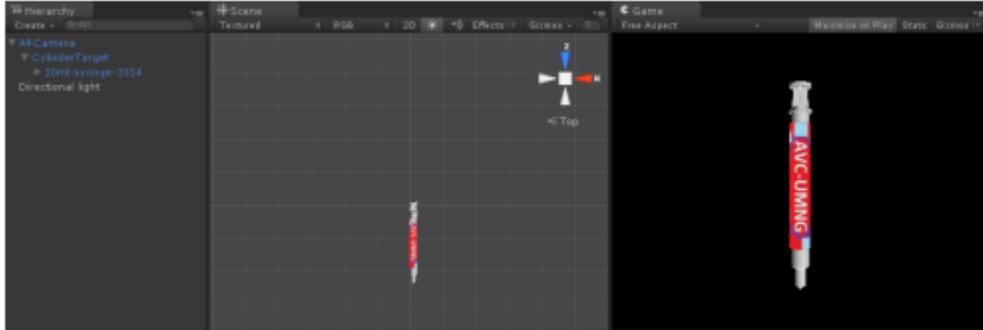


Figura 24 Implementación de la escena de RA en Unity con Vuforia

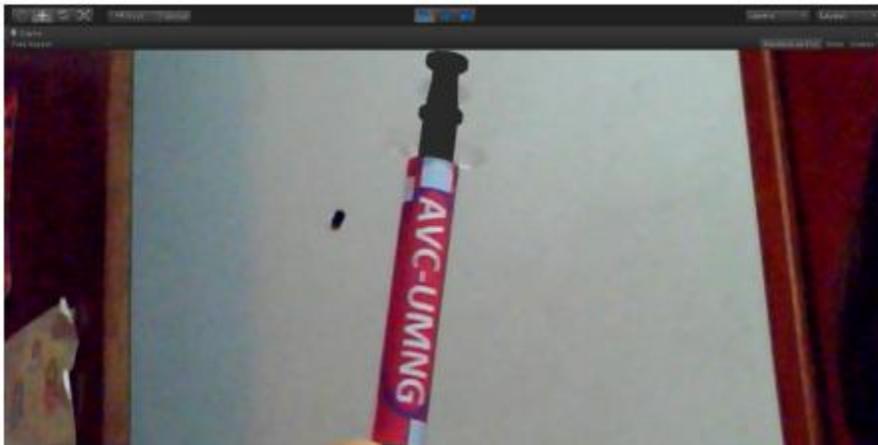


Figura 25 Resultados obtenidos con el Target cilíndrico sobre la jeringa de 3ml

Conclusión

Al comparar los resultados en las pruebas de la escena se observó lo siguiente:

- En la escena con Metaio el seguimiento del objetivo fue bastante robusto si se dejaba este en su posición inicial y se movía la cámara solamente, sin embargo al mover el objetivo se perdía el tracking por momentos y el objeto a aumentar aparecía de diferente tamaño y en diferente posición que el marcador. Se cree que influyó la iluminación al ser el objeto 3D reflectivo y casi transparente.

- En la escena con Vuforia el seguimiento del Target fue bastante robusto al cambiar este de posición y orientación, igualmente al cambiar de posición la cámara utilizada.

Finalmente se decidió utilizar la herramienta Vuforia de Qualcomm ya que fueron mejores los resultados obtenidos, sin embargo no se descarta la posibilidad de utilizar Metaio en desarrollos en los que el objetivo no necesariamente tenga que moverse.

4. HARDWARE

En el CRV se cuenta con dos herramientas que pueden ser utilizadas para capturar y visualizar la escena, las gafas de RA *Wrap920AR* y el HMD *Oculus Rift* al cual se le puede integrar una cámara web para capturar la escena. A continuación se expondrán en detalle las características de estos dos instrumentos. En el siguiente capítulo (apartado 6) se realizarán pruebas con la aplicación de desarrollo multimedia, con las dos herramientas, para decidir finalmente cual es la más adecuada.

4.1. WRAP920AR

Cuenta con dos pantallas LCD de 640 x 480 píxeles que proveen una sensación similar a la de estar frente a una *pantalla de 67 pulgadas* a tres metros de distancia. Las gafas cuentan con control de foco independiente, seis ejes de rastreo, e incluso captura vídeo en 640 x 480 píxeles a 30 cuadros por segundo. Sin embargo, lo más importante que acompaña a las gafas es el paquete *maxReality*, una extensión compatible con *Autodesk 3ds Max* que permite activar una proyección en tres dimensiones de las creaciones sobre cualquier escritorio o superficie. En la Figura 26 se puede observar una imagen de la tecnología anteriormente descrita.



Figura 26 WRAP 920 AR

4.2. Oculus Rift

Presenta a los usuarios una vista 3D estereoscópica al mostrar diferentes imágenes para cada ojo, haciendo que la experiencia del usuario sea más “natural” ya que es la forma en la que se percibe el mundo real. Proporciona un campo de visión de 100°, lo que lo convierte en uno de los más competitivos en el mercado, y posee una resolución de 1280x800 con una relación de aspecto de 16:10, lo que brinda una resolución de 640x800 para cada ojo; la última versión incluye un rastreador Reality Tracker que funciona a

1000Hz y permite una latencia menor, junto con giroscopios de 3 ejes, acelerómetros y magnetómetros que permiten el tracking del casco y su posición en relación a la Tierra. En la Figura 27 se puede observar el casco en su vista frontal y posterior.



Figura 27 HMD Oculus Rift en sus vistas frontal y posterior

MODELADO INSTRUMENTAL

El primer paso a seguir para el modelado del equipamiento para el AVC fue el tener en cuenta las medidas de cada uno de los instrumentos, para esto se consultaron diversos catálogos de instrumental médico [34] [35] [36], en donde se especificaba el diámetro promedio de los catéteres, el dilatador y el alambre guía; en el caso de la jeringa y las pinzas, se tomaron en cuenta medidas aproximadas de los objetos reales de acuerdo a lo consultado con anterioridad acerca del procedimiento a simular. En la mayoría de los catálogos se encontraban las medidas de los diámetros en la escala francesa de Charrière, en la cual cada mm. equivale aproximadamente a un tercio del grosor en Fr. A continuación se presenta una tabla (Tabla 7) resumiendo las medidas promedio de los catéteres (3Fr-5Fr) y por tanto dilatadores y guías más usados en el acceso venoso central pediátrico, medidas que se tomaron como pauta para modelar estos instrumentos en la herramienta SolidWorks.

Catéter		Aguja Introdutora		Guía		Dilatador	
$\varnothing_{int}-\varnothing_{ext}$ (mm)	Longitud(mm)	$\varnothing_{int}-\varnothing_{ext}$	Longitud(mm)	\varnothing_{ext} (mm)	Longitud(mm)	\varnothing_{ext} (Fr)	Longitud(mm)
0.6-0.9	40	0.6-0.9	38	0.5	200	3	70
	60						
	80				300		
	120						
0.8-1.2	60	0.8-0.11	54	0.7	200	4	

Tabla 7 Medidas promedio de catéter, aguja introductora, alambre guía y dilatador

A partir de las medidas e imágenes de los catálogos se procedió a modelar en SolidWorks y realizar el texturizado en Blender (Figura 28).

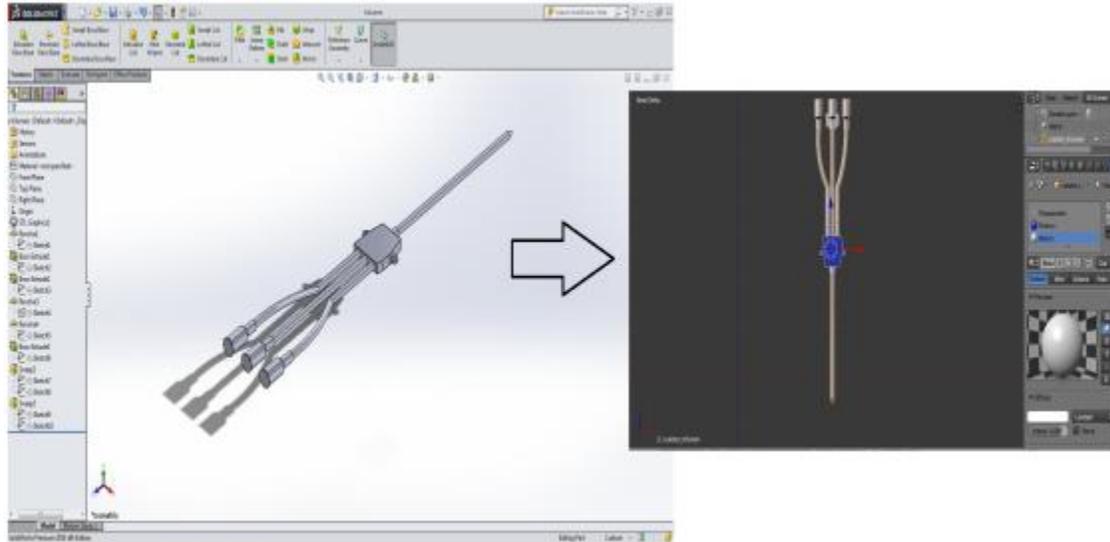


Figura 28 Modelado catéter trilumen en SolidWorks y texturizado en Blender

En cuanto al modelado de la jeringa, se tomaron las medidas de una adquirida con capacidad de 3ml, con su correspondiente aguja; para las pinzas de acuerdo a lo consultado con anterioridad se observó que entre las más usadas a la hora de suturar se encuentran las de disección con dientes (para suturas pequeñas) y las de hemostasia tipo mosquito curvo, por lo cual se procedió a modelarlas de acuerdo a las medidas aproximadas encontradas (Figuras 29 y 30).

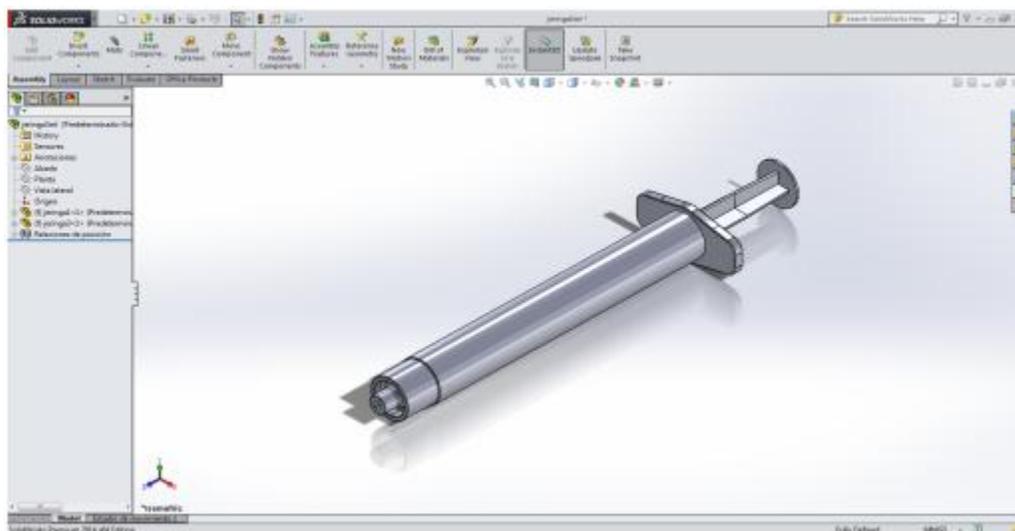


Figura 29 Modelado jeringa 3ml en SolidWorks

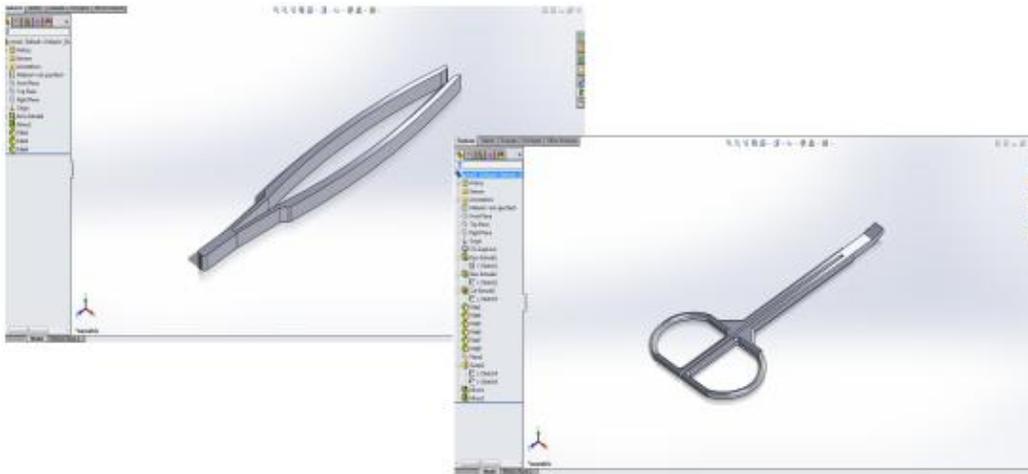


Figura 30 Modelado pinzas para sutura en SolidWorks

MODELO INTERACCIÓN AGUJA-TEJIDO

Para caracterizar la interacción entre una aguja y tejido blando, se tomó como referencia el procedimiento dividido en tres fases de Barbé et. All [37], en primer lugar la aguja presiona la superficie del tejido la cual se deforma, luego la aguja penetra en el tejido cortando su superficie y mientras se inserta las fuerzas de fricción atraen la piel a la superficie de la aguja, finalmente la aguja se extrae y de nuevo el tejido sigue la dirección del movimiento de la aguja.

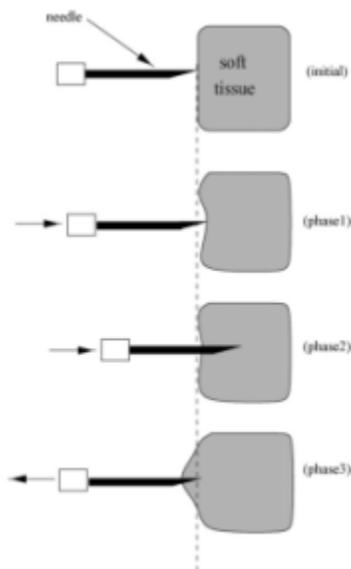


Figura 31 Fases de inserción aguja

Teniendo en cuenta la anterior descripción acerca de la interacción tejido-aguja, se plantearon dos posibles soluciones para simular este comportamiento y poder añadirlo al prototipo; en primer lugar se pensó en usar el modulo de física de la herramienta de desarrollo Unity3D, específicamente el de colisiones, y deformar la malla cuando ésta estuviera en contacto con la aguja. La segunda opción que se consideró fue realizar una animación que permitiera ver al usuario como se deforma la piel y la inserción de la aguja hasta la vena subclavia.

DEFORMACIÓN USANDO UNITY3D

Después de una exhaustiva búsqueda de información acerca de como deformar mallas en Unity3D luego de una colisión, no se encontró mucho, en la página oficial de la aplicación se encontraron dos paquetes con ejemplos: *Procedural Examples* [38] y *Meshinator* [39], entonces fueron estas dos herramientas las usadas para las pruebas realizadas con el módulo de física (Ver Anexo 2).

En primer lugar se realizó una escena básica para comprender el evento **OnCollisionEnter**, en donde se pudo observar la interacción entre dos objetos, una cápsula (en caída libre) y un cubo como se puede apreciar en la Figura 32.

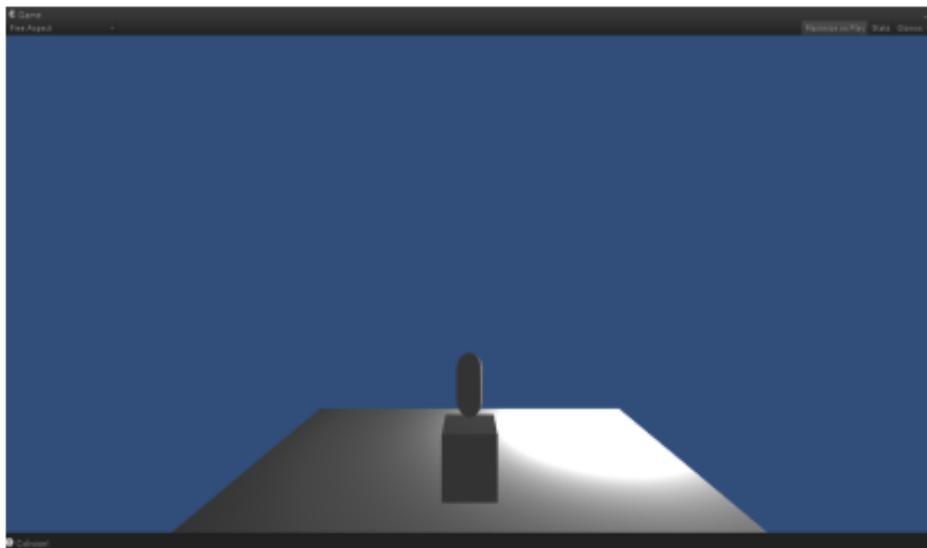


Figura 32 Escena básica de detección de colisión en Unity3D

Posteriormente se realizó una escena con el uso de los scripts de *Meshinator* al aplicarlos en un **RigidBody**, para que después de detectar el evento de colisión se modifiquen las características iniciales de la malla con la que hubo contacto, simulando el comportamiento de una deformación teniendo en cuenta variables como la velocidad de colisión y la orientación del objeto al colisionar (Figura 33).

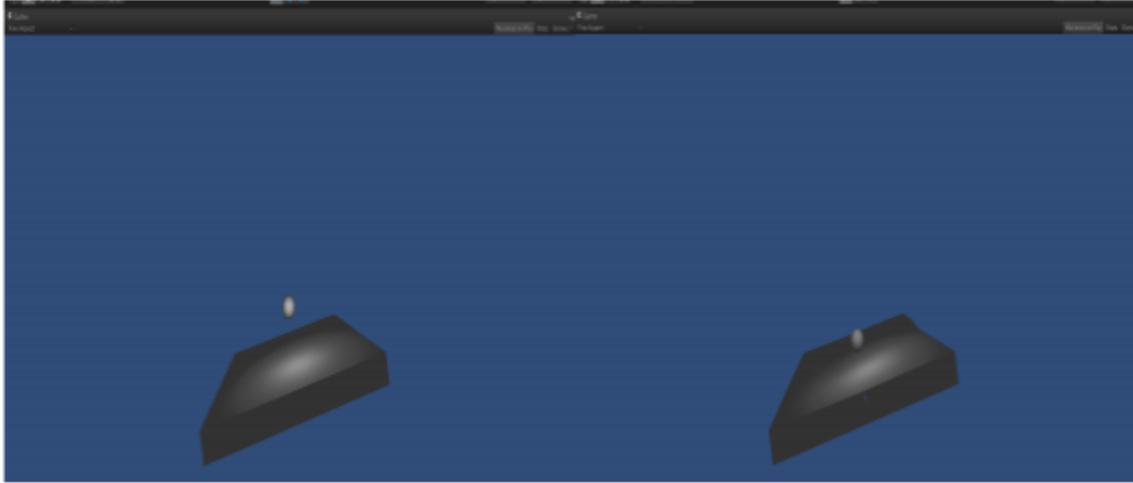


Figura 33 Utilización de script Meshinator en escena con un Rigidbody

Finalmente se realizaron pruebas con el ejemplo **Sculpt Vertices** del paquete *Procedural Examples*, el cual por medio de detección RayCasting detecta la colisión del mouse con la malla a deformar y permite “esculpir” a gusto del usuario el objeto, lo que supone una simulación más completa en términos de deformación, la interacción con esta escena se puede observar en la Figura 34.

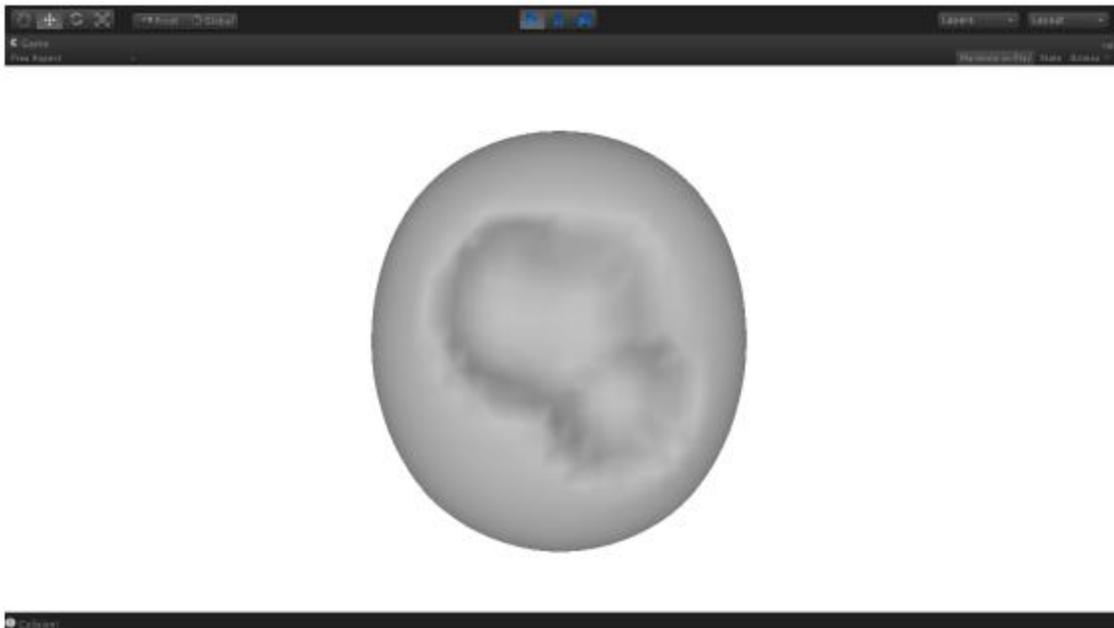


Figura 34 Uso de script SculptVertices en escena básica Unity3D

Sin embargo al intentar probar con la malla correspondiente al paciente se presentaron problemas con los scripts anteriormente probados, ya que se detectaba la colisión correctamente pero la reacción a esta no era la esperada (deformación en el punto de impacto), no existía deformación alguna (Figura 35). La idea principal que quería desarrollarse era que cada vez que existiera una colisión entre la aguja y el paciente, de acuerdo a los valores de la velocidad relativa de la aguja y el punto de contacto, la malla que corresponde al paciente sufriera una pequeña deformación al desplazar sus vértices y finalmente al no existir colisión la malla volviera a su posición original.

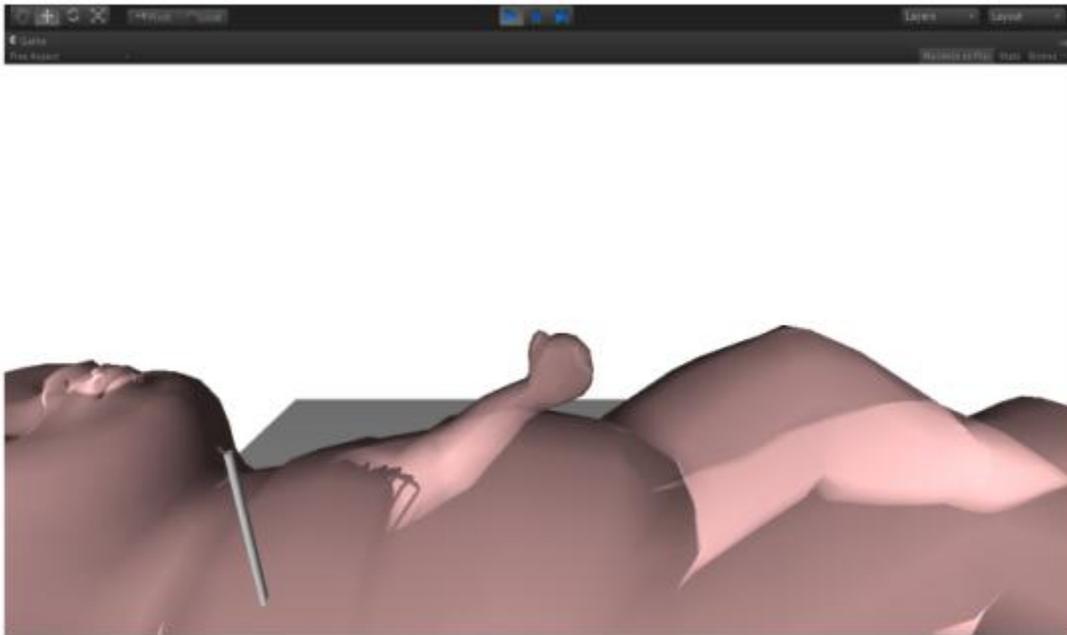


Figura 35 Implementación de Scripts en escena con malla correspondiente al paciente

ANIMACIÓN USANDO BLENDER

Una de las ventajas de Blender como Suite de modelado es que permite mediante el manejo de las mallas recrear la interacción entre estas y poder exportar los resultados obtenidos luego del render a formatos de imagen y vídeo. Al ya tener los modelos del paciente (caja torácica y neonato* ¹) y de la jeringa texturizados se procedió a realizar una animación utilizando **Keyframes** para añadir movimiento a la jeringa, utilidad que permite a través de una línea de tiempo simular el desplazamiento de esta (Figura 36) y un **Lattice** como padre del neonato para lograr la deformación máxima de la malla.

¹ Modelos realizados por las Ingenieras en Multimedia Nichole Dzeka y Natalie Higuera egresadas de la UMNG.

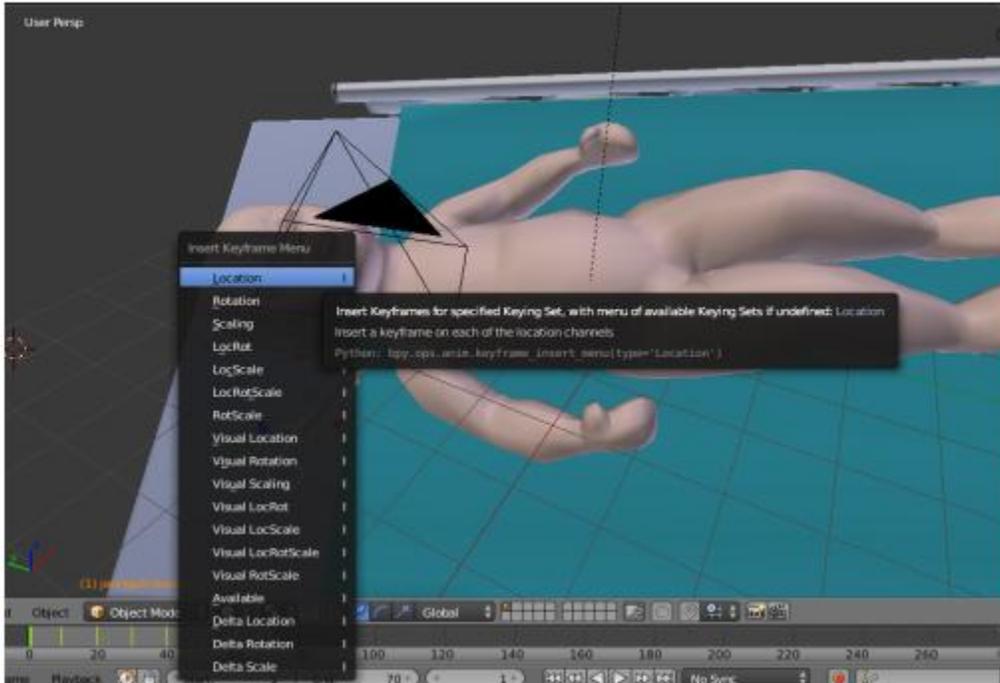


Figura 36 Animación del desplazamiento de la jeringa

La deformación de la malla también se realiza de manera gradual al añadir **Keyframes** al **Lattice** (Figura 37), finalmente se escoge un formato de renderizado y se exporta como vídeo para luego ser utilizado en Unity3D.

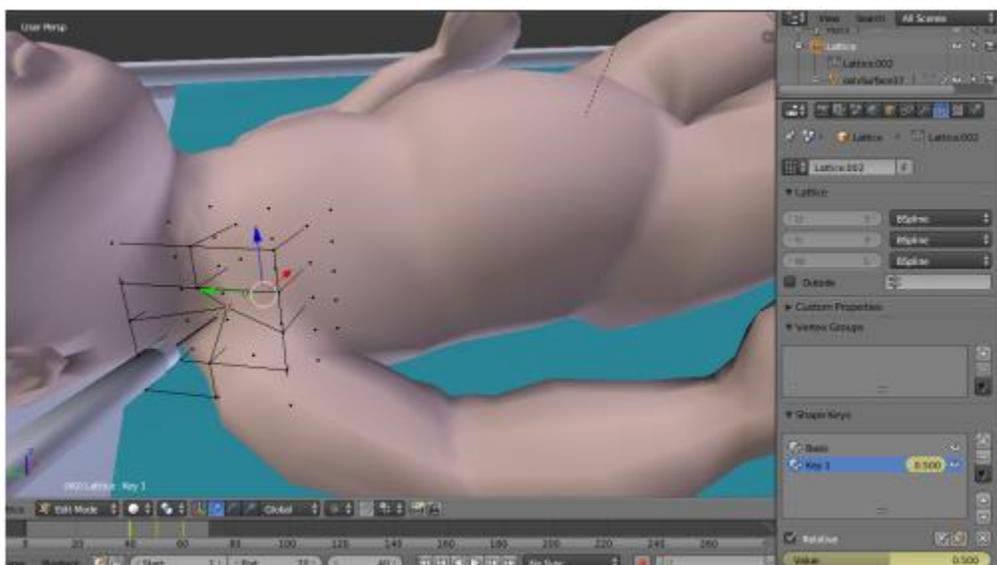


Figura 37 Animación de la deformación del tejido

V. DESARROLLO Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO

En este capítulo se analiza la arquitectura general del prototipo, para ello se hará una descripción inicial desde una perspectiva abstracta de los módulos que compondrán el desarrollo para continuar con una explicación detallada de cada uno de estos. De acuerdo a la metodología y evaluación planteadas con anterioridad la escena principal de la aplicación es la que integra la técnica de RA, sin embargo se consideró que era necesario complementar el prototipo con escenas y herramientas que permitieran al usuario conocer más acerca de la técnica del AVC. En la Figura 38 se presenta un esquemático general del prototipo desde el punto de vista de las escenas que lo conformarán.

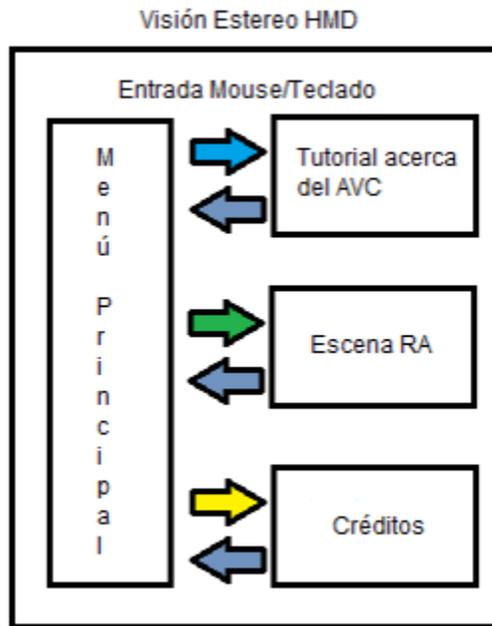


Figura 38 Interacción entre escenas del prototipo

De igual forma el diseño de la aplicación está sujeto a dos aspectos muy importantes, que son: el diseño de un objetivo con gran cantidad de detalles que permita un rastreo robusto y el uso del hardware para la visualización. Por lo tanto antes de empezar a describir la implementación de cada una de las escenas se procederá a explicar la realización del nuevo objetivo/target y la forma en que se logró la interacción con el hardware de visualización. En la Figura 39 se presenta un esquemático del prototipo desde el punto de vista de la interacción con el usuario.

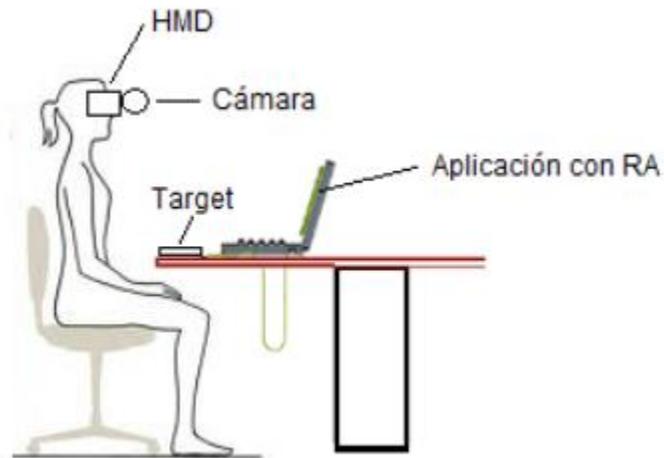


Figura 39 Interacción usuario prototipo, hardware y software requeridos

1. DISEÑO DEL OBJETIVO/TARGET

En el apartado anterior se había evaluado la herramienta *Vuforia* con un objetivo compuesto por una imagen, que aunque presentaba detalle y permitía que se hiciera un seguimiento robusto, no funcionaba de la manera esperada ante cambios bruscos de luz ambiente o de movimiento, por lo cual se decidió crear una nueva imagen buscando asignarle mayor cantidad de detalles. En la Figura 40 a continuación se muestra la imagen final que fue asignada al CylinderTarget con unas medidas de 12mm de diámetro y 70mm de largo.



Figura 40 Objetivo final a ser usado en el prototipo

Para asegurar el funcionamiento de este nuevo objetivo se realizaron pruebas en el ambiente de Unity3D y se obtuvieron resultados satisfactorios respecto al registro (Figura 41).

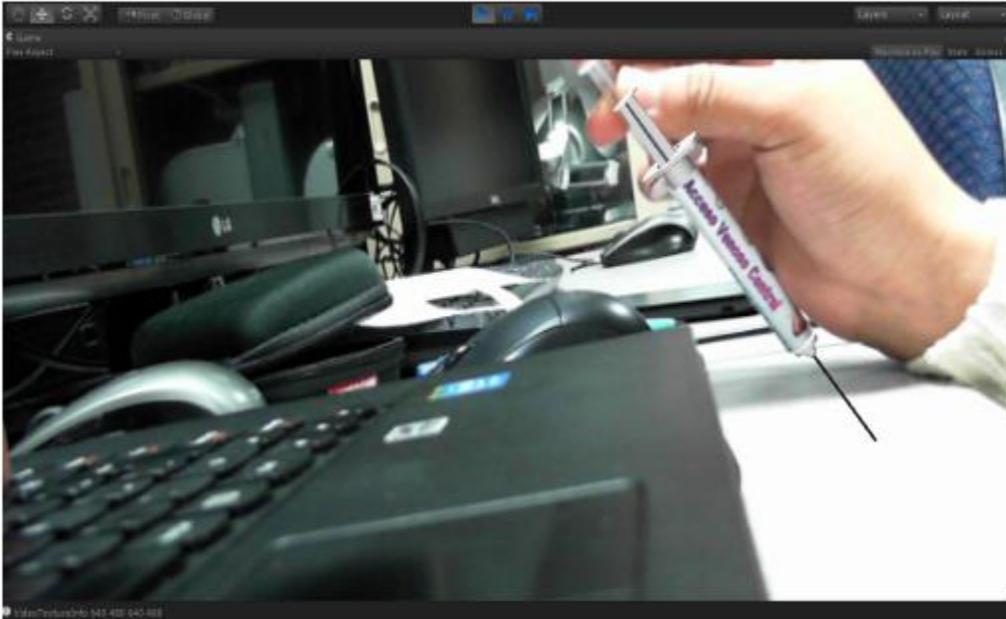


Figura 41 Resultados obtenidos en registro con el nuevo Target

2. INTERACCIÓN CON EL HARDWARE

Para la interacción con el hardware se contemplaron dos posibilidades, la primera trabajar con el plugin MiddleVR que permite la sencilla interconexión entre aplicaciones y el hardware de realidad virtual al crear un archivo de configuración que incluya los respectivos sensores y displays; la segunda utilizar los avances realizados por Changhoon Park [40] que integran los prefabricados de Vuforia para visualizar en dos viewports la imagen de la webcam a usar. A continuación se describe el proceso de pruebas realizado con cada una de las opciones y finalmente una conclusión de cuál de las dos fue usada.

MIDDLEVR

Este interlogical trae consigo una interfaz que permite probar el hardware a utilizar y exportar diferentes configuraciones de acuerdo a las necesidades del usuario en cuanto a sensores y displays a utilizar; en el caso del hardware con el que se cuenta en el CRV ya vienen por defecto las configuraciones para los sensores de las dos herramientas anteriormente mencionadas (Apartado 4), sin embargo para el *Oculus Rift* ya existe una configuración predeterminada. Con las gafas de RA de Vuzix en los primeros

acercamientos con esta tecnología se presentaron dificultades a la hora de integrar las dos cámaras de las que dispone con Vuforia ya que este plugin solo permite el uso de una ARCamera (prefabricado) la cual es responsable de recibir la imagen de vídeo necesaria, así aunque se contara con una configuración para el sensor que poseen, no fue suficiente a la hora de implementar la técnica de RA (Figura 42).

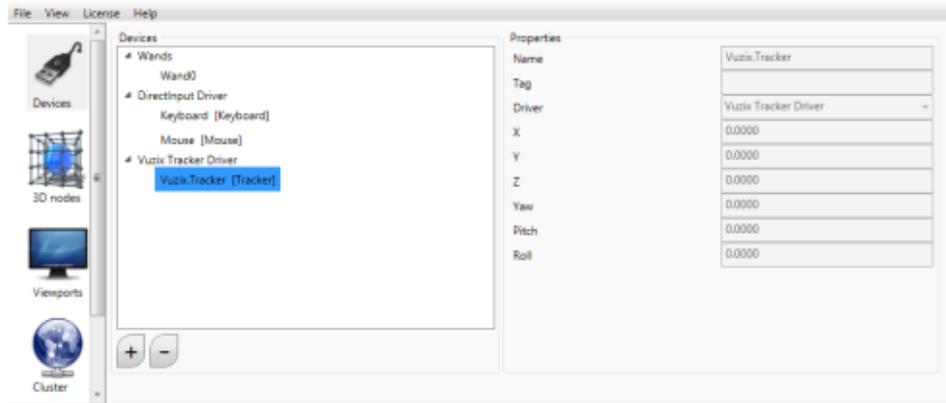


Figura 42 Configuración del Tracker Vuzix en MiddleVR

Descartando entonces el uso de las gafas para RA, se decide utilizar el HMD Oculus Rift, para su integración se realizaron diferentes pruebas con la configuración por defecto y se obtuvieron resultados no muy buenos ya que la visualización de el ambiente mixto (Realidad- objetos 3D) era distorsionada, e incluso en casos se alcanzaba a ver doble la imagen (Figura 43).

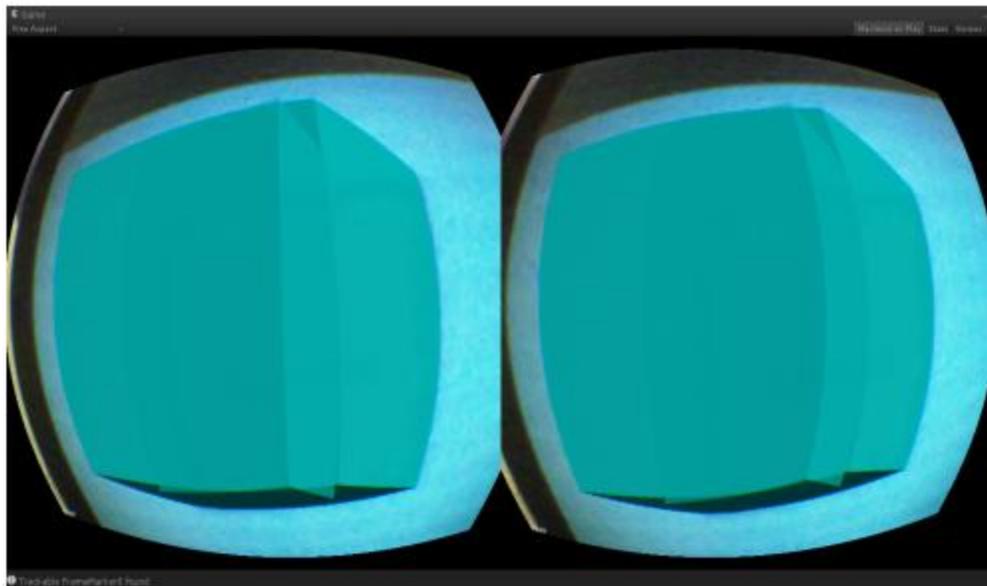


Figura 43 Pruebas con la configuración por defecto para el Oculus Rift MiddleVR

VISIÓN ESTEREO CON PREFABRICADOS DE VUFORIA

El primer acercamiento al uso de esta actualización se realizó con la escena que desarrolló el autor en Unity, en la cual usa un FrameMarker que viene por defecto con Vuforia (Figura 44); al observar que funcionaba correctamente al conectar el Oculus rift, se decide implementar esta solución en la escena principal ya desarrollada, y leer y entender a fondo el funcionamiento de este desarrollo, incluyendo los scripts que venían incluidos (Ver Anexo3).

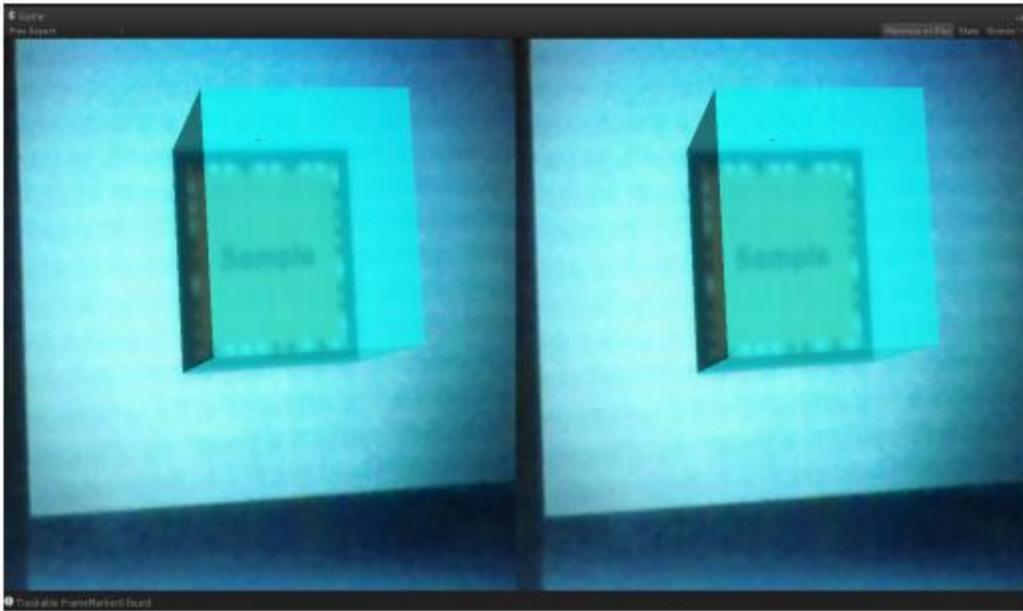


Figura 44 Prueba visión stereo con vuforia

3. ESCENA PRINCIPAL

Para la implementación de la escena principal fue necesario contemplar diversas utilidades para que la interacción con el usuario fuera lo más cercana a la realidad, en la Figura 45 se enseña una presentación visual de la distribución que tendrán estos componentes.

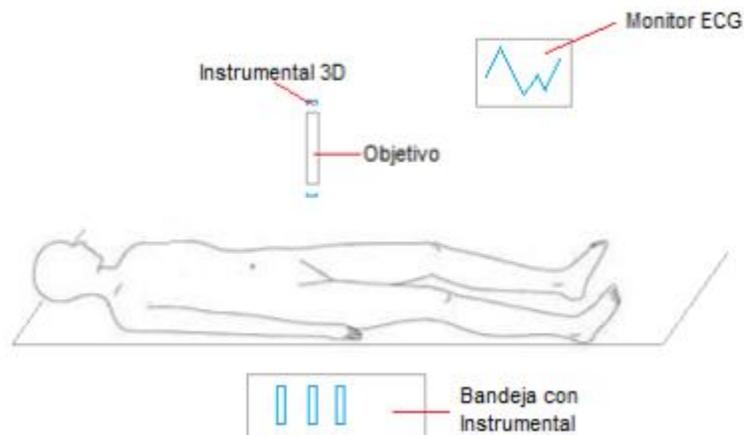


Figura 45 Esquemático nivel visual de la escena principal

Teniendo en cuenta el esquemático anterior entre las tareas que deben realizarse en la escena se encuentran:

- Interacción a nivel visual con los objetos 3D equivalentes al paciente, instrumental y equipos médicos.
- Integración de la técnica de RA en la cual los elementos virtuales serán los instrumentos (catéteres, jeringa, dilatador, alambre guía, etc.) y elaboración de un sistema que le permita al usuario escoger entre estos.
- Adjuntar la animación realizada en Blender de la interacción entre aguja y tejido al detectar el evento OnCollisionEnter entre las mallas correspondientes a la aguja y el paciente.
- Anexar una animación de un monitor cardíaco para dar más realismo (Animación adjunta obtenida de [41]).
- Permitir la interacción con el HMD y el desplazamiento del usuario a través de la escena.

En el Anexo 4 se podrán encontrar los métodos usados para implementar las tareas correspondientes al cambio de instrumental, adjuntar la animación realizada en Blender al existir colisión y del monitor cardíaco, cambiar la transparencia de la malla correspondiente al neonato y por último el desplazamiento por la escena, explicados mediante diagramas de flujo.

INTERACCIÓN A NIVEL VISUAL

Para lograr una buena interacción visual se decidió permitirle al usuario experimentar como sería una sala de operaciones de manera que aparte del modelo del paciente y el instrumental a usar, se agregaron a la escena elementos como una mesa de operaciones y un carro en el cual se encuentra el instrumental, junto con un monitor de ECG. Además el usuario puede cambiar la transparencia del cuerpo del paciente para observar con más detalle la caja torácica de este, modelo en el cual se incluyen los vasos sanguíneos y el corazón (Figura 46).



Figura 46 Parte visual escena principal

RA CON VUFORIA

Vuforia cuenta con dos prefabricados principales, una ARCamera y dependiendo de la aplicación en Target que se quiera usar, en este caso el CylinderTarget, para cada uno de estos trae implementados unos códigos en C# que se encargan en el caso de la cámara de seleccionar el dispositivo que se quiere usar, la información acerca del paquete con Targets que se va a utilizar, la posibilidad de elegir entre algunos modos de dirección y visualización de la imagen, e incluso hacer de la cámara el centro de la escena, característica que es útil cuando se requiere saber la posición de un Target respecto a esta (Figura 47).

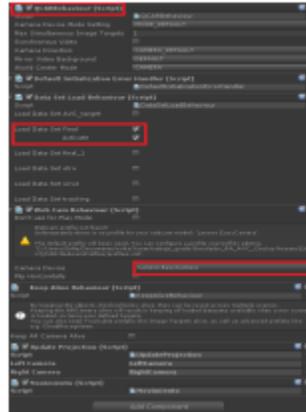


Figura 47 Propiedades ARCamera

En el caso del CylinderTarget, se permite cargar el archivo de configuración del tracking .xml y mediante un mensaje en consola observar cuando se ha encontrado la imagen de este en escena, lo cual es útil para evaluar la calidad del registro (Figura 48).

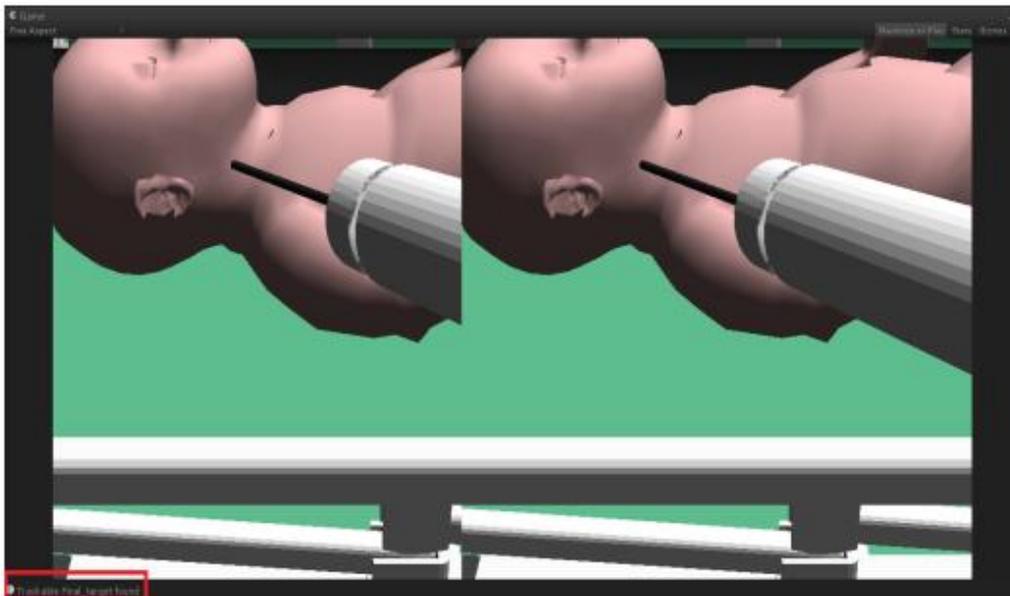


Figura 48 Mensaje en consola Trackable Found

La implementación de esta técnica usando este plugin se realiza de manera intuitiva ya que permite asignar al Objetivo distintos modelos 3D (contenido a aumentar), y en la aplicación de desarrollo ubicar en la posición y orientación deseados. Ya que en este caso, los objetos 3D corresponden al instrumental, se decidió implementar un sistema que le permitiera al usuario cambiar entre estos, presionando una tecla (Figura 49).

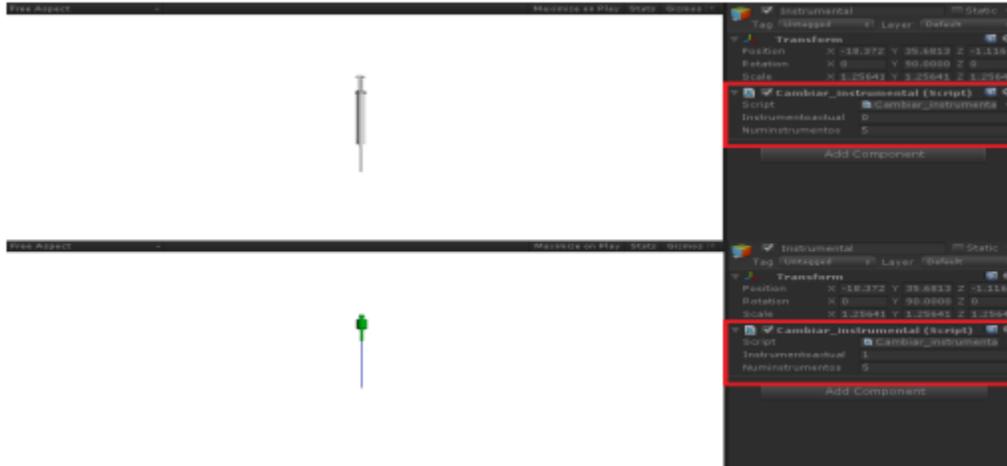


Figura 49 Implementación del cambio de instrumental

EVENTO COLISIÓN

Uno de los objetivos principales de este trabajo fue permitir que el usuario pudiera visualizar la interacción entre la aguja y el tejido a la hora de la inserción de esta como primer paso en el procedimiento, para esto se decidió utilizar el módulo de física de Unity3D que permite detectar colisiones entre dos objetos en la escena, de tal manera que se le añadió al modelo de la jeringa un **CapsuleCollider**, que al hacer colisión con la malla del paciente, permita reproducir la animación anteriormente realizada en Blender (Figura 50).

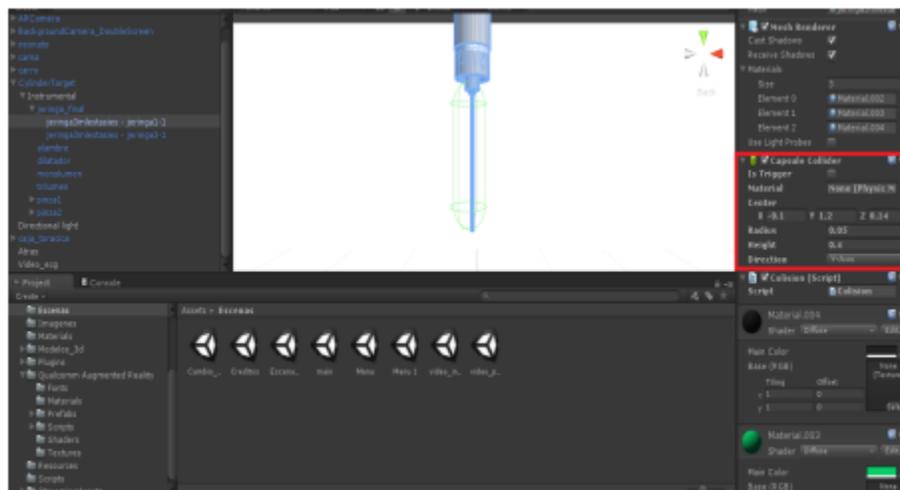
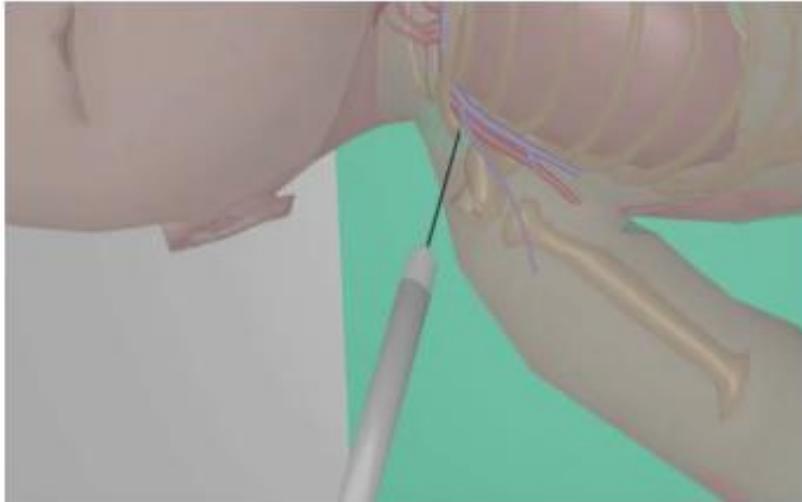


Figura 50 Asignación del collider a la malla de la jeringa

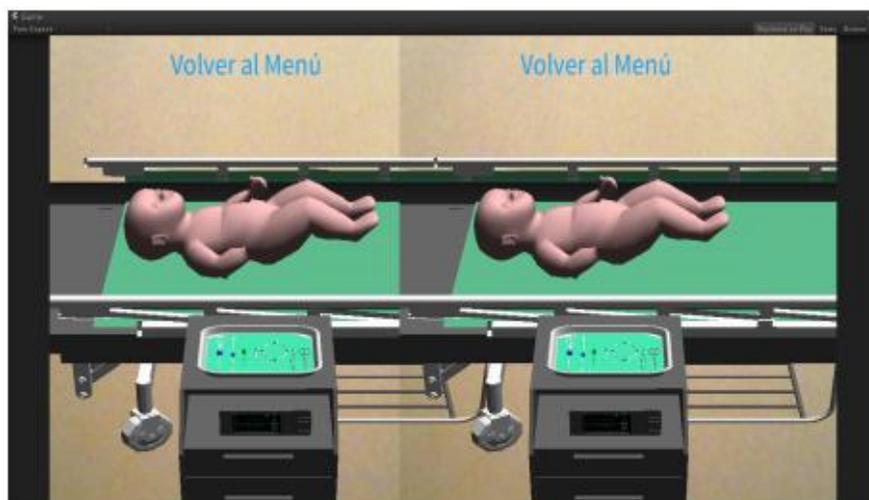
Luego de haber asignado a las mallas que van a colisionar los elementos Collider, se implementó un código que mediante la detección del evento OnCollisionEnter, permitiera reproducir el vídeo (Figura 51).



*Figura 51*Frame del vídeo al detectar colisión

INTERACCIÓN CON EL HMD Y DESPLAZAMIENTO A TRAVÉS DE LA ESCENA

Además de añadir el trabajo realizado por C. Park para la visualización mediante el HMD, se integró un código que permite al usuario moverse por la escena mediante el uso del teclado (WSAD), en los ejes X y Z respectivamente y la rotación sobre el eje X usando las entradas del teclado ZX (Figura 52).



*Figura 52*Visualización de la escena luego de desplazamiento en el eje Z+

4. ESCENA TUTORIAL AVC

Pensando en este prototipo como un paso inicial para la educación en este procedimiento, se decidió desarrollar un vídeo informativo acerca de esta técnica y luego añadirlo en una escena en la aplicación multimedia, el vídeo inicia al momento de elegir la escena y existe la posibilidad de volver al menú principal (Figura 53).



Figura 53 Cambio entre frames del vídeo AVC

5. ESCENA CRÉDITOS

Aunque este trabajo fue desarrollado por la autora, ella consideró dar el respectivo crédito de las herramientas usadas y las personas que le aportaron en el mejoramiento en cada una de las etapas del proyecto y su culminación y por esto creo una escena que permitiera valorar el trabajo de los involucrados y las aplicaciones usadas (Figura 54).

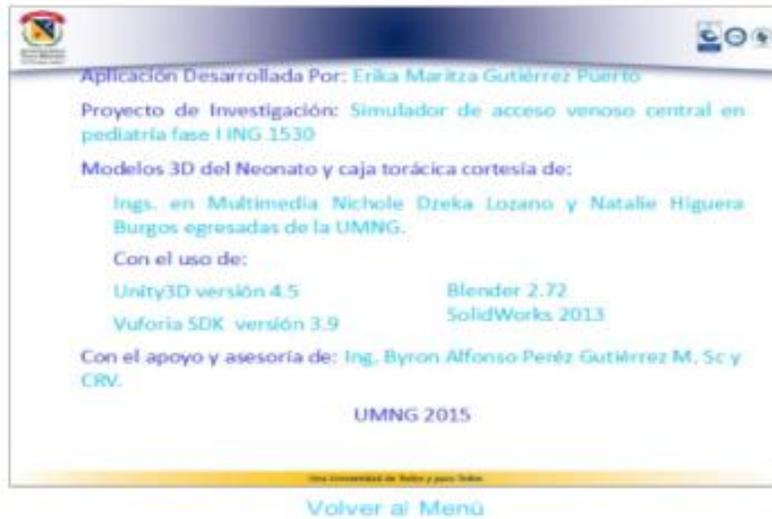


Figura 54 Imagen créditos

6. ESCENA MENÚ PRINCIPAL

Por último para la finalización del prototipo se implementó un menú principal que permitiera al usuario visualizar las diferentes posibilidades que tiene a la hora de ingresar al aplicativo. Esta escena cuenta con scripts que permiten mediante entradas de Mouse y teclado elegir la escena (Figura 55).



Figura 55 Menú principal

7. PRUEBAS CON EL PROTOTIPO

La visualización óptima al integrar el HMD era una de las tareas más importantes en cuanto a la sensación de realismo e interacción del usuario con la aplicación, debido a esto se tomó un entorno distinto de trabajo en donde el enfoque principal era la corrección del comportamiento del dispositivo al incorporarle la realidad aumentada.

Como fue mencionado anteriormente las pruebas realizadas con el Oculus y los prefabricados de Vuforia fueron satisfactorias en cuanto al reconocimiento del Objetivo y su localización, sin embargo se notaban pequeñas incoherencias en la correcta visualización de cada escena, por lo que se procedió a corregir en cada una de estas las posiciones de las cámaras para el ojo derecho e izquierdo respectivamente, además de los componentes para su adecuada percepción. En la figura 56 a continuación se muestra un comparativo entre el antes y el después de una de las escenas.



Figura 56 Antes y después escena principal

Luego de validar el comportamiento y la sinergia de todos los componentes: proyección adecuada del modelo en el marcador, cambio de herramienta, detección de colisión y desplazamiento del usuario en la escena, se observó que uno de estos aspectos no cumplía con el cometido de desempeñar realismo, las dimensiones de los modelos de herramienta eran demasiado grandes respecto a los demás como se muestra a continuación (Figura 57).

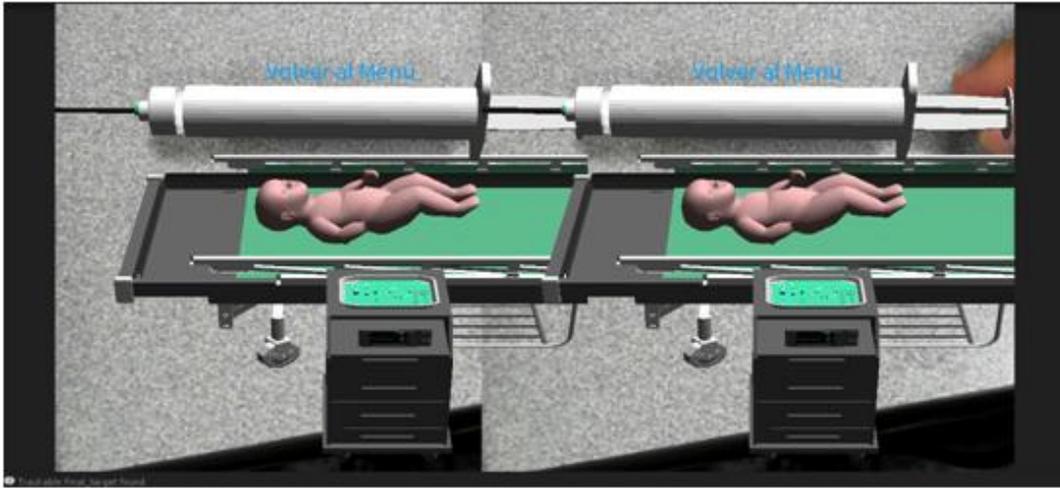


Figura 57 Dimensiones inadecuadas en modelo 3D proyectado

Debido a esto fue necesario escalar de manera proporcional cada una de las herramientas con su entorno, dando como resultado una escena más convincente para el usuario (Figura 58).

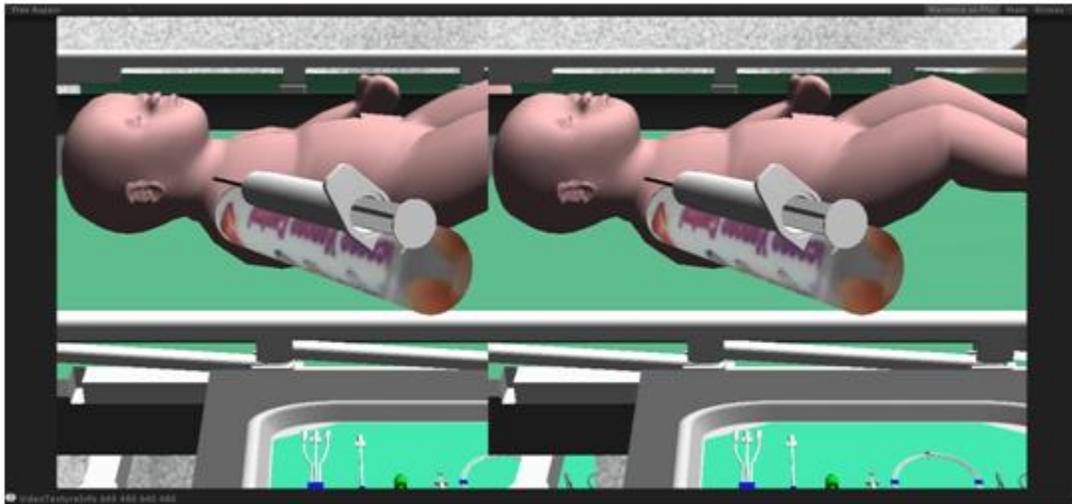


Figura 58 Cambio en dimensiones y proyección modelo 3D

Luego de haber realizado cambios tanto en la orientación de las cámaras respectivas para la visión estéreo y la adecuación en dimensiones del instrumental, se prosiguió a evaluar el prototipo al usar dos de las cámaras web con las que se cuenta en el CRV, *Microsoft LifeCam Studio* y *Logitech HD Pro Webcam C920*, las cuales cuentan con opciones de auto enfoque. Para esto se realizaron pruebas de registro del Objetivo al variar la iluminación y finalmente se ensayó el prototipo evaluando cada uno de sus componentes y conociendo sugerencias frente a algunos cambios por parte de los usuarios.

Cambio en condiciones de luz

Para evaluar el enfoque y el registro en diferentes iluminaciones se procedió a evaluar el prototipo en tres ambientes, con la luz halógena encendida en el CRV, haciendo sombra sobre la cámara y finalmente con las luces apagadas. Se notó que el papel en que se realizó la impresión del Target presentaba aunque pocas, propiedades reflectivas, lo que en ocasiones al haber mayor iluminación influía negativamente en el registro.

- Pruebas con *Microsoft LifeCam Studio*

Se observó que al cambiar las condiciones de luz el autoenfoco de la cámara variaba de manera satisfactoria, realizando un buen registro del Objetivo, sin embargo se notó que ante menor cantidad de luz la calidad del registro disminuía cuando se alejaba el Target. En la figura a continuación se muestran las pruebas de registro en cada uno de los ambientes.



Figura 59 Calidad del registro con cámara Microsoft a) Luz encendida, b) Sombra sobre la cámara, c) Luz apagada

- Pruebas con *Logitech HD Pro Webcam C920*

Se observó que al cambiar las condiciones de luz el autoenfoco de la cámara no variaba de la manera esperada, realizando un registro del Objetivo con calidad media, se notó que ante grandes variaciones de luz la calidad del registro disminuía, el Objetivo tenía que estar muy cerca del lente para que el autoenfoco funcionara. En la figura a continuación se muestran las pruebas de registro en cada uno de los ambientes.

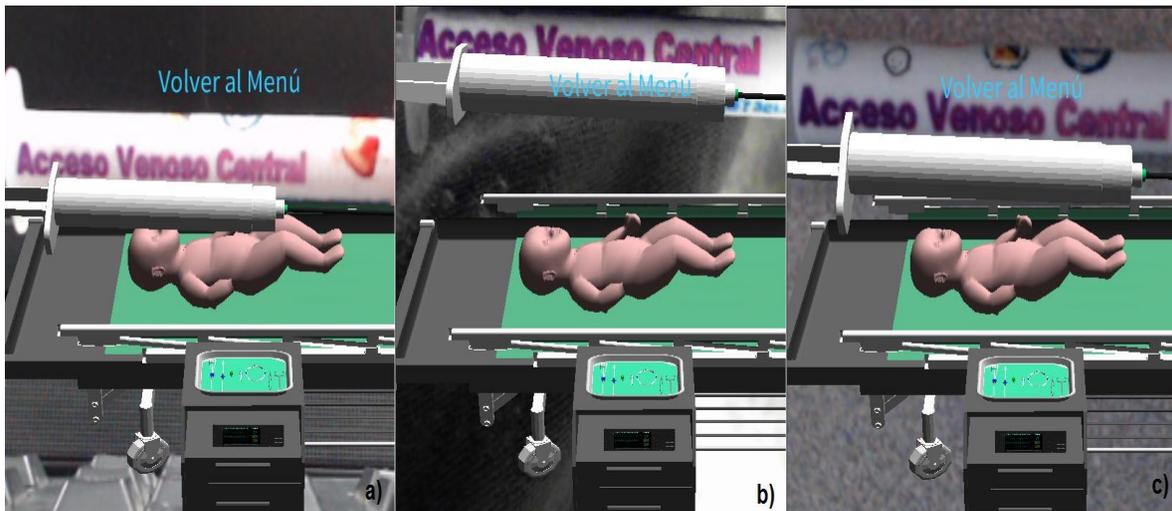


Figura 60 Calidad del registro con cámara Logitech a) Luz encendida, b) Sombra sobre la cámara, c) Luz apagada

En las pruebas realizadas por parte del usuario se encontraron dos sugerencias principales acerca de los componentes de navegación de la escena: primero que el movimiento fuera fluido, es decir que no se tuviera que oprimir la tecla múltiples veces hasta llegar a la posición deseada en los ejes X y Z; y segundo que se agregará a esta navegación la posibilidad de rotar la vista sobre el eje X, de manera positiva y negativa. Estas sugerencias se tuvieron en cuenta en la corrección de la aplicación.

En la Figura 61 imágenes del prototipo final en funcionamiento, desde la perspectiva del usuario, las imágenes fueron tomadas en el CRV de la UMNG.



Figura 61 Prueba prototipo desde la perspectiva del usuario

Para el correcto funcionamiento de la aplicación se realizó un pequeño instructivo para el usuario en cuanto a la navegación entre escenas y el movimiento en la escena principal (Ver Anexo 5).

Como uno de los objetivos del presente trabajo se planteó escribir un artículo que resumiera el proceso realizado; por sugerencia del tutor investigador se aplicó para presentar un poster del desarrollo en el congreso HCI 2015, de tal manera que el artículo escrito es un resumen extendido de la aplicación y su funcionamiento (Ver Anexo 6).

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

CONCLUSIONES

- La librería de RA seleccionada junto con el Objetivo diseñados mostraron un adecuado desempeño frente a los requerimientos establecidos en la calidad del registro, señalados en la evaluación de las herramientas disponibles. Este desempeño fue influido en gran medida en cuanto a las variaciones de luz en el ambiente y el autoenfoco de los equipos utilizados.
- La realización del prototipo en la aplicación de desarrollo multimedia Unity3D resultó ser apropiado, debido a que fue posible integrar los componentes de RA junto con el hardware elegido finalmente para el producto final, además fue de gran ayuda el poder visualizar los elementos que componían cada escena, con su respectiva posición y orientación, a la hora de realizar correcciones en cada una estas.
- El instrumental modelado logró verse congruente con la realidad, al tener en cuenta medidas promedio, luego de la implementación de texturas utilizando Blender e iluminación en la aplicación de desarrollo multimedia.
- La aplicación realizada cumplió cabalmente con la integración visual de la interacción entre aguja y tejido, mediante la implementación de una animación que se activa cada vez que existe un evento de colisión, además se logró suplir la necesidad de conocimiento en la técnica del acceso venoso central haciendo énfasis en el instrumental necesario para ejecutarla.
- Se logró una correcta integración del sistema físico (HMD y Webcam) con el software desarrollado, ya que el vídeo capturado por la cámara se logró ver de manera correcta en los displays del Oculus Rift, además fue posible añadir interacción mediante entradas de teclado y mouse para el desplazamiento del usuario en la escena.
- Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, reflejan que aunque el dispositivo HMD no brinda una vista adecuada del entorno de trabajo, a través de la cámara adecuada a este, se lograba observar el teclado y el marcador elegidos para su posterior manipulación; además aunque la calidad del registro variara cuando la iluminación no fuera constante, no fue impedimento para que se reflejaran los objetos 3D virtuales y poder interactuar con ellos.
- El prototipo desarrollado cuenta con características para ser utilizado como herramienta en un primer acercamiento a la técnica del acceso venoso central.

TRABAJO FUTURO

- Es posible la integración de un sistema háptico con realimentación de fuerza al prototipo desarrollado, realizando diversos ajustes en el marcador para que este pueda adecuarse al hardware requerido; para esto se plantea llevar a cabo una impresión 3D del modelo CAD de la jeringa de 3ml desarrollado en el presente trabajo con las modificaciones para su correcta inserción en el dispositivo (Phantom).
- Usando esta plataforma de desarrollo multimedia, se puede integrar otros dispositivos para la navegación en la escena principal, como joysticks y guantes de realidad virtual, que permitan una mejor inmersión para el usuario, sin necesidad de utilizar el teclado.
- En cuanto al tracking de la jeringa, se propone utilizar las nuevas herramientas que brinda el SDK de Vuforia 4.0, en cuanto a rastreo de objetos; de igual forma se plantea el uso del SDK de Metaio para integrar Objetivos que no necesariamente tengan que estar en constante movimiento, por ejemplo aumentar el cuerpo del paciente y que la interacción con el instrumental se realice mediante entradas a la aplicación.

TRABAJOS CITADOS

- [1] A. Backman, «Umea Universitet-Department of Computer Science,» 5 Diciembre 2000. [En línea].
Available: <http://www8.cs.umu.se/kurser/TDBD12/HT00/lectures/ar.pdf>. [Último acceso: 2014].
- [2] J. Vallino, «Rochester Institute of Technology,» 22 Agosto 2002. [En línea]. Available: <http://www.se.rit.edu/~jrv/research/ar/introduction.html>. [Último acceso: 2014].
- [3] R. Azuma, «A survey of Augmented Reality Presence,» *MIT Press* , nº 6, pp. 355-386, 1997.
- [4] P. Milgram y A. Kishino, «Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays,» *IEICE Transactions on Information and Systems*, nº 12, pp. 1321-1329, 1994.
- [5] C. Portalés, Entornos multimedia de Realidad Aumentada en el campo del arte, Tesis Doctoral, 2008.
- [6] O. Bimber, «The virtual showcase as a new platform for augmented reality digital storytelling,» de *Proceedings of the workshop on Virtual environments* , 2003.
- [7] A. Navarro, H. López y J. Relaño, «An Analysis of Augmented Reality Systems,» de *2010 Fifth International Multi-conference on Computing in the Global Information Technology*, 2010.
- [8] 2014. [En línea]. Available: <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>.
- [9] 2014. [En línea]. Available: <http://www.artag.net/>.
- [10] «BazAR,» [En línea]. Available: <http://cvlab.epfl.ch/software/bazar>. [Último acceso: 2014].
- [11] R. Azuma, «Tracking requirements for augmented reality,» *Communications of the ACM*, vol. 36, nº 7, pp. 50-51, 1993.
- [12] D. Stoyanov, M. ElHelw, B. Lo, A. Chung, F. Bello y Y. Guang-Zhong, «Current Issues of Photorealistic Rendering for Virtual and Augmented Reality in Minimally Invasive Surgery,» de *Proceedings of the Seventh International Conference on Information Visualization*, 2003.
- [13] M. Livingston y A. State, « Magnetic Tracker Calibration for Improved Augmented

Reality Registration,» de *Teleoperators and Virtual Environments*, 1997.

- [14] W. Grimson, G. Ettinger, T. Kapur, M. Leventon, W. Wells y R. Kikinis, «Utilizing segmented MRI data in image- guided surgery,» *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Inteligence*, nº 8, pp. 1367-1397, 1998.
- [15] R. Ohbuchi, D. Chen y H. Fuchs, «Incremental volume reconstruction and rendering for 3D ultrasound imaging,» *Visualization in Biomedical Computing*, pp. 312-323, 1992.
- [16] C. Linte, J. White, R. Eagleson, G. Guiraudon y T. Peters, «Virtual and Augmented Medical Imaging Environments: Enabling Technology for MinimallyInvasive Cardiac Interventional Guidance,» de *IEEE REVIEWS IN BIOMEDICAL ENGINEERING*, 2010.
- [17] «EyePet,» Sony Computer Entertainment Europe, 2014. [En línea]. Available: <https://www.playstation.com/es-es/games/eyepet-ps3/>.
- [18] «BMW Service,» BMW, 2014. [En línea]. Available: http://www.bmw.com/com/en/owners/service/augmented_reality_introduction_1.html.
- [19] M. Barría y G. Santander, «Cateterismo venoso central de inserción periférica en recién nacidos de cuidado intensivo,» *Revista Chilena de Pediatría*, vol. 77, nº 2, pp. 139-146, 2006.
- [20] E. Panadero y S. Cobos, «Tratado de Enfermería en Cuidados Críticos Pediátricos y Neonatales,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.eccpn.aibarra.org/temario/seccion3/capitulo46/capitulo46.htm>.
- [21] A. Graham, C. Ozment, K. Tegtmeyer, S. Lai y D. Braner, «Central Venous Catheterization,» *The New England Journal of Medicine*, nº 7, 2007.
- [22] F. ., Imigo, E. Castillo, E. Celedón, C. Fonfach, J. Lavanderos y E. Mansilla, «Accesos venosos centrales,» 2011. [En línea]. Available: <http://mingaonline.uach.cl/pdf/cuadcir/v25n1/art08.pdf>. [Último acceso: 2014].
- [23] R. Rivas, «Complicaciones mecánicas de los accesos venosos centrales,» *Revista Médica Clínica los Andes*, vol. 22, nº 3, pp. 350-360, 2011.
- [24] S. Ullrich y T. Kuhlen, «Haptic Palpation for Medical Simulation in Virtual Environments,» *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS*, vol. 18, nº 4, pp. 617-625, 2012.

- [25] M. Ursino, J. Tasto, B. Nguyen, R. Cunningham y G. Merrill, «CathSim: an intravascular catheterization simulator on a PC,» *Stud Health Technol Inform*, nº 62, pp. 360-366, 1999.
- [26] S. Larnpotang, D. Lizdas, D. Rajon, I. Luria, N. Gravenstein, Y. Bisht, W. Schwab, W. Friedman, F. Bova y A. Robinson, «Mixed simulators: Augmented physical simulators with virtual underlays,» *IEEE Virtual Reality (VR)*, pp. 7-10, 2013.
- [27] N. Amesur, D. Wang, W. Chang, D. Weiser, R. Klatzky, G. Shukla y G. Stetten, «Peripherally inserted central catheter placement using the Sonic Flashlight. Journal of Vascular and Interventional Radiology,» *JVIR*, vol. 20, nº 10, pp. 1380-1383, 2009.
- [28] D. Feygin y C. Ho, «Vascular-Access Simulation System with Receiver for an End Effector». USA Patente AG09B2328FI, 2010.
- [29] L. Vega-Medina, B. Perez-Gutierrez, G. Tibamoso, A. Uribe-Quevedo y N. Jaimes, «VR central venous access simulation system for newborns,» *Virtual Reality (VR), 2014 IEEE*, pp. 121-122, Marzo 29 2014-Abril 2 2014.
- [30] D. Systemes, «SolidWorks,» [En línea]. Available: <http://www.solidworks.es/>. [Último acceso: 2014].
- [31] Blender.org, «Blender,» [En línea]. Available: <http://www.blender.org/>. [Último acceso: 2014].
- [32] I. Autodesk, «Autodesk,» [En línea]. Available: <http://www.autodesk.es/products/maya/overview>. [Último acceso: 2014].
- [33] U. Technologies, «Unity,» [En línea]. Available: <http://unity3d.com/es>. [Último acceso: 2014].
- [34] A. Fiure, «Catálogo,» [En línea]. Available: <http://www.americanfiure.net/catalogo.pdf>. [Último acceso: 2014].
- [35] C. Medical, «Critical Care - Catálogo de productos,» 2007. [En línea]. Available: [http://www.cencomex.cl/cencomex/pdf%20cencomex/Catalogo%20Critical%20Care%20\(2\).pdf](http://www.cencomex.cl/cencomex/pdf%20cencomex/Catalogo%20Critical%20Care%20(2).pdf). [Último acceso: 2014].
- [36] Vygon, «Catéteres de pediatría,» 2013. [En línea]. Available: http://www.vygon.es/wp-content/uploads/sites/4/2013/09/cateteres_de_pediatria.pdf. [Último acceso: 2014].

- [37] L. Barbé, B. Bayle, M. de Mathelin y A. Gangi, «Needle Insertions Modeling :Identifiability and Limitations,» 2007. [En línea]. Available: <http://eavr.u-strasbg.fr/~bernard/publications/download/bspc2007.pdf>. [Último acceso: 2014].
- [38] U. Techonologies, «Procedural Examples,» 10 Noviembre 2012. [En línea]. Available: <https://www.assetstore.unity3d.com/en#!/content/5141>. [Último acceso: 2014].
- [39] M. Mahoney, «Meshinator - Realtime Mesh Deformation,» 15 Mayo 2013. [En línea]. Available: <https://www.assetstore.unity3d.com/en#!/content/8228>. [Último acceso: 2014].
- [40] C. Park, «BinocularAR (Vuforia+Unity3D),» 23 Marzo 2014. [En línea]. Available: <https://docs.google.com/file/d/0B4yxPOV0xiGrd0sxMkp3bnpBcS01NFFOaUdSMzNhMm5TSWhj/edit?pli=1>. [Último acceso: 2015].
- [41] M. Gal, «Youtube,» 3 Marzo 2014. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=QwWIWMV_Ryl. [Último acceso: 2014].
- [42] M. Mahoney, «Meshinator-Blog,» 16 Abril 2013. [En línea]. Available: <http://meshinator.blogspot.com/>. [Último acceso: 2014].

ANEXO 1 MANUAL USO DE METAIO CON UNITY3D

¿CÓMO HACER UNA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA EN UNITY3D?



Manual para sencilla creación de
aplicaciones de realidad aumentada
usando Unity3D y Metaio SDK.

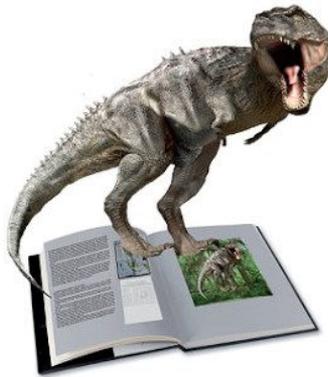
Erika Maritza Gutiérrez Puerto
Ing. Byron Alfonso Pérez Gutiérrez

Ingeniería Mecatrónica
UMNG
2014

INTRODUCCIÓN

La Realidad Aumentada es la fusión de lo real y virtual, en tiempo real. Consiste en añadir información digital a la información física de un elemento recibida por un dispositivo, creando una realidad mixta permitiendo disponer de mucha mayor información de la que se recibiría únicamente con la percepción física de los elementos.

El presente manual es una guía para que el usuario de la suite Unity3D pueda implementar aplicaciones de RA utilizando para esto el SDK que ofrece Metaio. En primer lugar se hablará de los requisitos y proceso de instalación del SDK, luego se referirá a las suites de modelado 3D y los formatos que soporta el SDK, así como también los tipos de marcadores y configuraciones de tracking que ofrece, para finalmente avanzar en la creación de un nuevo proyecto.

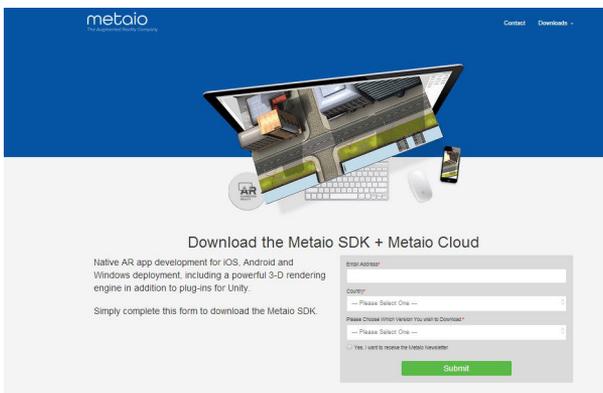


¿QUÉ NECESITAMOS?

1. Unity3D versión Pro superior a 4.0, esto para previsualizar o desarrollar aplicaciones para Windows o Mac OS X. La versión gratuita permite el desarrollo para dispositivos Android/IOS pero no permite su previsualización en el editor de Unity.
2. Cámara web, puede ser una externa o la que viene incluida con el computador.
3. Metaio SDK (Última versión 6.0).
4. Suite de modelado 3D, para hacer el contenido digital.

INSTALACIÓN DEL SDK

1. Ingresar a la siguiente página http://ar.metaio.com/download_sdk, en la cual pedirán registrarse para poder descargar el paquete de instalación.



metaio
The AR Development Company

Contact Downloads

Download the Metaio SDK + Metaio Cloud

Native AR app development for iOS, Android and Windows deployment, including a powerful 3-D rendering engine in addition to plug-ins for Unity.

Simply complete this form to download the Metaio SDK.

STEP 1: REGISTER

EMAIL ADDRESS:

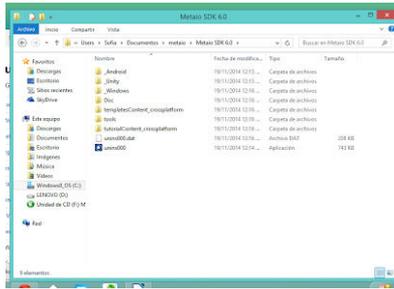
COUNTRY:

PLEASE CHOOSE WHICH VERSION YOU WANT TO DOWNLOAD:

Yes, I want to receive the Metaio Newsletter

Submit

- Después de terminar el proceso de instalación, encontrará Metaio SDK en la lista de programas, dependiendo de la ubicación que le haya asignado, en donde se incluyen tutoriales, documentación y herramientas para empezar con el desarrollo.



CREACIÓN DE CONTENIDO

El SDK de Metaio ofrece creación de contenido digital en tres áreas principales: imágenes, vídeos y modelos 3D.

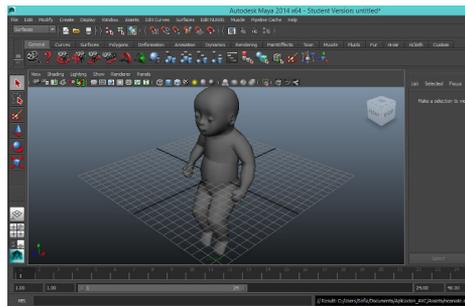
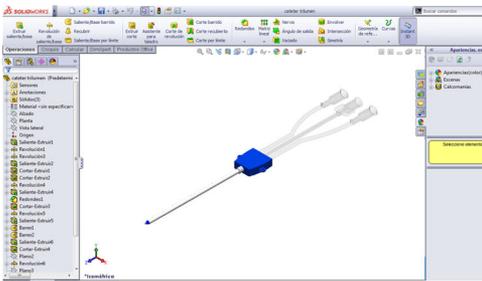


Actualmente este SDK soporta los siguientes formatos en cada una de las áreas:

Imágenes	Videos	Modelos y animaciones
.jpg	MPEG4	.OBJ
.png	Resolución 176X144px	.MD2
.bmp		.FBX

Enfocándonos en los modelos y animaciones 3D, es importante que al seleccionar la suite de modelado tengamos en cuenta la exportación de los archivos a los formatos que requiere el SDK. de tal manera que si el software no soporta exportar en estos formatos busquemos herramientas gratuitas que nos permitan convertirlos como Blender o Rhino.

Algunos ejemplos de creación de contenido se muestran a continuación en los software de modelado SolidWorks y Maya de Autodesk.



Algunas recomendaciones que hacen en la documentación de Metaio incluyen la cantidad de polígonos del modelo, la utilización de texturas y el intentar usar siempre texturas que sean “múltiplos de dos” y menores de 1024X1024px.

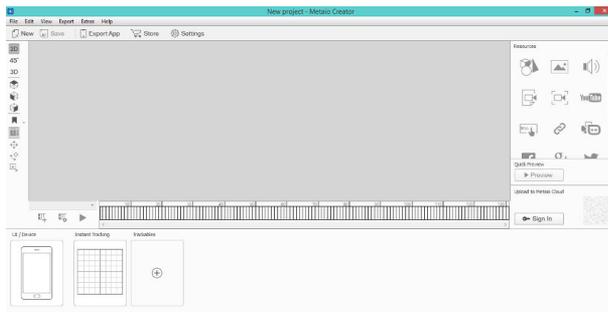
CONFIGURACIONES DE TRACKING

El SDK de Metaio ofrece diversas estrategias en cuanto al seguimiento de posición y orientación del objeto físico que servirá como guía para aumentar la escena, en donde cada método contiene una configuración en formato .XML, entre estas podemos encontrar:

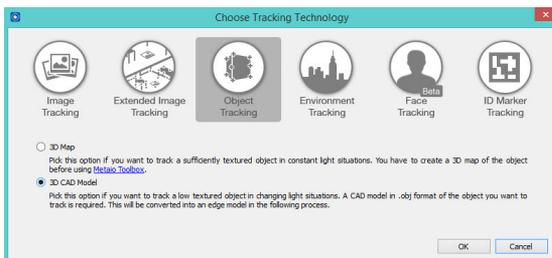
- Tracking óptico
 - Marcador ID y códigos QR
 - Marcador Imagen: se puede usar cualquier imagen que posea contraste en su contenido, siempre y cuando la imagen de referencia este rodeada por un borde.
 - Imagen: usa una configuración sin marcadores para identificar una imagen con un determinado tamaño en mm.
 - Mapas 3D : permite usar objetos del mundo real como referencia al crear un archivo .3dmap usando el Metaio Creator.
 - Modelo CAD: permite el posicionamiento de un modelo realizado en CAD a partir de una pose inicial que se configura usando el Metaio Creator.
- Tracking no óptico
 - GPS/sensores inerciales: soporta información desde GPS, acelerómetros, giroscopios y sensores magnéticos (brújulas) que ofrecen los dispositivos móviles.

Entre lo más innovador que tiene por ofrecer este SDK se encuentra la configuración del tracking a través de un modelo de CAD, usando la herramienta Metaio Creator (también disponible para descarga) esta configuración se puede hacer de una manera amigable, ya que permite escoger nuestro modelo CAD (en los formatos anteriormente descritos para 3D) y genera los modelos de línea y superficie requeridos, así como la pose inicial que servirá para reconocer el objeto. A continuación se dará una explicación más detallada de esta herramienta.

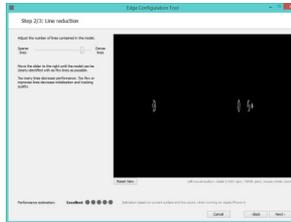
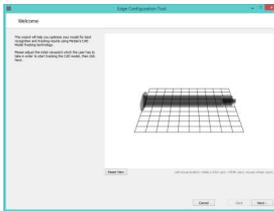
- Luego de instalado Metaio Creator, abrir la suite y crear un nuevo proyecto.



- Añadir un nuevo trackable, eligiendo la configuración de 3D y el modelo CAD del objeto real.



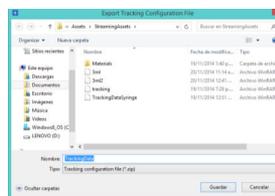
- Se abrirá una ventana para realizar la configuración del tracking basada en Edge, escoger la pose inicial, el modelo de superficie y líneas que sea mejor para la aplicación.



- Escoger el método de tracking más apropiado según el objeto real.



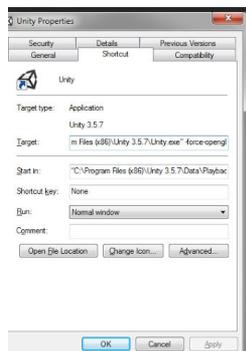
- Exportar la configuración para su posterior uso en Unity.



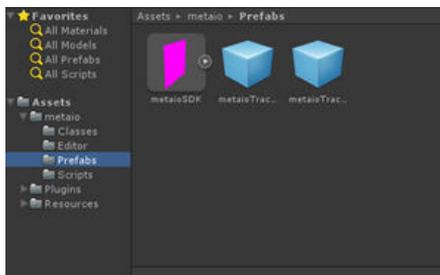
IMPLEMENTACIÓN EN UNITY3D

En la ubicación del SDK de Metaio existe una carpeta dedicada exclusivamente al desarrollo en Unity en donde se puede encontrar el paquete que incluye todas las configuraciones, prefabricados y demás objetos para realizar nuestra aplicación.

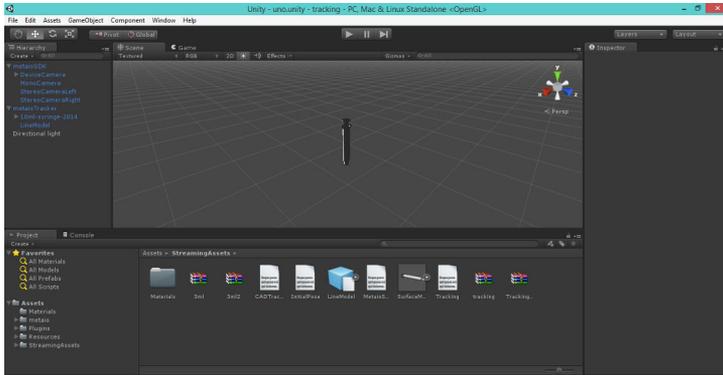
En primer lugar se debe forzar OPENGL en la ventana de propiedades de Unity, ya que es necesario para que el SDK funcione.



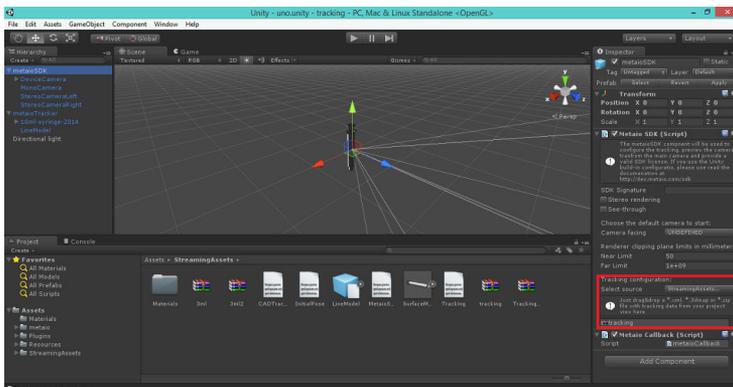
Luego de hacer esto ya podemos abrir Unity y crear un proyecto nuevo, para después importar el paquete de Metaio en Assets->Import Package->Custom Package. Cuando lo importemos podremos ver las siguientes carpetas en nuestro proyecto.



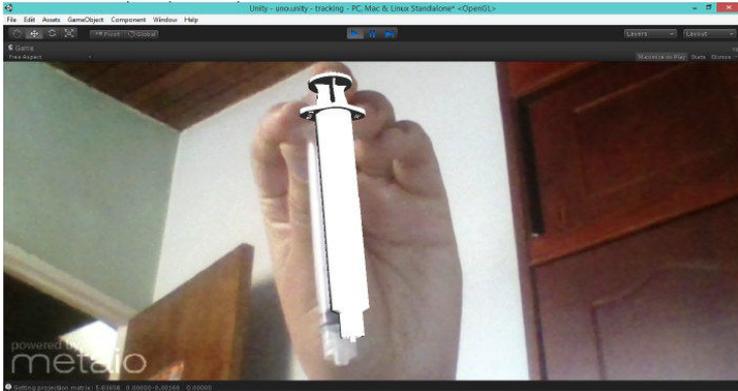
Para añadir la cámara de realidad aumentada y el marcador arrastramos el prefab de Metaio SDK a nuestra escena así como un Metaio Tracker, al cual le vamos a asignar como hijo el contenido (imagen, video, modelo 3D).



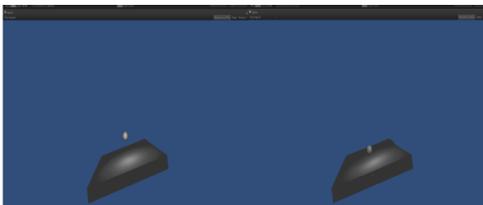
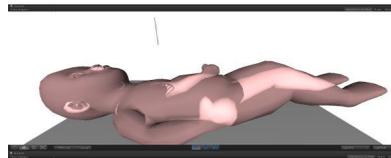
Para cargar la configuración del tracking que ya exportamos desde Creator o alguna de las que ya vienen por defecto en los ejemplos, seleccionamos el prefab de Metaio SDK y en el inspector buscamos Select Configuration->StreamingAssets y seleccionamos el .zip, .3dmap o .xml.



Usando las herramientas de textura y luces de Unity podemos darle más vida a los modelos 3D, para finalmente dar play y ver la aplicación en funcionamiento.



Algunas de las ventajas de usar Unity incluyen que podemos añadir propiedades físicas a nuestros modelos y hacer que interactúen entre sí mediante colisiones, así como el poder cambiar la transparencia de estos mismos.

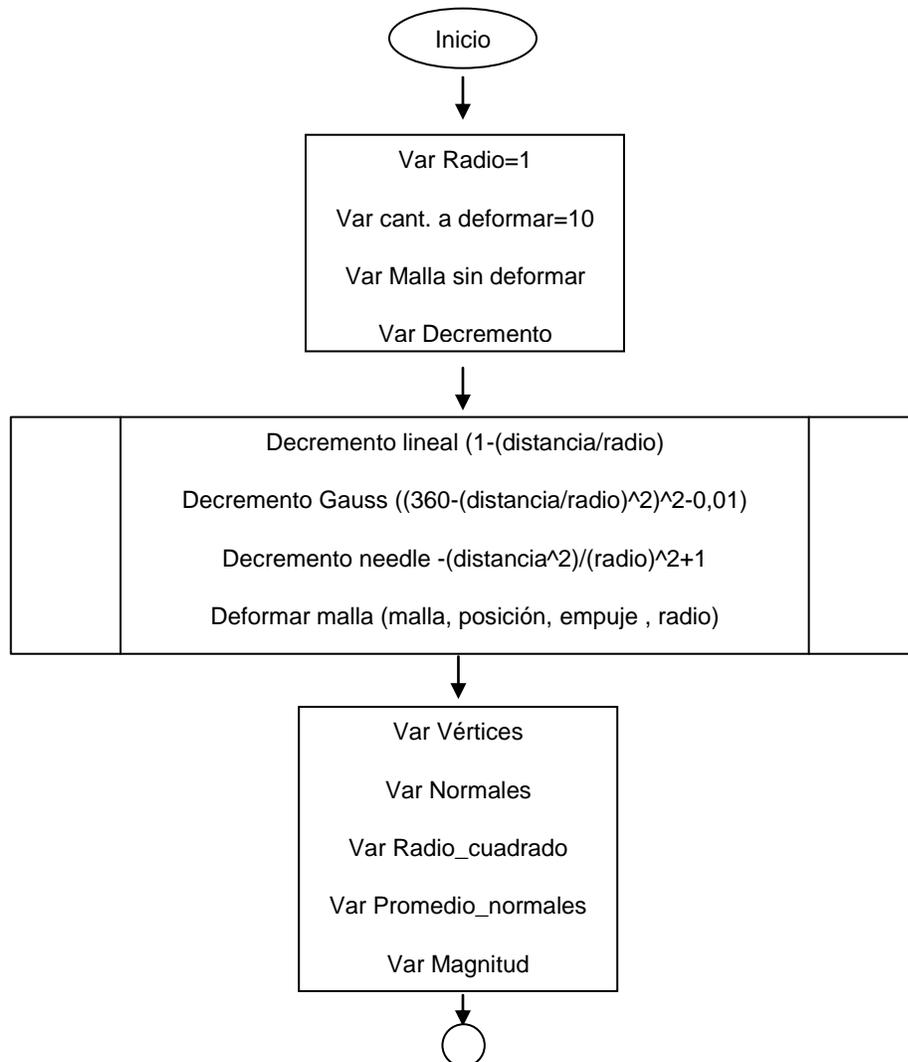


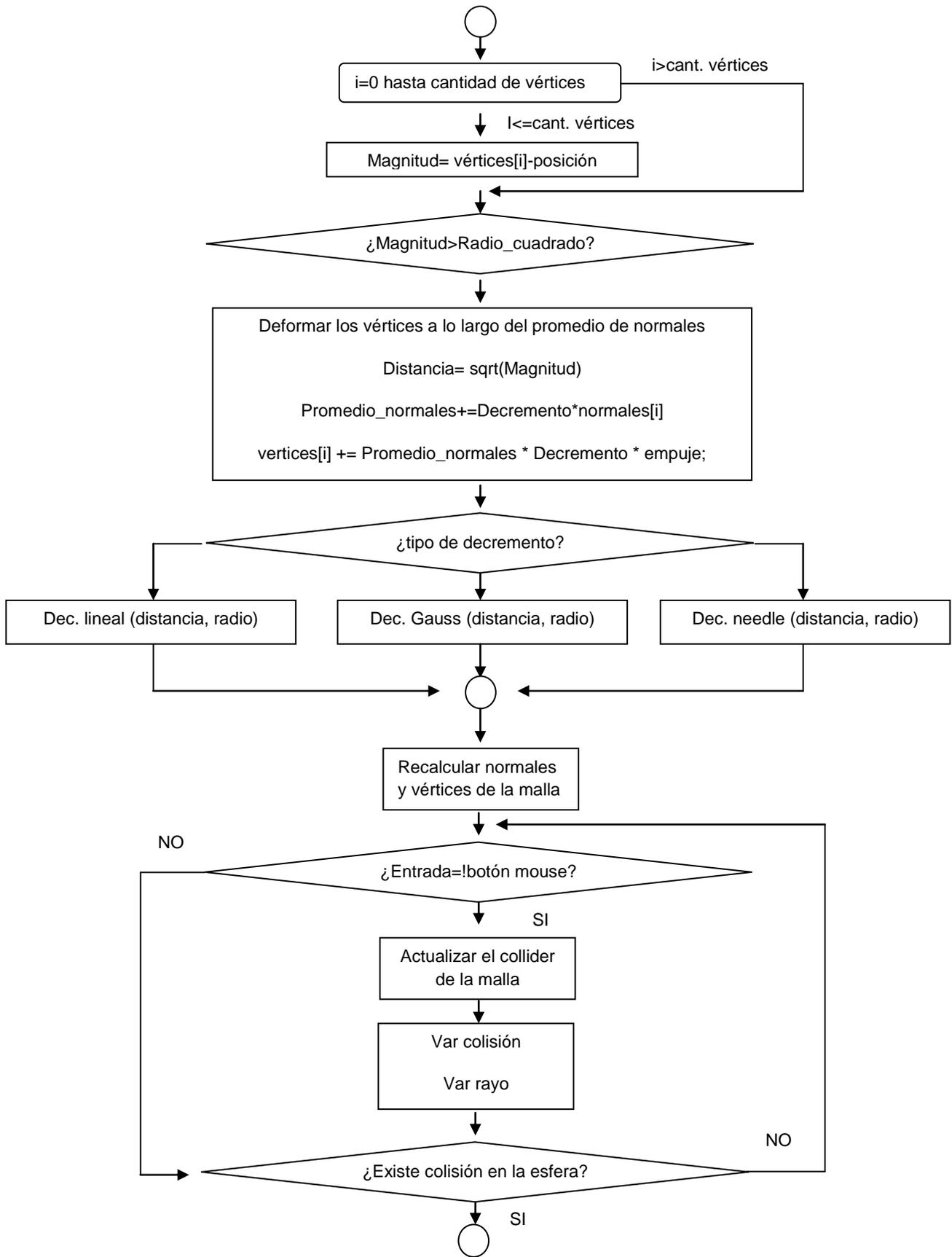
ANEXO 2 DEFORMACIÓN DE MALLAS USANDO UTILIDADES DE UNITY3D

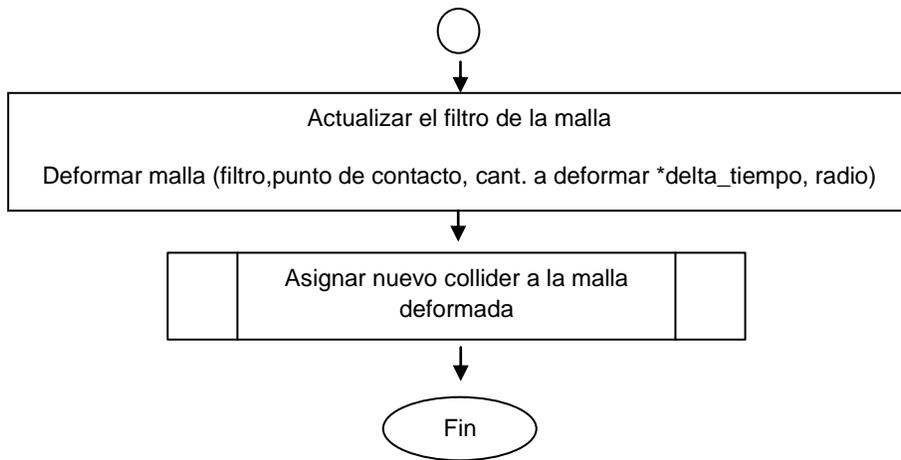
Procedural Examples

Este paquete en concreto trae consigo diversas escenas en las que se usan diferentes métodos para modificar mallas, la escena que más influencia tiene en el trabajo que se quiso desarrollar, fue la de Sculpt Vertices; la cual consta de una esfera a la cual mediante la interacción con el mouse se puede deformar. Para esto se usa RayCasting de la posición del Mouse y dependiendo de algunas propiedades como el radio y la cantidad a deformar se logra un efecto de esculpido. También permite escoger entre tres diferentes métodos en los que se realizará el decremento de volumen, entre estos Gauss, Linear y Needle. Se usa también un procedimiento alternativo para actualizar la malla al asignarle un nuevo filtro y collider en procesos distintos a los habituales para el módulo de física, esto con el propósito de que la deformación no posea un procesamiento tan pesado y la actualización sea lo suficientemente rápida. A continuación se muestra un diagrama de flujo que resume el código que da vida al ejemplo revisado.

Paint Vertices

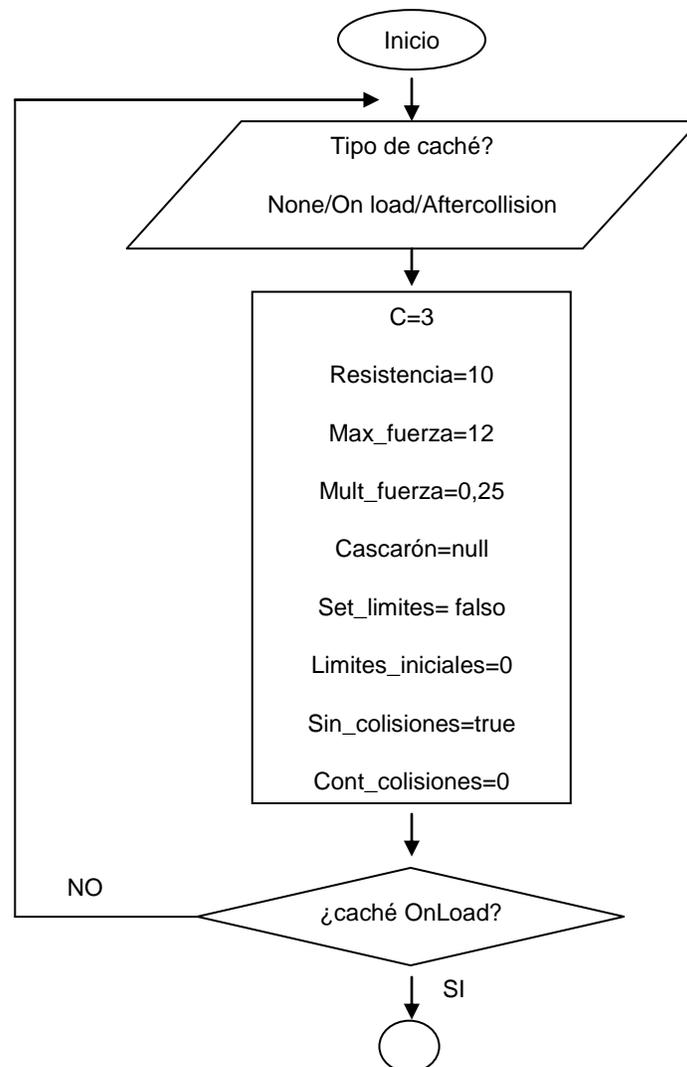


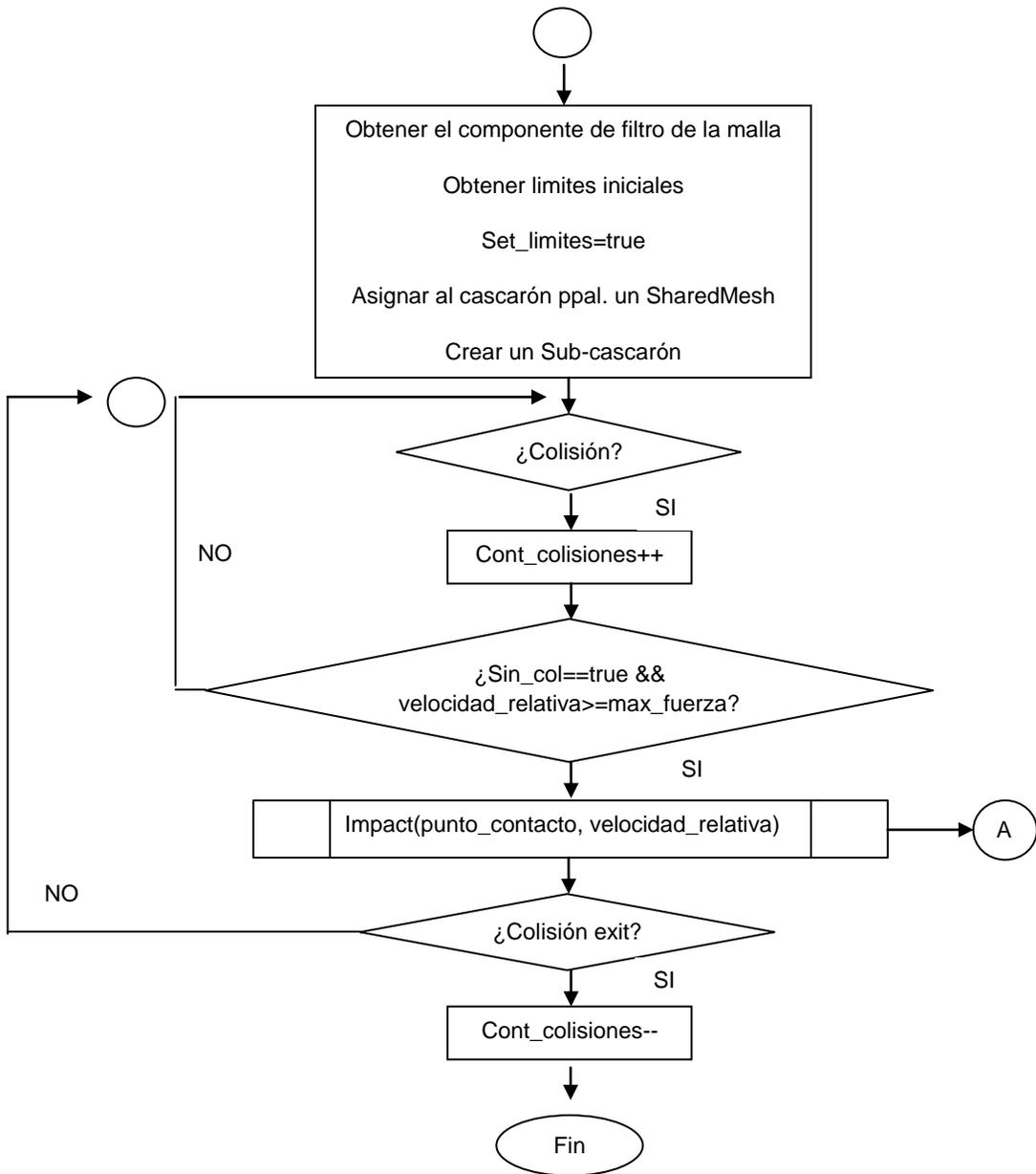


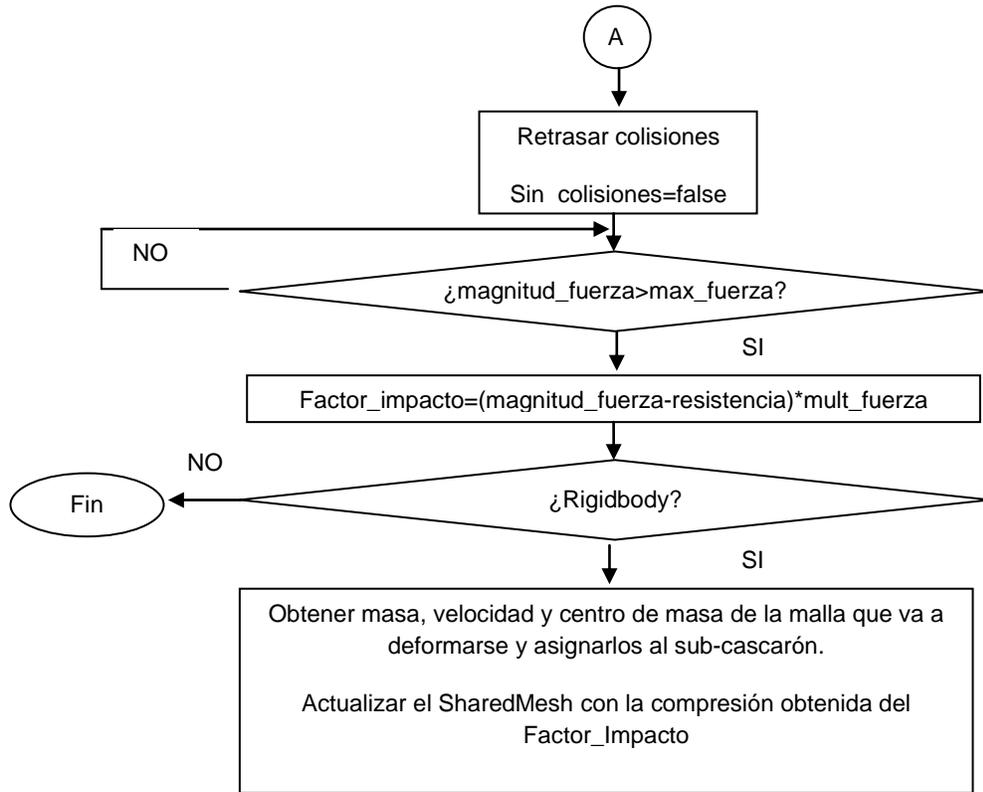


Meshinator

Este paquete en concreto trae consigo dos escenas en las que se utiliza el mismo script, que permite seleccionar entre el tipo de impacto, ya sea fractura o compresión, como las define el autor. Ya que no es de interés lograr una fractura de la malla en el proyecto a realizar, se tuvo en cuenta la parte de compresión. En el blog del autor [1] el realiza una serie de recomendaciones y explicaciones acerca de cómo usar el Script que viene incluido en el paquete para Unity3D; entre estas explica que componentes de física debe tener el GameObject que queremos que se deforme (Meshfilter, RigidBody, Collider), las diferentes opciones en cuanto a caché, forma del impacto y tipo de impacto. A continuación se puede observar un diagrama de flujo resumiendo el Script que da vida al ejemplo revisado.







[1] M. Mahoney, «Meshinator-Blog,» 16 Abril 2013. [En línea]. Available: <http://meshinator.blogspot.com/>. [Último acceso: 2014].

ANEXO 3 VISIÓN ESTÉREO USANDO LOS PREFABRICADOS DE VUFORIA

Visión Estereo con Vuforia y Unity3D

C. Park utiliza los prefabricados de Vuforia para crear visión estereo, esto lo logra añadiendo dos cámaras una para cada ojo como hijas de la ARCamera y seleccionando un plano en el cual proyectar la imagen capturada por dos BackgroundCamera que están sincronizadas con el vídeo recibido por la cámara principal, las cuales servirán para dividir la pantalla en dos viewports. El autor crea en primer lugar un GameObject vacío al cual le añade un script encargado de añadir al plano la textura de la cámara; luego añade al prefabricado ARCamera un script que permite actualizar la proyección de la imagen en la cámara para cada ojo; finalmente añade un script a la BackgroundCamera principal que permite sincronizar las dos existentes para que la proyección en el plano sea la adecuada. Además se añaden al plano tres scripts desarrollados por Vuforia encargados de renderizar el video y mostrar un mensaje en pantalla si se presenta un error en la inicialización; y se hace uso de las capas de renderizado en Unity3D para dividir la ARcamera de la BackGroundCamera. A continuación se comentará cada uno de los scripts descritos con anterioridad y como fueron asignados por el autor a cada objeto en la escena.

AppManager

```
using UnityEngine;
```

```
using System.Collections;
```

```
public class AppManager : MonoBehaviour {

    public VideoTextureBehaviour m_VideoTexBhvr; //Crea textura para el plano

    void Start () {
        m_VideoTexBhvr.InitBehaviour(); //Inicializa textura
    }

    void Update () {
        m_VideoTexBhvr.UpdateBehaviour();//Actualiza textura
    }

}
```

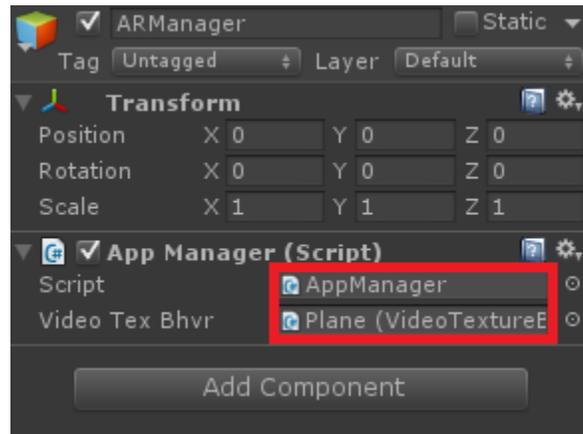


Figura 1 Componentes del GameObject ARManager, script y selección del plano en el que se renderizará la imagen

UpdateProjection

```
using UnityEngine;
```

```
using System.Collections;
```

```
public class UpdateProjection : MonoBehaviour {
    public GameObject leftCamera = null;
    public GameObject rightCamera = null;
    private Matrix4x4 projectionLR;
    void Start () {
        if(leftCamera == null) {
            leftCamera = GameObject.Find("LeftCamera");
        }
        if(rightCamera == null) {
            rightCamera = GameObject.Find("RightCamera");
        }

        projectionLR = Matrix4x4.zero; //inicializa la matriz de proyección en ceros
    }
}
```


SynchronizeARBGCamera

```
using UnityEngine;
using System.Collections;

public class SynchronizeARBGCamera : MonoBehaviour {
    private GameObject BGCamera = null; //BackgroundCamera principal
    public GameObject ChildBGCamera = null; //BackGroundCamera secundaria

    void Start () {
        BGCamera = gameObject; //Inicializa la BGCamera principal
    }

    void Update () {
        //actualiza las dimensiones ortográficas de las dos cámaras para que estas sean iguales
        if((BGCamera != null) && (ChildBGCamera != null)) {
            if(BGCamera.camera.orthographicSize != ChildBGCamera.camera.orthographicSize) {
                ChildBGCamera.camera.orthographicSize = BGCamera.camera.orthographicSize;
            }
        }
    }
}
```

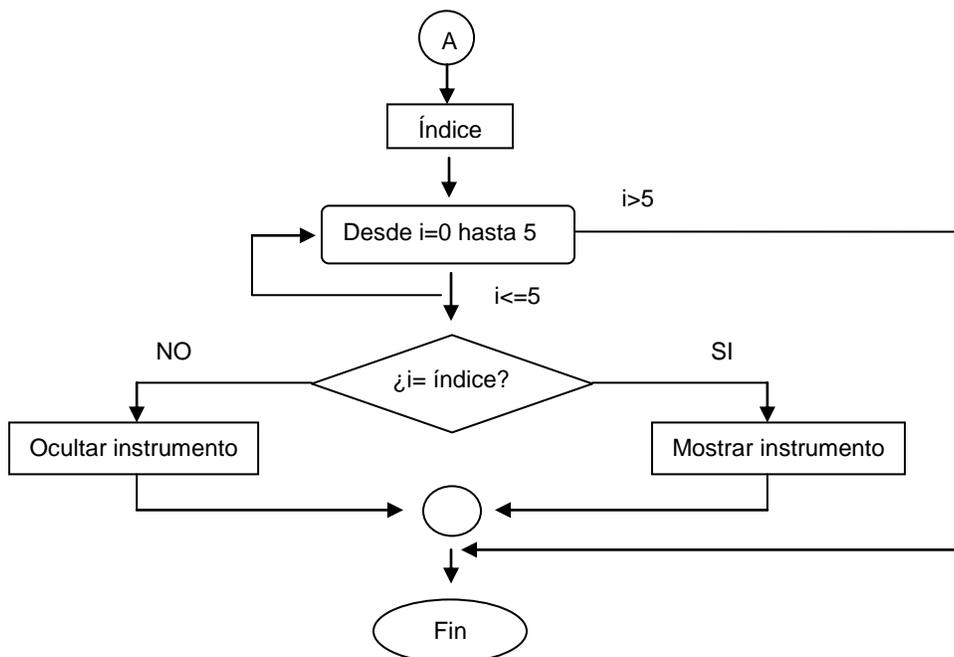
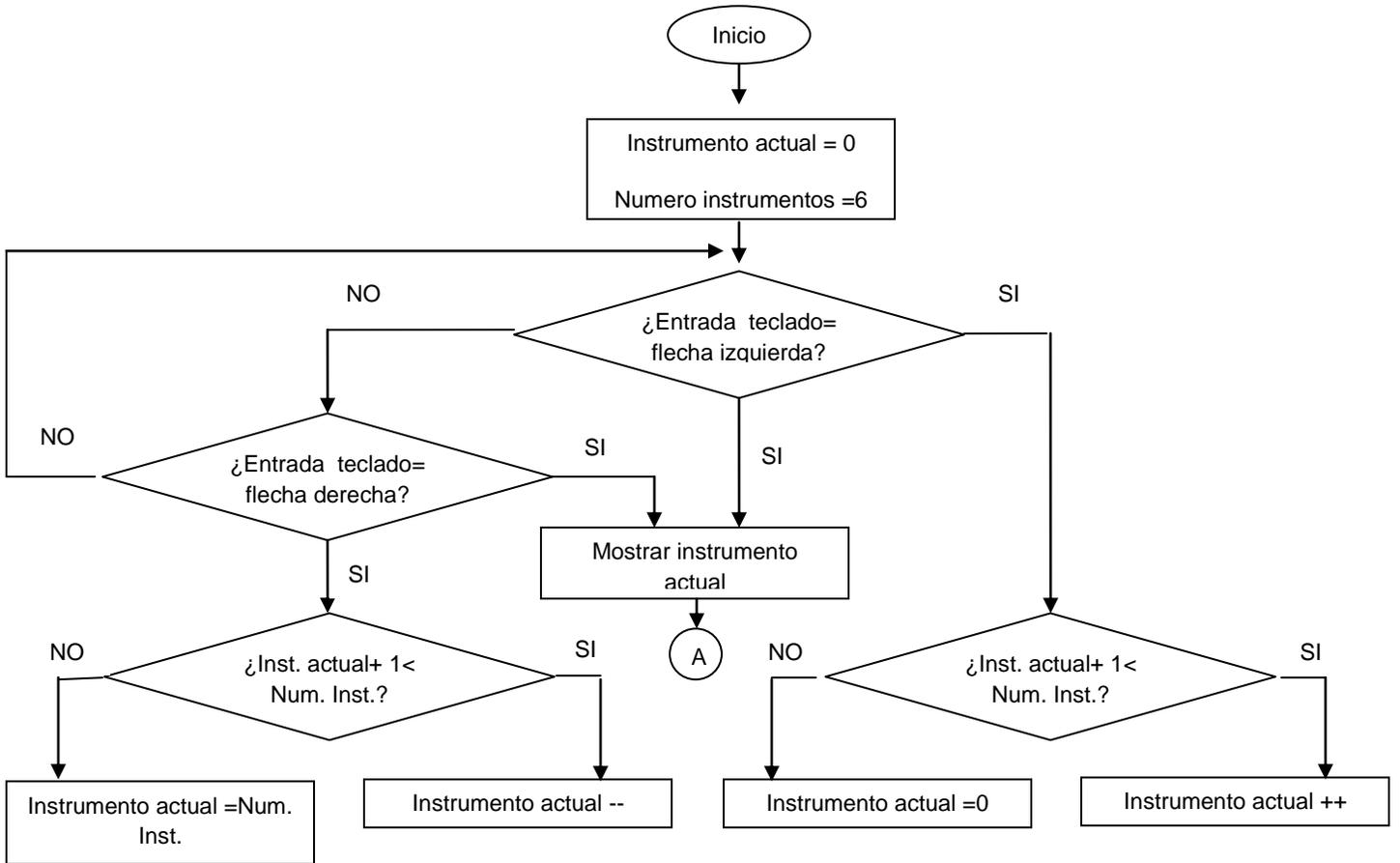


Figura 3 Capa de renderizado de la cámara, scripts y cámara asignada como hija

ANEXO 4 UTILIDADES DE LA ESCENA PRINCIPAL

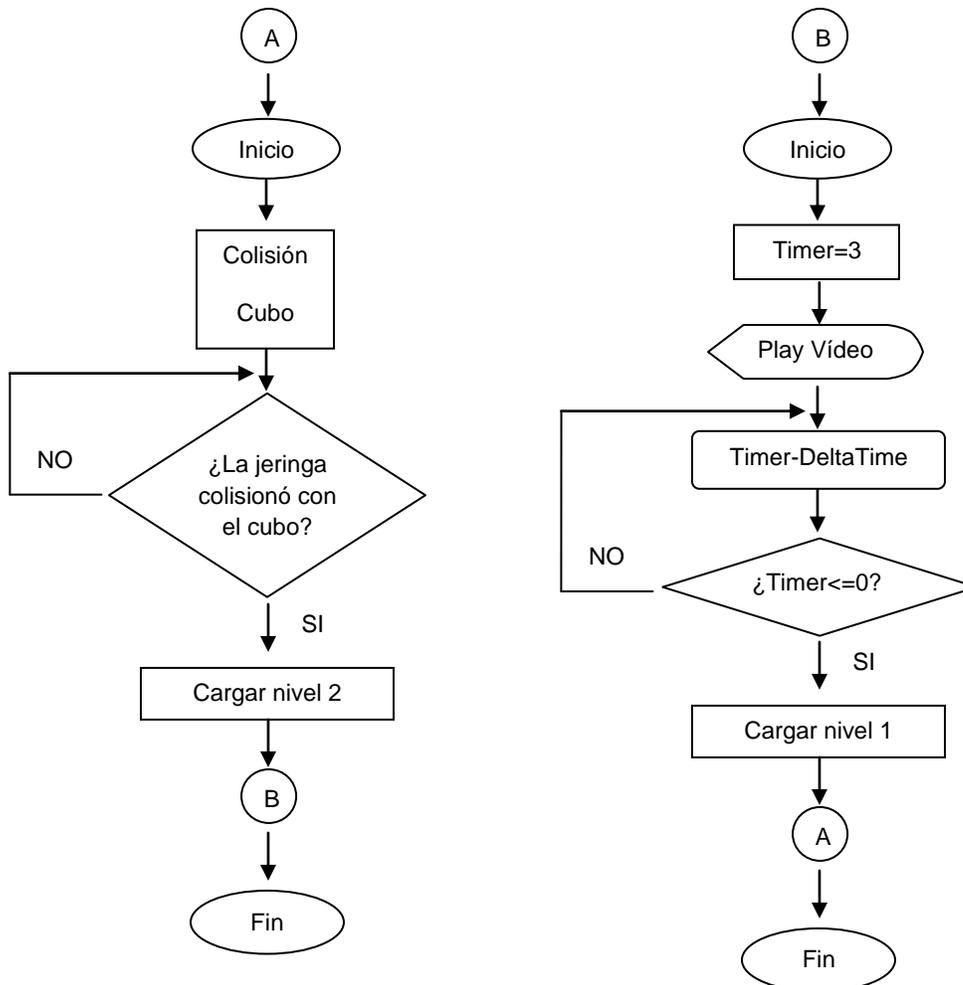
Cambio de Instrumental

Script asignado al GameObject llamado objetivo el cual corresponde al marcador 3d de Vuforia y es padre del instrumental modelado.



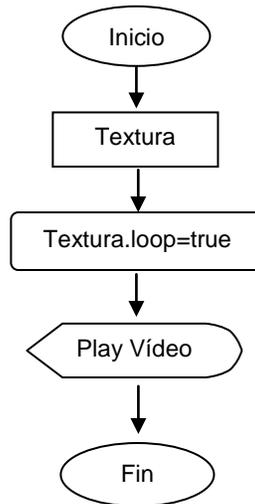
Mostrar animación al existir colisión

Script asignado al GameObject correspondiente a la malla de la parte inferior de la aguja, que al hacer contacto con la malla del neonato cargará una nueva escena en donde se reproducirá la animación. En la segunda escena existe un Cubo el cual se texturiza con el vídeo de la inserción de la aguja.



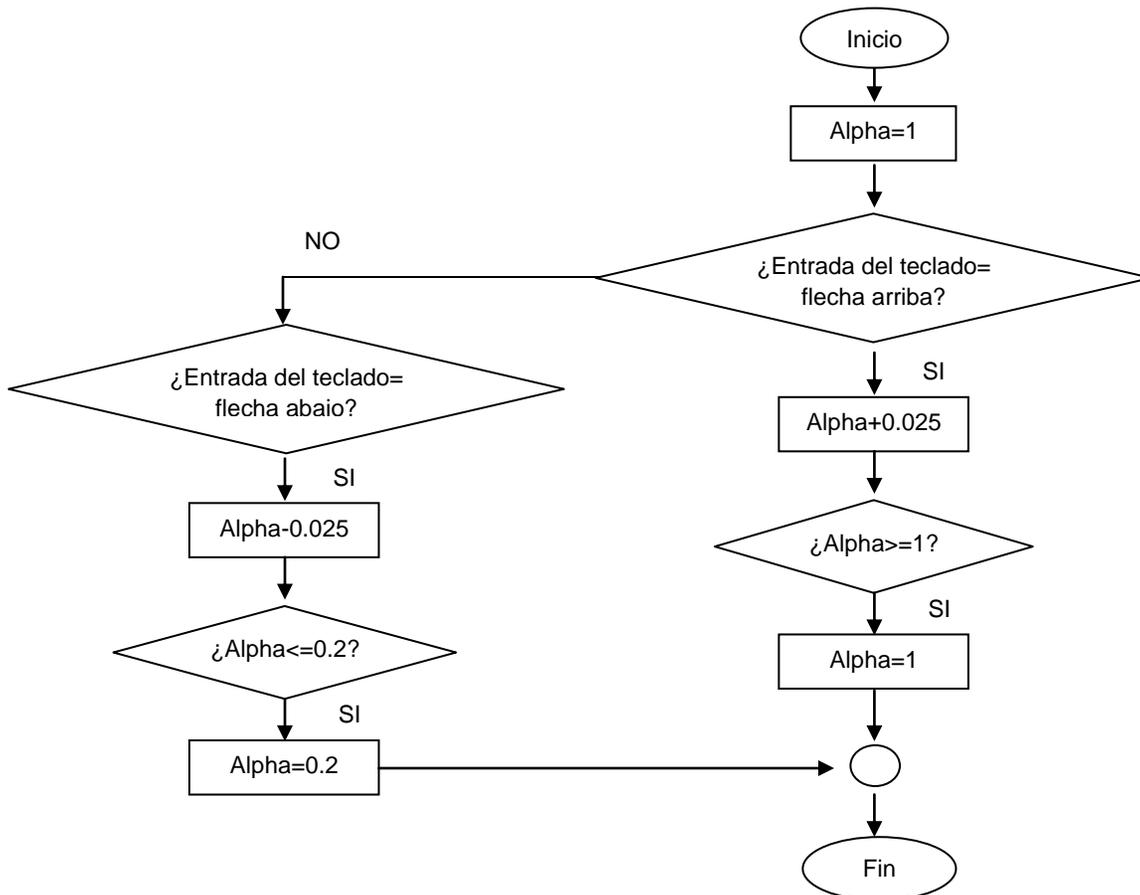
Animación monitor cardíaco

Para realizar esta tarea se creó un nuevo GameObject (cubo) al cual se le asignó la textura del vídeo, como este vídeo tiene que reproducirse mientras el usuario se encuentre en la escena se usó el método loop de la función MovTexture.



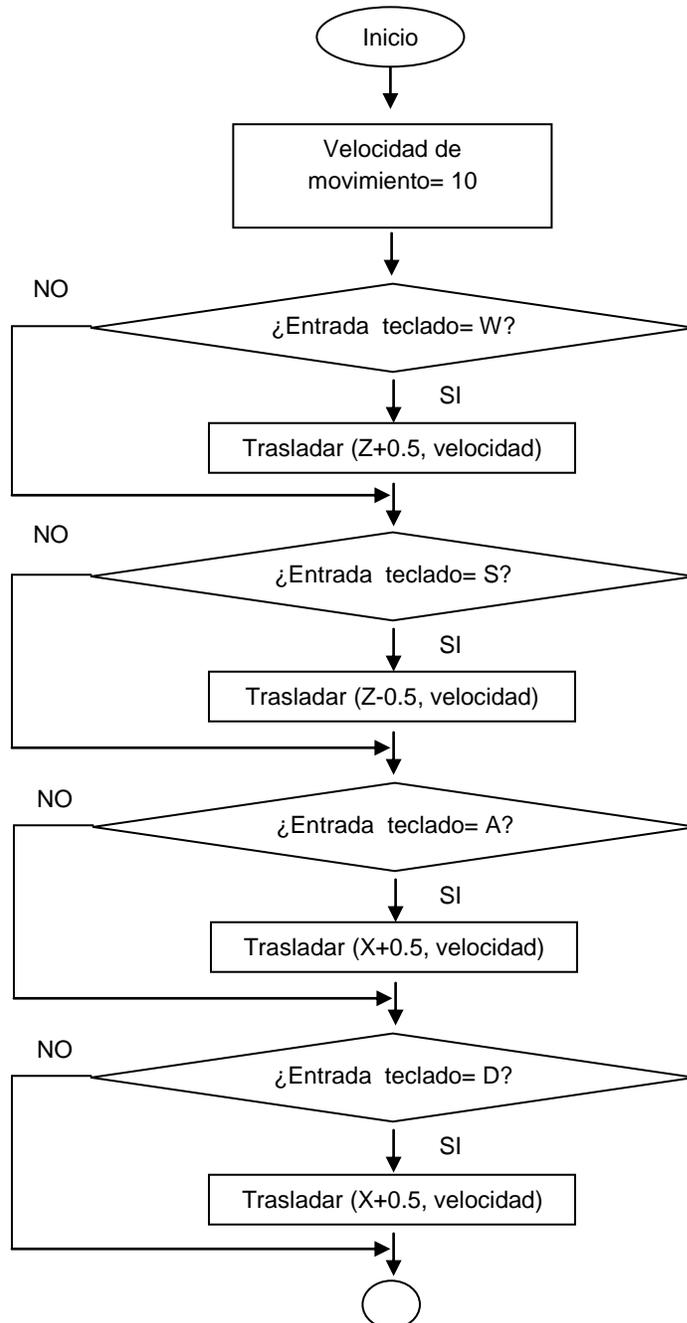
Transparencia malla del paciente

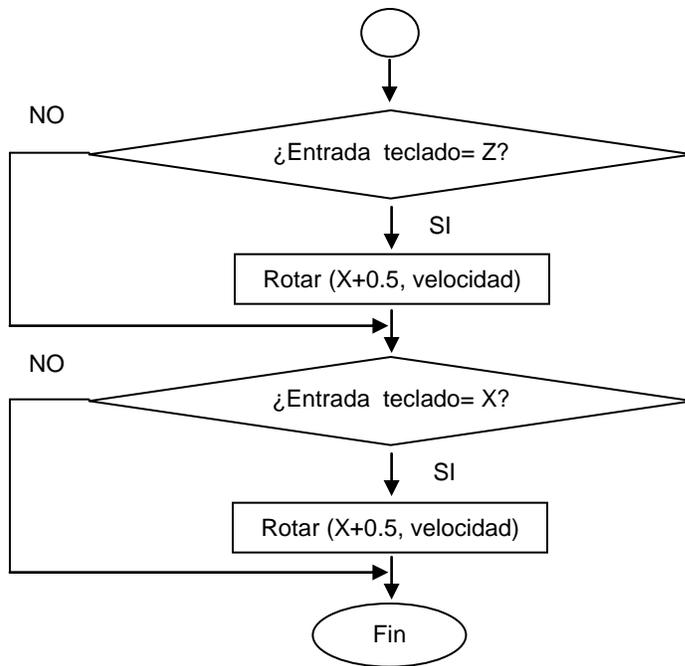
Script asignado a la malla del neonato, en el cual se cambian los valores del alpha para lograr el efecto de transparencia usando entradas de teclado.



Desplazamiento en la escena

Para realizar esta tarea se asignó a la cámara de RA un script que permitiera el desplazamiento de esta en los ejes X y Z, además de su rotación en el eje X haciendo uso de entradas de teclado.





ANEXO 5 INSTRUCTIVO PARA EL USUARIO

Instructivo para la navegación entre escenas y el movimiento en la Escena Principal



Seleccionar escena correspondiente al tutorial del acceso venoso central



Seleccionar escena interactiva con RA



Seleccionar escena de créditos

Traducción en eje Z:

- $W = Z+$
- $S = Z-$

Traducción en eje X:

- $A = X-$
- $D = X+$

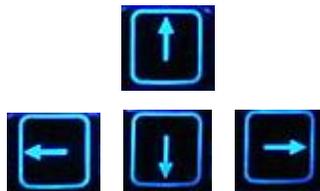
Rotación en eje X

- $Z = X+$
- $X = X-$



Transparencia malla del paciente:

- UpArrow = disminuir transparencia
- DownArrow = aumentar transparencia
- LeftArrow = Cambio instrumental
- RightArrow = Cambio instrumental



ANEXO 6 HCI 2015



Erika Gutiérrez <akirekik1@gmail.com>

HCII2015: Poster Proposal Submission

1 mensaje

program@hcii2015.org <program@hcii2015.org>

2 de marzo de 2015, 15:52

Para: byron.perez@ieee.org

Cc: program@hcii2015.org, akirekik1@gmail.com, lizvega@ieee.org, alvaro.j.uribe@ieee.org, gtibap@gmail.com

Thank you for submitting your poster proposal to HCI International 2015.

The details of your poster proposal are as follows:

Submission ID: 3482

Title: Augmented Reality Central Venous Access Training Simulator

Author(s): Byron Perez-Gutierrez, Erika Gutierrez-Puerto, Lizeth Vega-Medina, Alvaro Uribe-Quevedo, Gerardo Tibamoso

=====

This is an automated message



Erika Gutiérrez <akirekik1@gmail.com>

HCII 2015: Your poster submission ID: 3482 - review results

1 mensaje

Program Administration <program@hcii2015.org>

16 de marzo de 2015, 14:14

Para: akirekik1@gmail.com

Cc: byron.perez@ieee.org, lizvega@ieee.org, alvaro.j.uribe@ieee.org, gtibap@gmail.com

Dear Author(s),

Thank you for your interest in HCI International 2015 and the affiliated Conferences and for your submission

Submission ID: 3482

Poster Title: "Augmented Reality Central Venous Access Training Simulator"

By: Byron Perez-Gutierrez, Erika Gutierrez-Puerto, Lizeth Vega-Medina, Alvaro Uribe-Quevedo, Gerardo Tibamoso

We are pleased to inform you that based on the comments of the reviewers, **your submission has been accepted** for publication in the Conference Proceedings and presentation at the Conference.

The extended abstracts of the posters accepted for presentation at HCI International 2015 will be published by Springer as part of the CCIS series, indexed by ISI Citation Index, EI Engineering Index, Scopus. More information about indexing of the CCIS Series is available through the Publisher's website:
<http://www.springer.com/series/7899>

They will be available on-line through the SpringerLink Digital Library, readily accessible by all subscribing libraries around the world. All Conference participants will receive in their registration bags the Conference Proceedings in DVD format.

The synthesized reviewers' comments are appended at the bottom of this e-mail.

Please send the extended abstract of your poster for the Conference Proceedings by **Thursday, 2 April 2015**, at the latest. The camera-ready poster abstracts shall have typically 5 pages (at least 4 and at maximum 6 pages), they must be written in the form of self-contained short research papers and should be formatted according to the Springer manuscript guidelines available at:

<http://2015.hci.international/guidelines-for-final-camera-ready-extended-poster-abstracts>

If an extended abstract is not submitted according to the above guidelines, the poster will not be included in the Conference Proceedings, but can still be presented during the Conference.

Please note that we will only accept electronic submission of your extended abstract, which you can upload via the Conference Management System:

<https://cms.hci.international/2015/>

IMPORTANT NOTE: According to the Registration Regulation for HCI International 2015 and the affiliated conferences, for poster presentation at the Conference and publication in the Proceedings, a unique registration of one (co-)author per poster is required by 2 April 2015. Detailed information about the registration is available at:

<http://2015.hci.international/registration>

You are also encouraged to book accommodation at your earliest convenience. For hotel information please visit:

<http://2015.hci.international/accommodation>

If you need a visa to travel to USA, please make sure to submit your visa application well in advance, because

usually this is a time consuming process.

Your contribution to HCI International 2015 and the affiliated Conferences is very much appreciated and we look forward to welcoming you in Los Angeles, CA, USA, hoping that your participation will be both rewarding and enjoyable.

Kindest regards,
Constantine Stephanidis
General Chair, HCI International 2015

=====

Comments:

Interesting work, suitable for poster presentation. Are any evaluation results available?

=====

This is an automated message

Augmented Reality Central Venous Access Training Simulator

Erika Gutierrez-Puerto

Student of Mechatronics Engineering at Nueva Granada Military University

akirekik1@gmail.com

Abstract. This paper summary the development of an augmented reality application that allows medicine students to make a first approach to the central venous access procedure applied to newborns. The system has a 3D marker tracking, that enables the user interact with models of surgical tools such as syringe, blunt guidewire, dilating device and catheter, each one of them shows up over the marker. It also has keyboard inputs in order to move into the scene and change between views like patient's skin, skeleton or circulatory system. The prototype is programmed in Unity3D with the use of AR Vuforia library and an Oculus VR with an attached webcam.

Keywords: Central venous access, Augmented Reality, 3D marker tracking, Medical Training Simulator.

1 Introduction

Augmented Reality is a field that has a lot of relevance nowadays because of its multiple applications in different kind of scenarios, the reason that this technique is gaining popularity might be the expansion and availability of mobile devices with camera (smartphones, tablets) that allows the interaction with the virtual contents [1-3].

There are currently diverse applications of AR and VR which have been used for teaching some content that the learner needs to be able to handle at a high level of abstraction to understand and apply. These technologies allow to interact with different elements providing students with abilities to perceive and control objects that otherwise would be impossible, by the other hand AR doesn't completely eliminate reality context which makes learning possible without forgetting the communication and collaboration that the students and teachers must have and maybe necessary on different situations [4].

The use of systems that involves simulation techniques into the medical field is useful because it allows the students or residents to practice procedures without ethical and time restrictions, making the simulators important tools in knowledge of multiple situations or study cases and in the improvement of their skills by letting them interact repetitively and view the patient's anatomy from different perspectives.

The main goal of this research is the evaluation of different tools to develop AR in the creation of an interactive-immersive application that provides training in central venous access by Seldinger technique, implementing software that combines real images (3D marker) with computer generated images that represents the patient's body and the necessary instrumental. The proposed system integrates visually interaction between human tissue and needle using a Head Mounted Display and natural feature based recognition of a 3D marker [5].

2 Literature Review

Physical models for the simulation of central venous access can be found commercially [6-7], but even when these models are built with materials that have similar properties to those of human tissues and represent a good tool in terms of physical and mechanical behavior similarity, these models fail in the representation of the human anatomy. That issue could be fixed using virtual scenarios implementing biomechanical models associate to 3D objects that represent tissues as skin and blood vessels, also the system could integrate associate procedure information.

In the paper "Mixed simulators: Augmented physical simulators with virtual underlays"[8] a simulation system for subclavian VCA technique is presented. The system includes a physical model and a virtual ambient, based on the anatomical information extract of computerized tomography and magnetic resonance images. The physical model represents the skin and the bones, while the virtual ambient also

allows to visualize the vessels and lungs. A syringe can be manipulated over the physical model and there is a virtual representation that follows its movement, it detects when the needle insertion is right. Another device that are useful in medical techniques like the VCA, is the “Sonic Flashlight” for visualize ultrasound images acquired in real time of the larger interest vessels in the same line between observer and patient[9]. Finally the Laerdal Company designs a device that provides a physical interface in which an end effector is manipulated to simulate the needle insertion, the resistive forces that will be produce if the user were manipulate a needle or catheter through human anatomy are determinate via signal data processing[10].

According to the literature review, there are few developments in specialized physical or virtual simulators of central venous access, which is why making systems that involves virtual and augmented reality can achieve greater impact in training performing a high degree of realism.

3 System Description

Like any informatic system an AR system requires Hardware and Software components on which the desire actions will be applied. The basic requirements for the development of this application were: a 3D modeling suite, an AR library, a multimedia development software and hardware devices that allow the proper visualization of the scenes. The resulting system of the interaction user-prototype including the 3D marker is shown in Fig.1.

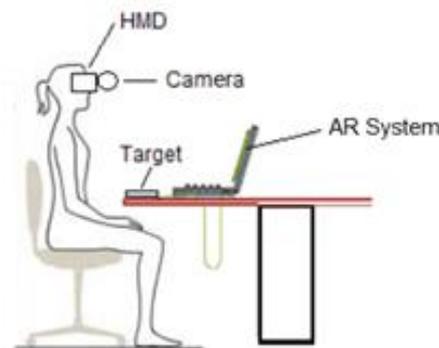


Fig. 1. Interaction user-prototype including required Hardware and Software

By the other hand it was necessary to view different kind of utilities in order to make the user-AR scene interaction closer to reality, for instance:

- 3D models that represents the patient physiognomy, the surgical instrumental and supplies.
- A physical target located at a 3ml syringe which has a lot of details allowing the proper tracking.
- A system that allows the user to switch the virtual instrumental.
- A needle-tissue interaction animation that will be reproduced every time a collision between the syringe and patient meshes is detected.
- An ECG monitor animation to improve the realism[11].
- The use of HMD plus webcam system and user’s displacement into the scene.

Unity3D [12] software was used for the development of the scene because it allowed the intuitive location and visual interaction with components of the scene and the use of scripts in order to manipulate them , it also allows the proper visualization via PlayMode. The whole patient’s skin, skeleton and circulatory system were already modeled that’s why it was only required to model the CVA equipment. In order to accomplish this task the measures of each one of the instruments were taken of different kind of medical catalogs[13-15], in which the average diameter of the blunt guidewire, dilating device and catheter were specified. In case of the syringe and clamps modeling approximate measures of real objects were taken into consideration according to the previous searching about the simulated procedure. Thus the modeling of the instrumental was made using SolidWorks[16] and the texturing using Blender[17] from the measurements and catalogs pictures. In Fig.2 the modeling and texturing of a tri lumen catheter is shown.

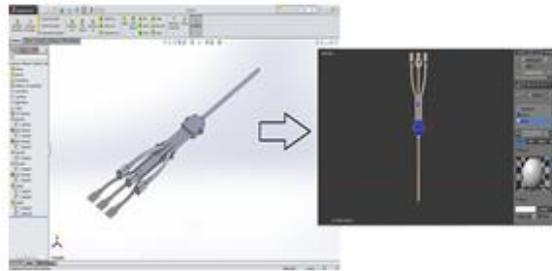


Fig. 2. Modeling and texturing of a tri lumen catheter

After searching libraries that allows the 3D marker tracking, as Metaio [18] and Vuforia , the selected tool in the case of this application was Vuforia because the tracking of an image that represents a Cylinder Target was effective in different light and movement conditions, and suits to the syringe's shape. An image was created having in mind the developer specifications of Cylinder Target creation and according to the dimensions in pixels of the 3ml syringe, then it was printed and positioned over the real syringe. The target image and its performance in real environment using a developed scene in Unity3D are showed in Fig.3.



Fig. 3. a) Cylinder Target Image. b) Target register in real environment.

To characterize the interaction between a needle and soft tissue were taken as a reference the three-stage procedure describe by Barbé [19], first the needle presses the tissue surface which is deformed, then the needle penetrates the tissue cutting it while the surface and frictional forces attract the skin to the surface of the needle, finally the needle is removed and the tissue again follows the direction of its movement. It was decided use Blender because of its advantage in the management through the meshes recreates the interaction between these and then export the results obtained after the render to image and video formats. Already the models of the patient and syringe were textured thus it proceeded to make an animation using key frames to add motion to the syringe (Fig.4a) and a Lattice as father of the patient mesh to achieve the maximum deformation (Fig.4b), eventually rendering format is chosen and exported as video to be used in Unity3D.

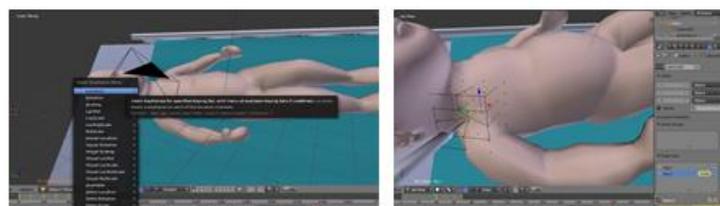


Fig. 4. a) Adding key frame to animate Syringe displacement. b) Deforming patient's mesh using the Lattice utility.

The progress made by Changhoon Park were used for the interaction with the hardware because it shows the visualization of the webcam on two different viewports and it also integrate vuforia's prefabs [20]; this is achieved by adding two cameras one for each eye as daughters of ARCamera and selecting a plane in which project the image captured by two BackgroundCameras that are synchronized with the video received by the main camera, which are used to divide the screen.

The first approach to the use of this update was the scene that developed the author in Unity, which uses a FrameMarker that comes standard with Vuforia (Figure 5a) and noticing that his performance was appropriate after Oculus Rift's connection it was decided to implement this solution in the already developed main scene, the results were satisfactory (figure 5b).

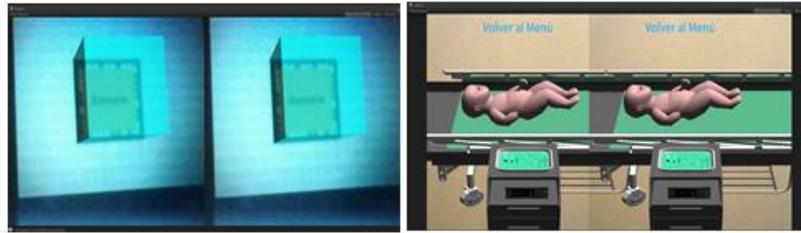


Fig. 5. a) Binocular AR example scene probe. b) Principal scene Binocular AR implementation result.

4 Testing

As we already mentioned Tests with the Oculus and Vuforia's prefabs were successful in recognizing the objective and its location, however small inconsistencies appeared in the correct display of each scene, so we proceeded to correct each one of the camera positions for the right and left eyes respectively and the suitable components for eye perception. After validating the performance and synergy of all components: appropriate projection of the model on the target, tool change, collision detection and user movement in the scene, it was noted that one of these aspects did not fulfill the realism role it had to play, dimensions of tool models were too large relative to the other as shown below.

After changing the orientation of the respective cameras for stereo-viewing and the correct dimensions of instrumental, the next step, using the camera Microsoft LifeCam Studio was to evaluate the prototype making registration tests of the Objective varying illumination. To evaluate the focus and the register on different illuminations the prototype was evaluated in three environments, with halogen light on the Virtual reality center, making shade over the camera and finally with the lights off. It was noted that the paper on which printing of the Target was performed had reflective properties, which sometimes having more light negatively influenced the record. In Figure 6 shows the quality of the record in each of the lighting conditions.



Fig. 6. Tracking quality using Microsoft Lifecam Studio webcam with a) halogen lights on, b) shadow over the camera, c) lights off

Images of the final prototype working over the developer's view are shown in Figure 7. The pictures were shot in the virtual reality center of the Nueva Granada Militar University.



Fig. 7. a) AR system for central venous access in newborns. b) Detailed view from the catheter side.

5 Conclusions and future work

The selected RA library and the designed objectives exhibited an adequate performance against the requirements established in the recording quality and the proper tracking, pointed in the available tools evaluation. This performance was greatly influenced by ambient light and the autofocus used on the equipment. As for the realization of the prototype using Unity3D multimedia application development it was possible to integrate the components of RA with the hardware chosen for the final product, it was also helpful to visualize the elements composing each scene, with its respective position and orientation when making corrections in each of these. The results obtained in tests, show that although the HMD device does not provide an adequate view of the working environment, observing the keyboard and the marker chosen for further manipulation was possible through the installed camera; the record quality due to lighting variations didn't stop the virtual 3D objects reflection and interaction. This concludes that the developed prototype can be used as a tool in a first approach to the art of central venous access.

Regarding future work in the development of the application the integration of feedback haptic prototype system arises, performing various settings on the scoreboard so that it can accommodate the required hardware. Using Unity3D can also integrate other devices for navigation on the main stage, as joysticks and virtual reality gloves, allowing a better user immersion, without using the keyboard. As for the tracking of the syringe, it is proposed to use the new tools provided by Vuforia SDK 4.0, as for object tracking; similarly it is proposed the use of metaio SDK to integrate objects that don't necessary have to move, such as augmented the patient's body and the interaction with the instrumental is performed by the application inputs. To conclude finished and suitable prototype will be tested with the help of medical students to validate their impact as simulator training in this technique.

6 References

1. C. Linte, J. White, R. Eagleson, G. Guiraudon y T. Peters, «Virtual and Augmented Medical Imaging Environments: Enabling Technology for Minimally Invasive Cardiac Interventional Guidance,» de *IEEE REVIEWS IN BIOMEDICAL ENGINEERING*, 2010.
2. «EyePet,» Sony Computer Entertainment Europe, 2014. [Online]. Available: <https://www.playstation.com/es-es/games/eyepet-ps3/>.
3. «BMW Service,» BMW, 2014. [Online]. Available: http://www.bmw.com/com/en/owners/service/augmented_reality_introduction_1.html.
4. Y. Okuda, E. Bryson, S. DeMaria, L. Jacobson, J. Quinones, B. Shen y A. Levine, «The Utility of simulation in medical education: what is the evidence?,» *The Mount Sinai Journal of Medicine*, vol. 76, n° 4, pp. 330-43, 2009.
5. Qualcomm, «Qualcomm Vuforia Developer Portal,» Qualcomm Connected Experiences, Inc., 2014. [Online]. Available: <https://developer.vuforia.com/>.
6. B. S. Projects, «CAE Healthcare,» CAE, 2014. [Online]. Available: <http://www.bluephantom.com/>.
7. M. Simulator, «Medical Simulator Innovación en educación,» Medical Simulator, 2012. [Online]. Available: <http://www.medical-simulator.com>.
8. S. Larnpotang, D. Lizdas, D. Rajon, I. Luria, N. Gravenstein, Y. Bisht, W. Schwab, W. Friedman, F. Bova y A. Robinson, «Mixed Simulators: Augmented physical simulators with virtual underlays,» *IEEE Virtual Reality (VR)*, pp. 7-10, 2013.

9. N. Amesur, D. Wang, W. Chang, D. Weiser, R. Klatzky, G. Shukla y G. Stetten, «Peripherally inserted central catheter placement using the Sonic Flashlight. Journal of Vascular and Interventional Radiology,» *JVIR*, vol. 20, n° 10, pp. 1380-1383, 2009.
10. D. Feygin y C. Ho, «Vascular-Access Simulation System with Receiver for an End Effector». USA Patente AG09B2328FI, 2010.
11. M. Gal, «Youtube,» 3 Marzo 2014. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=QwWIWMV_RyI.
12. U. Technologies, «Unity,» [Online]. Available: <http://unity3d.com/es>.
13. A. Fiure, «Catalog,» [Online]. Available: <http://www.americanfiure.net/catalogo.pdf>.
14. C. Medical, «Critical Care - Product Catalog,» 2007. [Online]. Available: [http://www.cencomex.cl/cencomex/pdf%20cencomex/Catalogo%20Critical%20Care%20\(2\).pdf](http://www.cencomex.cl/cencomex/pdf%20cencomex/Catalogo%20Critical%20Care%20(2).pdf).
15. Vygon, «Pediatric Catheters,» 2013. [Online]. Available: http://www.vygon.es/wp-content/uploads/sites/4/2013/09/cateteres_de_pediatria.pdf.
16. D. Systemes, «SolidWorks,» [Online]. Available: <http://www.solidworks.es/>.
17. Blender.org, «Blender,» [Online]. Available: <http://www.blender.org/>.
18. "Metaio," Metaio, Inc., 2014. [Online]. Available: <http://www.es.metaio.com/>.
19. L. Barbé, B. Bayle, M. de Mathelin y A. Gangi, «Needle Insertions Modeling :Identifiability and Limitations,» 2007. [Online]. Available: <http://eavr.u-strasbg.fr/~bernard/publications/download/bspc2007.pdf>.
20. C. Park, «BinocularAR (Vuforia+Unity3D),» 23 Marzo 2014. [Online]. Available: <https://docs.google.com/file/d/0B4yxPOV0xiGrd0sxMkp3bnpBcS01NFFOaUdSMzNhMm5TSWhj/edit?pli=1>.