



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA COMPUTACIÓN**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATEMÁTICAS APLICADAS Y SISTEMAS**  
**SEÑALES, IMÁGENES Y AMBIENTES VIRTUALES**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN VIRTUAL PARA**  
**ENDOSCOPIA**

**T E S I S**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**  
**Maestro en Ingeniería y Ciencias de la Computación**

**PRESENTA:**  
**MARTÍN HÉCTOR OLVERA BUSTAMANTE**

Director de tesis:  
Dr. Alfonso Gastélum Strozzi  
Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*“Somos lo que hacemos de forma  
repetida. La excelencia, entonces,  
no es un acto, sino un hábito.”*

**Aristóteles**

*“No podemos resolver problemas  
pensando de la misma  
manera que cuando los  
creamos.”*

**Albert Einstein**

# Dedicatoria

Para todas esas personas que día con día están para mí, que en el momento que necesito algo puedo contar con ellos:

Para Katherine, por todo tu apoyo, tu cariño, tu dedicación, tu comprensión y sobre todo por ese amor que demuestras día con día, por enseñarme que todo llega a su tiempo, por enseñarme que el amor puede estar más cerca de lo que uno se imagina.

Para Aura, una amiga y hermana que me ha enseñado que algunas veces uno puede aprender más de lo que puede enseñar a una hermana menor. Por ese amor y apoyo incondicional que siempre puedo esperar de ti. Por hacerme sentir orgulloso de ser tu hermano.

Para Alba, una amiga y hermana confiable, que, a pesar del tiempo y la distancia, el amor y cariño se hace todavía más grande, por ser una persona que crece a pasos agigantados, por ser una maestra de la constancia y de la perseverancia de la cual aprendo cada que estoy cerca.

Para Hilda, una amiga y hermana admirable y protectora que, cuando requiero una solución de un problema sé que ahí estás, por enseñarme que la vida no sólo depende de la suerte, sino de esforzarse, de aprender, de valorar, de amar y de siempre recibir la vida con una gran risa.

Para mi mamá Aurora, la mejor mamá del universo, por ese amor que desde hace ya 27 años demuestras día con día, por guiarme para poder ser la persona que soy en este momento, por enseñarme que siempre existe una forma correcta de hacer las cosas, por ser mi conciencia hecha persona.

Para mi papá Martín, mi mejor amigo, mi ejemplo a seguir, mi cómplice... Porque cada día estoy más orgulloso del padre que tengo, por el amigo que encuentro en todo momento, por demostrarme lo que significa ser imprescindible, por hacerme entrar en razón las veces que lo he necesitado, por todos y cada uno de los miles de consejos que he recibido de ti.

A todos por ser esos pilares en los que me he podido apoyar cuando más lo he necesitado... ¡GRACIAS!

# Agradecimientos

Quiero agradecer a todas las personas que han sido parte de este logro, a aquellos que me apoyaron en todo momento.

A mi colega Rosendo Fuentes González, mi padrino que está y siempre estará presente en cada uno de mis logros.

A mi tutor, el Dr. Alfonso Gastélum Strozzi, por el apoyo, las enseñanzas y el conocimiento brindado durante el transcurso de la maestría.

A mis lectores:

Dr. Ernesto Bribiesca Correa

Dr. Fernando Arámbula Cosío

Dr. Jorge Márquez Flores

Dr. Miguel ángel Padilla Castañeda

Por sus enseñanzas y correcciones que permiten la publicación de este proyecto de tesis.

A todos mis profesores por haber dejado parte de su conocimiento en mí.

Al CONACYT por el apoyo económico brindado.

A la UNAM por darme tanto en ya más de 13 años que soy parte de su comunidad.

A toda mi familia y amigos con los que sé que puedo contar en todo momento.

¡Gracias por todo!

# Prólogo

En los últimos años, el desarrollo de los entornos virtuales ha empezado a ganar una importancia significativa para las diferentes actividades que el ser humano realiza diariamente, puesto que con las distintas “realidades” que se han desarrollado, se pueden realizar simulaciones de una gran variedad de tareas con numerosas ventajas, como el de reducir de forma drástica los riesgos que se pueden correr en entrenamientos médicos, aviación, etc.

Una de las ramas en la que los diferentes tipos de realidades están tomando fuerza es en la medicina, ya que se ocupa para simulaciones de los diferentes procesos médicos, los cuáles se pueden realizar sin poner en riesgo la integridad de los pacientes. De igual forma se ocupan para rehabilitación, entrenamiento médico, Tratamiento para distintos trastornos, etc.

# Resumen

La importancia de la aplicación de las nuevas tecnologías en distintas áreas nos permite realizar trabajos e investigaciones como el siguiente, que, con ayuda de la realidad mixta, una tecnología relativamente nueva, se logró realizar un sistema de navegación virtual para endoscopia, que servirá como entrenamiento para la detección de distintas patologías que pueden ocurrir dentro del esófago.

El proyecto se divide en 2 etapas, la primera es la etapa virtual, que abarca aspectos como el desarrollo del ambiente virtual, la generación de los distintos algoritmos para crear automáticamente y de manera aleatoria los 3 distintos trastornos, el procesamiento de las imágenes obtenidas desde la cámara de un dispositivo móvil que se utilizó para el tracking del tubo de inserción, la navegación dentro del modelo del esófago, implementación de texturas para que el entorno se visualice de una manera más realista, la implementación del casco dentro de nuestro entorno de desarrollo.

La segunda etapa es el desarrollo de un sistema háptico que permite que el usuario ingrese el tubo de inserción dentro de una simulación física del esófago y este genere una leve resistencia, permitiendo que el usuario se vea inmerso dentro del ambiente virtual, logrando una similitud entre las sensaciones del usuario cuando realiza una endoscopia y cuando realiza el entrenamiento mediante este sistema.

El usuario puede elegir el trastorno que quiere que aparezca y el sistema modifica la malla del tracto y realiza cambio de la textura automáticamente para que el usuario lo detecte. Una vez que el usuario tenga el casco colocado se inicia el sistema, donde se encuentra dentro de un consultorio con un paciente y puede ver en el monitor el esófago del paciente y conforme se introduce el tubo de inserción puede recorrer el modelo. La navegación se realiza por medio del mando del casco que está unido al tubo de inserción. Desde el mismo mando el usuario puede controlar luces, agua, así como la dirección del mismo tubo, lo cual permite que el usuario pueda observar con mayor detalle las paredes del esófago.

# ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. OBJETIVO PRINCIPAL .....	2
1.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	3
1.3. ANTECEDENTES .....	4
1.4. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS.....	5
<b>2. ENDOSCOPIA</b> .....	<b>7</b>
2.1. ANTECEDENTES DE LA ENDOSCOPIA.....	7
2.2. TIPOS DE ENDOSCOPIA.....	12
2.3. ENDOSCOPIO .....	14
2.4. CÁPSULA ENDOSCÓPICA .....	16
<b>3. TRASTORNOS DEL ESÓFAGO</b> .....	<b>17</b>
3.1. ESÓFAGO DE BARRET .....	17
3.1.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS .....	17
3.1.2. DIAGNÓSTIS.....	19
3.1.3. TRATAMIENTO .....	21
3.2. ESOFAGITIS EOSINOFÍLICA .....	22
3.2.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS .....	22
3.2.2. FISIOPATOLOGÍA .....	23
3.2.3. DIAGNÓSTICO CLÍNICO.....	23
3.2.4. TRATAMIENTO .....	24
3.3. CÁNCER DE ESÓFAGO.....	25
3.3.1. DIAGNÓSTICO .....	27
3.3.2. TRATAMIENTO .....	27
3.3.3. VIGILANCIA.....	28
<b>4. ENTORNOS VIRTUALES</b> .....	<b>30</b>
4.1. REALIDAD VIRTUAL .....	30
4.2. REALIDAD AUMENTADA .....	31
4.3. REALIDAD MIXTA .....	32
<b>5. SISTEMA DE NAVEGACIÓN VIRTUAL</b> .....	<b>34</b>
5.1. MATERIALES Y EQUIPO .....	34
5.2. ENTORNO DE DESARROLLO .....	36
5.2.1. UNITY .....	36
5.3. DESARROLLO DEL SISTEMA VIRTUAL.....	37



5.4.	MODELO DEL ESÓFAGO .....	40
5.5.	GENERACIÓN DE TRASTORNOS.....	44
5.5.1.	ESOFAGITIS EOSINOFÍLICA .....	44
5.5.2.	ESÓFAGO DE BARRET .....	48
5.5.3.	CÁNCER DE ESÓFAGO .....	50
<b>6.</b>	<b>SISTEMA DE NAVEGACIÓN FÍSICO.....</b>	<b>52</b>
6.1.	MATERIALES Y EQUIPO .....	52
<b>7.</b>	<b>ALGORITMOS, PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>	<b>54</b>
7.1.	ALGORITMO DE ESOFAGITIS EOSINOFÍLICA.....	54
7.2.	ALGORITMO ESÓFAGO DE BARRET .....	56
7.3.	ALGORITMO CÁNCER DE ESÓFAGO.....	57
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>61</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>64</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1-1 ESPÉCULO DE HIPÓCRATES .....	7
FIGURA 2.1-2 LICHTLEITER 1806. ....	8
FIGURA 2.1-3 GASTROCAM 1952.....	10
FIGURA 2.1-4 PARTES DE UN ENDOSCOPIO.....	11
FIGURA 2.3-1 ENDOSCOPIO.....	15
FIGURA 2.3-2 PARTES DEL TUBO DE INSERCIÓN.....	15
FIGURA 2.4-1 CÁPSULA ENDOSCÓPICA.....	16
FIGURA 3.2-1 RASGOS ENDOSCÓPICOS E HISTOLÓGICOS DE ESÓFAGO EOSINOFÍLICO (EEO).24	
FIGURA 3.3-1 NÚMERO ESTIMADO (EN MILES) DE NUEVOS CASOS DE INCIDENCIA DE CÁNCER Y MUERTES EN HOMBRES EN REGIONES MÁS DESARROLLADAS Y MENOS DESARROLLADAS DEL MUNDO EN 2012.....	26
FIGURA 4.2-1 LA ESPADA DE DAMOCLES.....	32
FIGURA 4.3-1 TIPOS DE REALIDAD .....	33
FIGURA 5.3-1 MODELO DE HABITACIÓN PARA ENDOSCOPIA .....	37
FIGURA 5.3-2 HABITACIÓN VIRTUAL PARA ENDOSCOPIA .....	38
FIGURA 5.3-3 CONFIGURACIÓN DEL CONTROL DE MOVIMIENTO .....	38
FIGURA 5.3-4 MODELO EN 3D DE ENDOSCOPIO.....	39
FIGURA 5.4-1 SEGMENTACIÓN Y EXTRACCIÓN DE CONTORNO. <sup>59</sup> .....	41
FIGURA 5.4-2 DISCRETIZACIÓN. <sup>59</sup> .....	41
FIGURA 5.4-3 MALLADO TRIANGULAR RESULTANTE.....	41
FIGURA 5.4-4 REDUCCIÓN DE TRIÁNGULOS. <sup>9</sup> .....	42
FIGURA 5.4-5 RESULTADO FINAL DEL MODELO Y RESULTADO FINAL REDUCIDO .....	42
FIGURA 5.4-6 MALLADO DE COLISIONES EN MODELO REDUCIDO Y MODELO ORIGINAL .....	43
FIGURA 5.5-1 ESOFAGITIS EOSINOFÍLICA.....	45
FIGURA 5.5-2 PLANO TRANSVERSAL ATRAVESANDO EL MODELO DEL ESÓFAGO .....	45
FIGURA 5.5-3 DETECCIÓN DE TRIANGULACIÓN ATRAVESADA POR PLANO TRANSVERSAL ..	46
FIGURA 5.5-4 RETRIANGULACIÓN DE MALLA ATRAVESADA POR PLANO.....	46
FIGURA 5.5-5 SEPARACIÓN Y REGENERACIÓN DE MALLA.....	47
FIGURA 5.5-6 MALLA ANILLADA GENERADA A PARTIR DEL ALGORITMO.....	47
FIGURA 5.5-7 MAPA .....	49
FIGURA 5.5-8 MAPA DE OCLUSIÓN.....	49
FIGURA 5.5-9 MAPA DE COLOR.....	49
FIGURA 5.5-10 MAPA DE.....	49
FIGURA 5.5-11 ESÓFAGO DE BARRET.....	49

FIGURA 5.5-12 CÁNCER DE ESÓFAGO .....	50
FIGURA 5.5-13 MODELO TRIDIMENSIONAL QUE SIMULARÁ TUMORES. ....	50
FIGURA 5.5-14 RESULTADO DE PBR. ....	51
FIGURA 6.1-1 SISTEMA DE NAVEGACIÓN FÍSICO. ....	52
FIGURA 6.1-2 ADAPTACIÓN DEL CONTROL DE MOVIMIENTO. ....	53
FIGURA 7.3-1 PEQUEÑOS TUMORES DE NIVEL 1 EN EL MODELO .....	58
FIGURA 7.3-2 TUMOR NIVEL 3 EN EL MODELO .....	58
FIGURA 7.3-3 TUMOR DE NIVEL 4 EN MODELO. ....	59

# ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 TIPOS DE ENDOSCOPIA .....	12
TABLA 2 REQUERIMIENTOS.....	35
TABLA 3 TIEMPOS DE EJECUCIÓN.....	59
TABLA 4 COMPARACIÓN DE APLICACIONES .....	60

# Capítulo 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo de tesis se enfoca en el entrenamiento en un entorno virtual para endoscopia, que es una técnica de mínima invasión, realizada con un endoscopio compuesto por tubos flexibles, aprovechando los orificios y cavidades naturales del cuerpo, en este caso el esófago.

El entrenamiento mediante este sistema permitirá al usuario mejorar la detección de diferentes trastornos dentro del mismo, puesto que una detección temprana de muchos de estos permite dar un tratamiento adecuado y evita que prosperen.

Este trabajo de tesis toma como punto de partida un modelo del tracto gastrointestinal creado en 2 diferentes etapas.

La primera etapa consistió en la reconstrucción del modelo del esófago a través del proyecto VHP (Visible Human Project) que consiste en una base de datos de imágenes en alta resolución de cortes transversales de un cadáver.<sup>1</sup>

La segunda etapa es la de la reconstrucción del modelo tridimensional del tracto gastrointestinal superior, uniendo el modelo anterior con otros modelos para crear un sistema de navegación virtual denominado ENDONAV.<sup>2</sup>

La gran diferencia entre ENDONAV y el sistema desarrollado en este proyecto de tesis es que el primero tiene el objetivo de un entrenamiento para técnicas de

---

<sup>1</sup> Gastélum Strozzi, Alfonso. “Construcción de un modelo del sistema gastrointestinal alto para simulaciones de endoscopia”. UNAM, Tesis de maestría en Física Médica, Posgrado de Física, dirigida por Dr. Jorge Alberto Márquez Flores, Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, 2005.

<sup>2</sup> Mata Castro, Lucely Itzel. “Sistema de navegación virtual para entrenamiento gastroendoscópico superior”. UNAM, dirigida por Dr. Jorge Alberto Márquez Flores, Facultad de Ingeniería, 2010.

videoendoscopía, por lo que basta con usar el modelo del esófago sano, mientras que en el segundo el objetivo es el del entrenamiento para la detección de distintas patologías, por lo que es necesario que se generen de manera automática los trastornos seleccionados, ya que si se generara un modelo con los trastornos fijos, no permitiría cumplir el objetivo del sistema, pues el usuario después de una primera vez de usarlo, tendría el conocimiento de donde se encuentran estos, así es que es necesario crear los algoritmos pertinentes para modificar el modelo en tiempo real. Al ser un modelo con demasiados triángulos se debe generar un algoritmo eficiente, puesto que si se desarrolla un algoritmo cuadrático el sistema puede tardar demasiado tiempo en iniciar.

Con este modelo final es posible hacer modificaciones en cuanto a mallas y texturas para poder realizar una simulación de las diferentes patologías que pueden llegar a ocurrir dentro del esófago.

El sistema de navegación ENDONAV utiliza realidad virtual, ya que puede ser utilizado en un modo estéreo y con la interacción del mouse y teclado. Este sistema utiliza realidad mixta, por lo que se diseñó una interfaz háptica y se utiliza un casco de Mixed Reality y sus respectivos mandos para lograr que el usuario se sienta inmerso dentro del sistema.

El sistema háptico es generado mediante el mando del casco, que simulará ser el endoscopio, y un sistema de tracking que conforme el tubo de inserción ingrese dentro de la simulación del esófago físico, una cámara de cualquier dispositivo móvil hará un conteo de píxeles en cada frame, lo que indicará si el tubo está entrando o si se está extrayendo.

## **1.1. OBJETIVO PRINCIPAL**

El objetivo central de esta tesis es el de realizar un entorno virtual, en el que el usuario se verá inmerso, donde podrá realizar una endoscopía, que le servirá como

entrenamiento para la detección de distintos trastornos que puede llegar a padecer el esófago.

Este sistema generará diferentes trastornos aleatoriamente, los cuales el usuario tendrá que detectar, en caso de no hacerlo, recibirá una retroalimentación para que su habilidad al encontrar este tipo de trastornos mejore, puesto que, en algunos casos, estos se muestran de una manera poco perceptible, lo cual puede conducir a que no se den los tratamientos indicados a tiempo y que el padecimiento empeore.

## 1.2. OBJETIVOS PARTICULARES

Para lograr lo anterior se requiere el cumplimiento de los siguientes objetivos particulares:

- Desarrollo del entorno virtual donde se llevará a cabo el entrenamiento.
  - Sistema de navegación virtual, controlado por casco de realidad mixta.
  - Inmersión del usuario al entorno virtual mediante el casco
  - Manipulación del endoscopio virtual con los controles del casco.
- Generación aleatoria de trastornos en el modelo tridimensional del esófago.
  - Modificación en tiempo real de la malla del modelo tridimensional del esófago.
  - Modificación en tiempo real de las texturas del modelo.
- Desarrollo de algoritmos para la representación de los distintos trastornos.
- Limitaciones físicas para una mayor sensación de inmersión en el sistema.
- Adaptación de los controles para simular un endoscopio.
- Desarrollo del sistema físico para simular la resistencia que se produce al introducir el tubo de inserción en el paciente.

### 1.3. ANTECEDENTES

Hoy en día existen diferentes sistemas que permiten hacer navegaciones dentro del cuerpo humano con diferentes fines como los son los de entrenamiento o la demostración.

Uno muy importante de mencionar es el sistema de ENDONAV, que es un sistema de navegación virtual para entrenamiento en la técnica de videoendoscopía. Este sistema utiliza un modelo 3d creado a partir de 3 distintas fuentes. Los modelos del esófago, el estómago y el cuerpo humano fueron desarrollados de manera individual por lo que algunas propiedades de cada uno, como la orientación, la escala o el formato eran distintos y se tuvieron que adaptar para poder unirlos, dando como resultado un modelo tridimensional que está formado por 400,000 triángulos.

El proyecto de tesis fue realizado en el año 2010 por lo que se utilizó una tarjeta GTS250 y 1 GB de RAM, por lo que difícilmente el hardware podría soportar resoluciones tan grandes en modelos tridimensionales así es que se generó un algoritmo para reducir el tamaño por medio de los vértices<sup>3</sup>.

Modelo	Caras
Esófago	36,864
Estómago	364,632

*1-Número de caras del modelo original*

Modelo	Triángulos
Esófago	4,857
Estómago	5,362

*2-Número de triángulos del modelo después de la reducción*

<sup>3</sup> Mata Castro, Lucely Itzel. "Sistema de navegación virtual para entrenamiento gastroendoscópico superior". UNAM, Facultad de Ingeniería, 2010.



De igual manera en el paper “Building a three-dimensional model of the upper gastrointestinal tract for computer simulations of swallowing” se menciona el algoritmo utilizado para realizar la reducción de triángulos del modelo. Así como el método de navegación, que puede ser de 2 maneras, un método de navegación guiado o uno libre (restringido por la detección de colisiones).

En el caso de mi proyecto de tesis se utilizará una navegación libre, de igual manera con un sistema de colisiones para evitar que el usuario salga del esófago.

Al trabajar con una tarjeta gráfica más potente se puede utilizar un modelo del tracto gastrointestinal con una mayor cantidad de vértices y triángulos, sin la problemática de que disminuya la fluidez del sistema.

Las novedades que se presentan en este sistema son:

- Interfaz háptica para que el usuario tenga una mejor sensación de inmersión dentro del ambiente virtual.
- Generación de distintas patologías aleatorias dentro del modelo del esófago en tiempo real:
  - Cáncer de esófago
  - Esofagitis eosinofílica
  - Esófago de Barret
- Implementación de realidad mixta.

## 1.4. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Este trabajo de tesis se encuentra organizado de la siguiente manera:

- En el capítulo 2 se encuentran los antecedentes de la endoscopia, los tipos de endoscopia que existen, los objetivos principales de una endoscopia, además de las herramientas necesarias para llevar a cabo una.

- En el capítulo 3 se describen los trastornos que serán simulados y generados por el sistema.
- En el capítulo 4 se describe lo que es un entorno virtual, la importancia que estos tienen dentro de diferentes áreas y se muestra el concepto de las tecnologías inmersivas más comunes, como lo son la realidad Virtual, la realidad aumentada y la realidad mixta.
- En el capítulo 5 se explica el procedimiento seguido para realizar desde el entorno virtual, la navegación en él mediante los dispositivos de realidad mixta y la generación de los trastornos.
- En el capítulo 6 se explica el procedimiento para realizar el entorno físico, como se usará realidad mixta, se requiere que exista una interacción entre el ambiente virtual y el físico, permitiendo aplicar limitaciones físicas en el sistema, creando una mejor sensación de inmersión.
- En el capítulo 7 se detallan las pruebas, algoritmos y se justifica el uso de los modelos y software utilizados.

# Capítulo 2

## 2. ENDOSCOPIA

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA ENDOSCOPIA

Una endoscopia, proveniente de los vocablos “endo” que significa “dentro” y “scopia” “observar”, es el procedimiento que se realiza con un endoscopio con el fin de aprovechar las cavidades y orificios del cuerpo humano para realizar una exploración visual del interior del mismo mediante instrumentos de fibra óptica y así, evitar el riesgo de hacer un procedimiento invasivo.

La endoscopia digestiva es la herramienta más efectiva en el diagnóstico de diferentes enfermedades que se desarrollan en el tracto digestivo.

La historia de la endoscopia se remonta a los años 460 al 375 A.C. en la antigua cultura griega y egipcia, cuando despertó el interés de explorar las cavidades del ser humano pero los límites para explorarlo por dentro se reducían a las cavidades como la boca, orofaringe y fosas nasales. Fue Hipócrates el que por primera vez por medio de espejos realizó exploraciones de los oídos, cavidad nasal, vagina y recto<sup>45</sup>



Figura 2.1-1 Espéculo de hipócrates<sup>6</sup>

<sup>4</sup> Eulufi, Fernando Crovari, and Manuel Manzor Veliz, eds. Manual De Patología Quirúrgica. Ediciones 2014.

<sup>5</sup> Asociación mexicana de cirugía general. Tratado de cirugía general. 1a ed. El Manual Moderno, 2016.

<sup>6</sup> University of Virginia. Rectal Speculum. Greek, s/f. <http://exhibits.hsl.virginia.edu/hist-images/antiqua/VSpeculumB.jpg>

Sin embargo, tenían el gran problema de que la iluminación no era la adecuada para poder observar con mejor detalle las zonas exploradas.

Fue hasta el año de 1806 que el obstetra Filippo Bozzini publicó su trabajo “Der Lichtleiter, eine Erfindung zur Anschauung innerer Theile und Krankheiten nebst der Abbildung” o “El conductor de luz, un invento para la observación de los órganos internos y sus enfermedades.” Y un año después, publicó de igual manera “Der Lichtleiter oder die beschreibung einer einfachen Vorrichtung und ihrer Anwendung zur Erleuchtung innerer Höhlen und Zwischenräume des lebenden animalischen Körpers” ó “El conductor lumínico, su descripción y utilización para la iluminación de las cavidades internas del organismo animal vivo” Y aunque en 1809 describió lo que observó en el esófago y agregó que las imágenes que se mostraban no eran las más adecuadas se puede considerar como el principio de la endoscopia, así como al Lichtleiter el primer endoscopio elaborado<sup>7</sup>



Figura 2.1-2 Lichtleiter 1806<sup>8</sup>.

Aunque con este instrumento podían observar dentro de algunas áreas del cuerpo humano, seguían teniendo el problema de la iluminación, ya que se utilizaba una vela como fuente de luz, lo que provocaba quemaduras leves en algunos pacientes o el movimiento producido por el aire al contacto con la fuente calórica era suficiente para dificultar la visualización de las zonas de observación.

<sup>7</sup> Verger-Kuhnke AB, Reuter MA, Beccaria ML., La biografía de Philipp Bozzini (1773-1809) un idealista 2007. <http://scielo.isciii.es/pdf/ae/v31n5/v31n5a02.pdf> .

<sup>8</sup> A. B. Verger-Kuhnke, M. A. Reuter, y M. L. Beccaria. “La biografía de Philipp Bozzini (1773-1809) un idealista de la endoscopia”, mayo de 2007. <https://doi.org/10.4321/S0210-48062007000500002>.

Fue hasta 1853 que Antoine Jean Desormeaux creó el primer instrumento llamado “Endoscopio”, el cual utilizó para examinar el tracto urinario y la vejiga, este funcionaba con una mezcla de alcohol y trementina como fuente de iluminación, pero de igual forma seguía teniendo las mismas complicaciones y no El primer endoscopio dotado de iluminación eléctrica se realizó hasta el año de 1869, que utilizó la corriente eléctrica para generar iluminación mediante un filamento de platino blanco caliente colocado sobre la punta de su instrumento, llamado Polyscope Eléctrico.<sup>9</sup>

En 1928 Rudolf Schindler inició un proyecto para la elaboración de gastroscopios flexibles, utilizando el concepto de Georg Wolf, el cual tenía la ventaja de ser flexible. En este proyecto lograron construirse 6 gastroscopios, logrando tal éxito que a partir de 1932 se empiezan a utilizar los tubos semiflexibles inventados por Wolf y Schindler. Y aunque fue un gran avance, aún se tenían complicaciones, como que era un procedimiento muy traumático para el paciente y muchas veces los resultados eran desalentadores pues las zonas ciegas del estómago no podían observarse con este instrumento, además de que la calidad de las imágenes obtenidas no era la más deseada.<sup>10</sup>

Un gran paso en la evolución del endoscopio se da cuando se descubre la fibra óptica, cuando Basil Hirschowitz desarrolló un gastroscopio totalmente flexible, con el sistema de fibra óptica, el cual fue provisto más tarde con la denominada “iluminación fría” transmitida desde el exterior.<sup>11</sup>

En 1952 este diseño fue perfeccionado con la gastrocámara de diseño japonés.

---

<sup>9</sup> Jose Luis Vázquez-Iglesias (†). Endoscopia Digestiva Diagnóstica y terapéutica. Panamericana, 2008.

<sup>10</sup> Jose Angel Cordova Villalobos / Antonio De la Torre Bravo. Procedimientos Endoscopicos en Gastroen 2009.

<sup>11</sup> Jose Luis Vázquez-Iglesias (†). Endoscopia Digestiva Diagnóstica y terapéutica. Panamericana, 2008.



*Figura 2.1-3 GastroCam 1952.<sup>12</sup>*

El principio óptico de la fibroendoscopia consiste en que la luz, gracias a su reflexión, puede ser conducida a través de una varilla de cristal que al ser lo suficientemente delgada se convierte en una fibra, con una excelente flexibilidad.

Un endoscopio totalmente flexible puede contener cerca de 150,000 fibras.<sup>13</sup>

El endoscopio como se conoce hoy en día hace una opción viable el uso de técnicas de invasión mínima.

En el presente existen diferentes tipos de endoscopios, estos dependen de la parte del cuerpo que el endoscopista requiera observar. Pueden variar su extensión o su flexibilidad, puesto que, para examinar partes como las articulaciones, el instrumento debe ser rígido, mientras que para órganos como el esófago se requiere un tubo de inserción flexible.

Además de que en la actualidad un endoscopio no sirve solamente para observar dentro de las cavidades, gracias a los avances, se han integrado diferentes herramientas como la salida de aire y agua, el canal de trabajo, los lentes de

---

<sup>12</sup> Olympus. "GT-I, the world's first practical gastrocamera (1952)", s/f. [https://www.olympus-global.com/technology/olympusmuseum/exhibition/?page=technology\\_zuikodoh](https://www.olympus-global.com/technology/olympusmuseum/exhibition/?page=technology_zuikodoh).

<sup>13</sup> Camran Nezhat. Nezhat's History of Endoscopy: A Historical Analysis of Endoscopy's Ascension Since 2011.

iluminación, por lo que el endoscopista puede realizar varias acciones que van desde tomar muestras del tejido hasta tratar diferentes enfermedades.

Las razones por las que se puede requerir una endoscopia son diversas, entre ellos la detección y prevención del cáncer, diagnosticar distintos trastornos o enfermedades que ocurren en las diferentes partes del cuerpo y para administrar diferentes tratamientos como lo son la cirugía laparoscópica, terapia con láser, ablación por microondas, cirugía con endoscopio en el tracto gastrointestinal, etc.

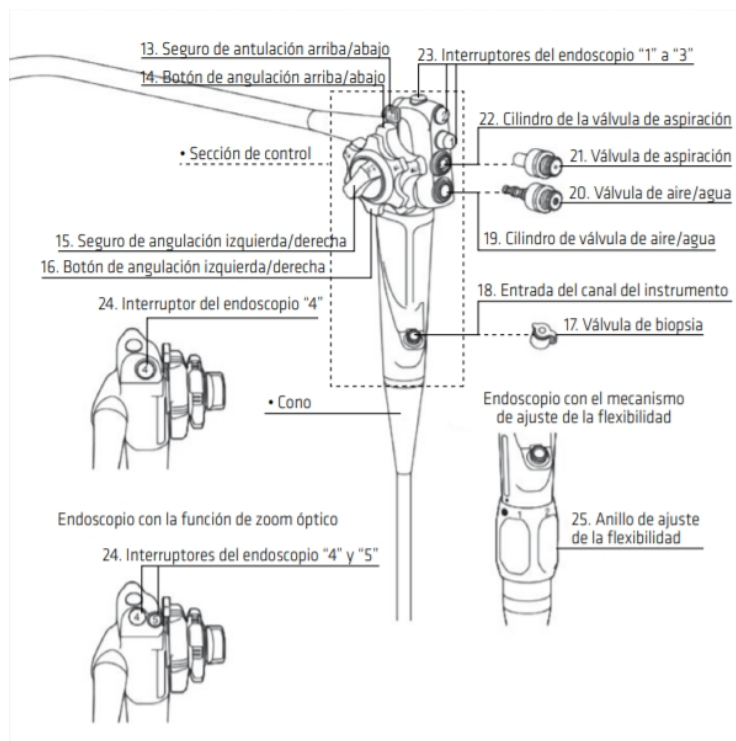


Figura 2.1-4 Partes de un endoscopio.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Dr. Vicente Pons Beltrán, Sr. Albert Vila Blanch, Dra. Angels Vilella Martorell, Dr. Carlos Dolz Abadía, Dr. Álvaro Brotos García, y Dra. Cristina Sánchez Montes. *Endoscopia digestiva básica para Médicos Internos Residentes de la Especialidad de Aparato Digestivo*, 2019.

## 2.2. TIPOS DE ENDOSCOPIA

Tabla 3 Tipos de Endoscopia<sup>15</sup>

Procedimiento	Instrumento	Área u Órgano explorado	Conducto
Artroscopia	Artroscopio	Articulaciones	Introducido a través de una pequeña incisión sobre el área que se desea explorar
Broncoscopia	Broncoscopio	Tráquea y bronquios de los pulmones	Introducido a través de la boca
Colonoscopia	Colonoscopio	Colon e intestino grueso	Introducido a través del ano
Colposcopia	Colposcopio	Vagina y cuello uterino	Se introduce un espéculo en la vagina. El colposcopio se coloca al comienzo de la vagina, pero no se introduce.

<sup>15</sup> American Society of Clinical Oncology. Tipos de Endoscopia, s/f. <https://www.cancer.net/es/desplazarse-por-atenci%C3%B3n-del-c%C3%A1ncer/diagn%C3%B3stico-de-c%C3%A1ncer/pruebas-y-procedimientos/tipos-de-endoscopia>



Cistoscopia	Cistoscopio	Interior de la vejiga	Introducido a través de la uretra
Esofagoscopia	Esofagoscopio	Esófago	Introducido a través de la boca
Gastroscofia	Gastroskopio	Estómago y duodeno.	Introducido a través de la boca
Laparoscopia	Laparoscopio	Estómago, hígado u otros órganos abdominales, incluidos los órganos reproductivos femeninos.	Introducido a través de una pequeña abertura quirúrgica en el abdomen
Laringoscopia	Laringoscopio	Laringe	Introducido a través de la boca
Neuroendoscopia	Neuroendoscopio	Áreas del cerebro	Introducido a través de una pequeña incisión en el cráneo.
Proctoscopia	Proctoscopio	Recto y colon sigmoide	Introducido a través del ano
Sigmoidoscopia	Sigmoidoscopio	Colon sigmoide	Introducido a través

			del ano
Toracoscopia	Toracoscopio	Pleura que recubre los pulmones y las estructuras que recubren el corazón	Introducido a través de una pequeña abertura quirúrgica en el pecho

### 2.3. ENDOSCOPIO

El endoscopio como es conocido actualmente es un dispositivo complejo que se compone principalmente de la unidad de control la cual contiene el ocular y los controles, y de un mango flexible. La fuente de control va conectada a una fuente de luz a través del tubo de inserción, el cual es utilizado de igual manera para la conducción de agua, aire, aspiración, etc. La imagen es transmitida mediante fibra óptica o sistemas electrónicos. La iluminación de un endoscopio se obtiene a través de un generador externo de alta intensidad, la cual es conducida por una o varios haces de fibra óptica, aprovechando la propiedad de reflexión de la luz.

Un endoscopio tiene distintos controles, cada uno cumple con una función importante:

**Mando de control arriba abajo/derecha-izquierda.**

Estos controles son utilizados para que la punta flexible del tubo de inserción gire en 2 diferentes ejes, con el fin de poder analizar el esófago desde diferentes ángulos sin perder detalle alguno, de igual manera sirven para poder guiar el tubo por el tracto digestivo sin tener que hacer presión innecesaria o dañar las paredes del esófago.



Figura 2.3-1 Endoscopio.<sup>16</sup>

### Mando de bloqueo.

Se ocupa para inmovilizar ambos controles giratorios de movimiento, por si se requieren movimientos de precisión en los que el endoscopista no requiere girar el tubo de inserción.

### Tubo de inserción.

Es la parte del endoscopio que será introducida dentro del paciente, está recubierta por una cubierta plástica, que por

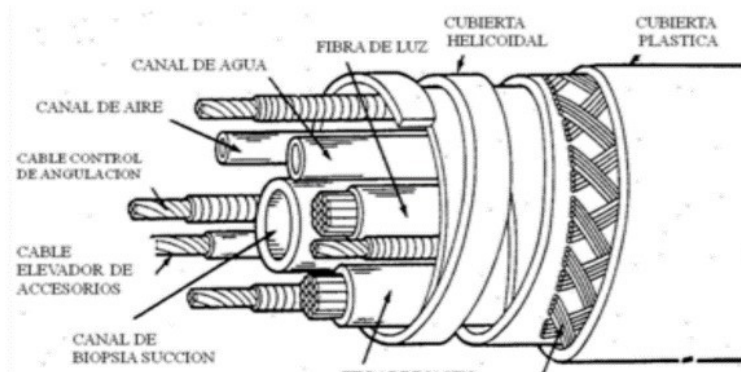


Figura 2.3-2 Partes del tubo de inserción.<sup>16</sup>

dentro contiene una malla de acero inoxidable y que por ella pasan diferentes canales.

### Control de iluminación.

La iluminación que en la antigüedad era la mayor complicación para los endoscopios, hoy en día puede manipularse desde un pequeño control, por si se requiere una mayor o menor intensidad.

<sup>16</sup> Flores Alés, Andrés J.. (2010). Principios de ENDOSCOPIA diagnóstica y terapéutica (endocirugía). REDVET. XI.

### Botones de aire, agua, aspiración.

Las paredes del esófago están cubiertas de mucosa por lo que algunas veces se requiere de una pequeña limpieza para que el endoscopista pueda apreciar los detalles, esa es la razón por la cual hoy en día los endoscopios vienen equipados con canales de agua, aire y succión.

### Pinzas endoscópicas.

En algunas ocasiones el endoscopista requiere extraer muestras de tejidos del esófago por lo que estas pinzas permiten tomar muestras y extraerlas durante la misma endoscopia.

## 2.4. CÁPSULA ENDOSCÓPICA

En la actualidad se desarrollan diferentes técnicas para realizar la visualización del tracto digestivo de una manera que sea más cómoda para el paciente, entre ellas existe la de la cápsula esofágica que es un dispositivo aproximadamente de 11 x 26 mm que cuenta con 1 o 2 cámaras, una por cada polo de la cápsula. El dispositivo es desechable y tiene una velocidad de captura de 7 imágenes por segundo.

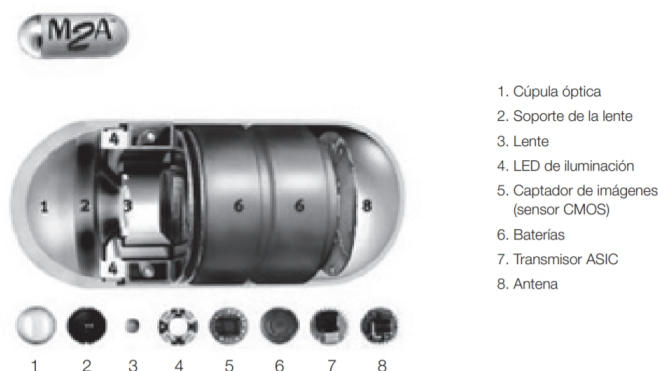


Figura 2.4-1 Cápsula endoscópica.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Varela Lema L, Puñal Riobóo J, Ruano Raviña A. Utilidad clínica de la cápsula endoscópica en el sangrado gastrointestinal de origen de origen oscuro. Madrid: Ministerio de Sanidad y Consumo. Avalia-t N° 2006/02

# Capítulo 3

## 3. TRASTORNOS DEL ESÓFAGO

Existe una gran variedad de trastornos que afectan al esófago, los cuales, al ser detectados a tiempo, se les puede dar el tratamiento correcto para que estos no se terminen de desarrollar o evolucionen a algún otro trastorno o enfermedad de mayor gravedad.

Entre algunos de estos trastornos se pueden nombrar al esófago de Barrett, cáncer de esófago, acalasia, Síndrome Plummer-Vinson, etc. Este proyecto de tesis se centra en la detección de los 3 trastornos más comunes.

### 3.1. ESÓFAGO DE BARRET

#### 3.1.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El Esófago de Barret (EB) es una enfermedad que se define como el reemplazo anormal del epitelio escamoso estratificado en la porción distal del esófago por epitelio columnar (células calciformes); éste es visible endoscópicamente y confirmado histopatológicamente mediante biopsias esofágicas<sup>18</sup>. El EB es considerada como la única lesión precancerosa del adenocarcinoma de esófago<sup>19</sup>, por lo cual su temprana detección y diagnóstico son imprescindibles. Configurándose como una condición adquirida, el EB ha sido sujeto de numerosas

---

<sup>18</sup> Rebecca C. Fitzgerald et al., «British Society of Gastroenterology Guidelines on the Diagnosis and Management of Barrett's Oesophagus», *Gut* 63, n.º 1 (1 de enero de 2014): 7-42, <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2013-305372>.

<sup>19</sup> Visanu Wanchai et al., «Genome-Wide Tracts of Homozygosity and Exome Analyses Reveal Repetitive Elements with Barrets Esophagus/Esophageal Adenocarcinoma Risk», *BMC Bioinformatics* 20, n.º S2 (marzo de 2019): 98, <https://doi.org/10.1186/s12859-019-2622-y>.

investigaciones; no obstante, no ha sido posible determinar un origen único. Estudios clínicos sugieren al Reflujo Gastroesofágico (ERGE) como una de las principales causas. Asimismo, se ha encontrado evidencia de otros factores asociados a la condición, tales como la obesidad, raza blanca, edad avanzada, tabaquismo y hernia hiatal<sup>20</sup>. Lo anterior toma como fundamento el hecho de que su empleo o padecimiento desemboca en frecuentes episodios de ERGE. El grupo demográfico de mayor vulnerabilidad corresponde al sexo masculino.<sup>21</sup>

Durante las últimas décadas, la incidencia y prevalencia de EB ha incrementado notoriamente. Como se estipula en la Revista Española de Enfermedades Digestivas, se “estima que la incidencia global en la población general es del 1 al 2%”<sup>22</sup>. En México, el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición realizó un estudio clínico comprendido entre los años 2002 y 2012, cuyos resultados se enuncian a continuación:

“La frecuencia de EB fue de 9.6 casos por cada 1,000 endoscopias de tubo digestivo superior. En la mayoría de los pacientes con EB no se documentó displasia y permanecieron sin cambios histopatológicos durante el seguimiento. El 19.3% de los pacientes presentaron displasia o cáncer.”<sup>23</sup>

---

<sup>20</sup> V. Thoguluva Chandrasekar, P. Vennalaganti, y P. Sharma, «Manejo del esófago de Barrett: del tamizaje a los nuevos tratamientos», *Revista de Gastroenterología de México* 81, n.º 2 (1 de abril de 2016): 91-102, <https://doi.org/10.1016/j.rgmx.2015.07.007>.

<sup>21</sup> Quetzalihuítl Arroyo Martínez et al., «Epidemiología del esófago de Barrett y adenocarcinoma esofágico en España. Estudio unicéntrico», *Rev Esp Enferm Dig* 108 (2016): 9. (p.2)

<sup>22</sup> Martínez et al.

<sup>23</sup> F. Valdovinos-Andraca et al., «Esófago de Barrett: experiencia de 10 años en un centro de tercer nivel en México», *Revista de Gastroenterología de México* 83, n.º 1 (1 de enero de 2018): 25-30, <https://doi.org/10.1016/j.rgmx.2017.03.007>.

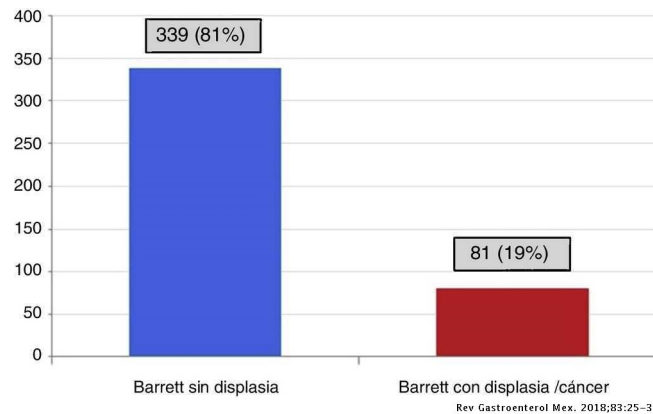


Tabla tomada de: F. Valdovinos-Andraca et al., «Esófago de Barrett: experiencia de 10 años en un centro de tercer nivel en México», *Revista de Gastroenterología de México* 83, n.º 1 (1 de enero de 2018): 25-30, <https://doi.org/10.1016/j.rgmx.2017.03.007>.

Aun cuando el EB no es determinante y conclusivo en el desarrollo de adenocarcinoma, se reitera la importancia de un diagnóstico eficaz, de manera que sea posible establecer un protocolo de prevención o tratamiento.

### 3.1.2. DIAGNÓSIS

Comúnmente, el Esófago de Barret es detectado mediante endoscopías realizadas a pacientes que presentan síntomas de ERGE (pirosis, regurgitación, tos, entre otros)<sup>24</sup>. Bajo el designio de ejecutar un diagnóstico apropiado, la Sociedad Británica de Gastroenterología se ha encargado de publicar las siguientes recomendaciones<sup>25</sup>:

<sup>24</sup> Ernst J. Kuipers, «Barrett Esophagus and Life Expectancy: Implications for Screening?», *Gastroenterology & Hepatology* 7, n.º 10 (octubre de 2011): 689-91.

<sup>25</sup> Fitzgerald et al., «British Society of Gastroenterology Guidelines on the Diagnosis and Management of Barrett's Oesophagus».

**a) Criterio de Diagnóstico.**

“El diagnóstico de EB requiere tanto la identificación endoscópica de la mucosa columnar como la presencia histológica de metaplasia de tipo intestinal. La mucosa del esófago se encuentra, por lo general, revestida con epitelio escamoso estratificado y cambia a epitelio columnar a nivel de la unión gastroesofágica (GE), la cual se identifica por la presencia de la cúpula de los pliegues proximales de la mucosa gástrica. (...) Normalmente, la unión escamocolumnar coincide con la unión GE, pero cuando se encuentra proximal a la unión GE, existe un esófago con revestimiento columnar, lo cual se considera EB. Si el segmento es <3cm, se denomina EB de segmento corto, y si es  $\geq 3$ cm es EB de segmento largo”<sup>26</sup>

**b) Tamizaje**

El protocolo tradicional establece una evaluación a los pacientes que presentan ERGE mediante una endoscopia para identificar el epitelio columnar metaplásico; posteriormente se obtienen muestras de biopsias para confirmar el EB o displasia. Se recomienda un tamizaje endoscópico a pacientes que padecen de ERGE, así como a individuos que poseen los factores de riesgo previamente mencionados <sup>27</sup>.

**c) Vigilancia**

Considerando que el EB se asocia al desarrollo de adenocarcinoma esofágico (ACE), se recomienda vigilancia endoscópica de manera periódica, a fin de detectar lesiones precancerosas en etapa temprana. Estudios sugieren que el ACE se desarrolla por medio de etapas histológicas: EB sin displasia, displasia de bajo nivel, displasia de alto nivel, y, finalmente, adenocarcinoma<sup>28</sup>. El monitoreo endoscópico de luz blanca con evaluación histopatológica de displasia es el único método de

---

<sup>26</sup> Thoguluva Chandrasekar, Vennalaganti, y Sharma, «Manejo del esófago de Barrett».

<sup>27</sup> Thoguluva Chandrasekar, Vennalaganti, y Sharma.

<sup>28</sup> M Harrison et al., «Management of Barrett's Esophagus with Low-Grade Dysplasia», *Diseases of the Esophagus* 31, n.º 4 (1 de abril de 2018), <https://doi.org/10.1093/dote/doy004>.



vigilancia con suficiente evidencia para ser recomendado. Adicionalmente, la endoscopía de alta resolución se recomienda en la vigilancia de EB<sup>29</sup>.

### 3.1.3. TRATAMIENTO

Desde su descubrimiento en 1948, el EB ha sido tratado mediante intervenciones quirúrgicas. No obstante, los avances tecnológicos han permitido vislumbrar métodos de tratamiento menos invasivos. Cabe mencionar que la intervención quirúrgica continúa siendo el método de elección cuando se presenta riesgo de metástasis en la submucosa, aunque ésta representa una “tasa de mortalidad y morbilidad significativamente mayor”.<sup>30</sup>

Dentro de la categoría de tratamientos no quirúrgicos se encuentran las técnicas de erradicación endoscópicas.

#### a) Resección Endoscópica (REM) y Disección Endoscópica (DEM)

“La REM y la DES son 2 procedimientos de resección [que] involucran la resección sistemática de una zona específica del esófago con un bisturí endoscópico o pinza diatérmica. (...) La ventaja de los procedimientos de resección es que son tanto diagnósticos como terapéuticos, ya que se obtiene una muestra de tejido, mientras que los procedimientos de ablación únicamente son terapéuticos.”<sup>31</sup>

#### b) Ablación Endoscópica.

“Las técnicas de ablación pueden ser térmica, ablación por radiofrecuencia (ARF), terapia fotodinámica (TFD), electrocoagulación multipolar (ECMP), crioterapia, coagulación con argón plasma (CAP). Estas técnicas generalmente se llevan a cabo

---

<sup>29</sup> Fitzgerald et al., «British Society of Gastroenterology Guidelines on the Diagnosis and Management of Barrett’s Oesophagus». (p. 3,4)

<sup>30</sup> Thoguluva Chandrasekar, Vennalaganti, y Sharma, «Manejo del esófago de Barrett».

<sup>31</sup> Thoguluva Chandrasekar, Vennalaganti, y Sharma. (p.6)

cuando no existen lesiones visibles en el epitelio displásico, en cuyo caso las técnicas de resección pueden tener una tasa más exitosa.”<sup>32</sup>

## 3.2. ESOFAGITIS EOSINOFÍLICA

### 3.2.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

La Esofagitis Eosinofílica (EEo) es una enfermedad crónica ocasionada por la infiltración de eosinófilos en el esófago<sup>33</sup>. Existen numerosas enfermedades relacionadas a la infiltración de eosinófilos en el esófago (tales como la gastroenteritis eosinofílica, reflujo gastrointestinal (ERGE), vómitos recurrentes, infecciones de parásitos y hongos, síndrome de colon irritable, entre otros<sup>34</sup>), no obstante, la Revista de Gastroenterología de México señala que “se requieren tres condiciones para su diagnóstico: síntomas de disfunción esofágica, inflamación de predominio eosinofílico con la presencia de 15 o más eosinófilos por campo de gran aumento (CGA) en una o más biopsias del esófago, y la exclusión de enfermedad por reflujo gastroesofágico”<sup>35</sup>.

Aunque las estadísticas indican a infantes como el sector demográfico de mayor incidencia, estudios clínicos han sido testigos de un incremento de episodios en adultos (principalmente en individuos del sexo masculino de edades comprendidas entre 20 y 29 años). En Europa y Estados Unidos, se estiman un total de 40 a 55 casos por cada 100,000 personas.<sup>36</sup>

---

<sup>32</sup> Thoguluva Chandrasekar, Vennalaganti, y Sharma. (p.7)

<sup>33</sup> A. López-Colombo, «Esofagitis eosinofílica», *Revista de Gastroenterología de México* 77 (agosto de 2012): 1-3, <https://doi.org/10.1016/j.rgmx.2012.07.002>.

<sup>34</sup> Musab Khalil et al., «Eosinophilic Esophagitis: An Increasingly Recognized Disease in Recent Era», s. f., 4.

<sup>35</sup> López-Colombo, «Esofagitis eosinofílica».

<sup>36</sup> Khalil et al., «Eosinophilic Esophagitis: An Increasingly Recognized Disease in Recent Era».

La sintomatología en infantes se compone por insuficiencia para crecer y vómito; en adultos, los síntomas se presentan como disfagia, dolor en el pecho, dolor epigástrico y obstrucción esofágica por bolo alimenticio. Sin embargo, algunos pacientes se describen asintomáticos.<sup>37</sup>

### 3.2.2. FISIOPATOLOGÍA

Se presume que el desarrollo de EEO en individuos subyace en la combinación de condiciones genéticas, ERGE, reacciones alérgicas y alteraciones de la barrera epitelial. La conjunción de los elementos antedichos conlleva a la penetración de agentes alérgicos al epitelio, mismo que activa una respuesta inflamatoria; los eosinófilos se recolectan de la sangre mediante quimiotaxis local, manteniendo una respuesta inflamatoria. El EEO suele desencadenarse ante el consumo de comida, principalmente de leche, huevo, trigo y soya.<sup>38</sup>

### 3.2.3. DIAGNÓSTICO CLÍNICO

Los síntomas del EEO no son específicos, por lo que su frecuencia es subestimada. Usualmente, el EEO se desarrolla más de 4 años antes de ser diagnosticado.<sup>39</sup> El diagnóstico de EEO toma como base un cuadro clínico; no obstante, se han desarrollado métodos endoscópicos que permiten una detección precisa. El empleo de la endoscopia en el diagnóstico de EEO ha permitido “hallazgos tales como anillos esofágicos, estenosis, surcos lineales, placas blanquecinas, palidez y disminución del patrón vascular”<sup>40</sup>. Aunado a la detección endoscópica, resulta mandatorio realizar biopsias de esófago (3 ó 4) en el esófago proximal, medio y

<sup>37</sup> Khalil et al., «Eosinophilic Esophagitis: An Increasingly Recognized Disease in Recent Era».

<sup>38</sup> C. Vinit et al., «Eosinophilic Esophagitis: Pathophysiology, Diagnosis, and Management», *Archives de Pédiatrie* 26, n.º 3 (1 de abril de 2019): 182-90, <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2019.02.005>. (p.1)

<sup>39</sup> Vinit et al.

<sup>40</sup> López-Colombo, «Esofagitis eosinofílica».

distal<sup>41</sup>. Gracias al empleo de endoscopias, es posible confirmar el diagnóstico de EEO, así como de su remisión posterior al tratamiento.

A continuación, se ilustra el diagnóstico clínico de EEO mediante endoscopia:

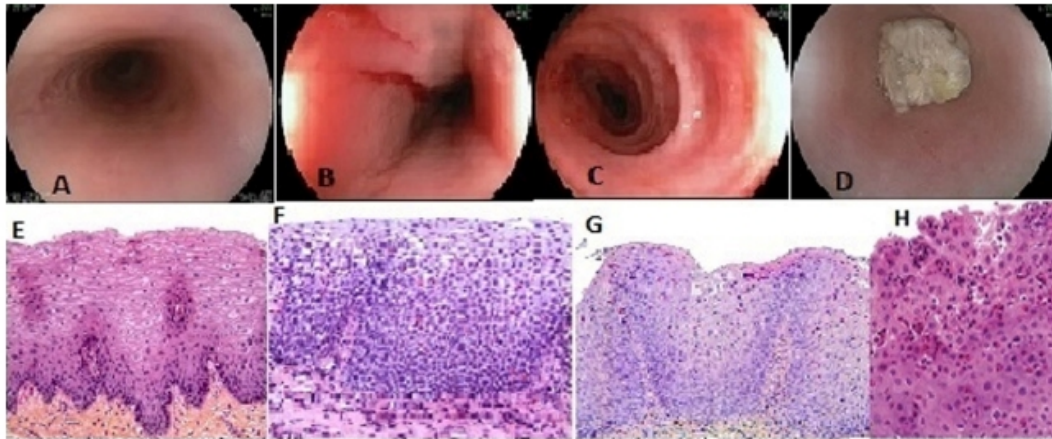


Figura 3.2-1 Rasgos endoscópicos e histológicos de Esófago Eosinofílico (EEO). A. Edema mucoso. B. Surcos lineales. C. Anillos esofágicos. D. Constricción. E. Esófago normal. F. Eosinofilia. G. Hiperplasia de zona basal. H. Micro abscesos eosinofílicos. Fotos de endoscopia: Sr. Jérôme Viala. Imágenes histológicas: Prof. Patrick Barber, Prof. Dominique Berr

Imagen tomada de C. Vinit et al., «Eosinophilic Esophagitis: Pathophysiology, Diagnosis, and Management», *Archives de Pédiatrie* 26, n.º 3 (1 de abril de 2019): 182-90, <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2019.02.005>. (p.4)

La remisión del EEO radica principalmente en un tratamiento dietético. La terapia toma como base un periodo de 4 a 12 semanas en donde se ejecutan pruebas endoscópicas de eliminación y reintegración de alimentos cada 4 o 6 semanas. Se estima que la terapia dietética induce a remisión en el 66.3% de los casos<sup>42</sup>. Las dietas se dividen en tres alternativas:

- a) dietas elementales
- b) restricción de alimentos por pruebas de alergia
- c) pruebas de restricción por alimentos comúnmente alergénicos<sup>43</sup>.

<sup>41</sup> Vinit et al., «Eosinophilic Esophagitis». (p.4)

<sup>42</sup> Vinit et al.

<sup>43</sup> López-Colombo, «Esofagitis eosinofílica».

La Revista de Gastroenterología de México indica que “los alimentos que indujeron mayor sensibilización fueron tomate (72%), huevo (62%), guisantes (50%), cebada (48%), papa (48%), centeno (45%), camarones (38%), trigo (38%), lentejas (38%) y arroz (35%)”<sup>44</sup>. De acuerdo con las necesidades del paciente, es factible administrar terapia farmacológica en forma de esteroides (como la fluticasona y la budesónida). En ocasiones, la disfagia se manifiesta como un malestar recurrente, por lo que es preciso realizar una dilatación endoscópica. Es preciso mencionar que, durante el tratamiento, el empleo de endoscopias es indispensable.

### 3.3. CÁNCER DE ESÓFAGO

El cáncer de esófago es una neoplasia maligna con una supervivencia estimada a 5 años. Considerada como la sexta causa de muerte por cáncer, los subtipos escamoso y adenocarcinoma se exhiben con mayor frecuencia. El subtipo escamoso focaliza una zona de mayor riesgo en “el cinturón de cáncer esofágico”, compuesto por Turquía, Irán, Kazajistán, norte de China, Reino Unido, Francia, Irlanda, Asia Central y del Sur, Este de África, Japón, Sudamérica y Estados Unidos. Un antecedente concreto del cáncer de esófago, como se ha mencionado anteriormente, es el Esófago de Barret, cuya displasia presenta un factor de riesgo de evolucionar en adenocarcinoma.<sup>45</sup>

El cáncer de esófago es una enfermedad cuya ascendente frecuencia es causa de gran consternación a los especialistas. En Reino Unido, por ejemplo, la cifra de individuos que padecen cáncer de esófago aumenta anualmente<sup>46</sup>. Como se puede apreciar en las siguientes gráficas, aproximadamente el 80% de los casos a nivel

---

<sup>44</sup> López-Colombo.

<sup>45</sup> Sergio Sobrino Cossío, «Cáncer de esófago», *Rev Gastroenterol Mex* 75 (2010): 9.

<sup>46</sup> «BSG Guidelines for the Management of Oesophageal and Gastric Cancer», accedido 19 de noviembre de 2019, <https://www.bsg.org.uk/resource/bsg-guidelines-for-the-management-of-oesophageal-and-gastric-cancer.html>.

mundial se presentan en regiones menos desarrolladas, con un porcentaje superior de frecuencia en el sexo masculino.<sup>47</sup>

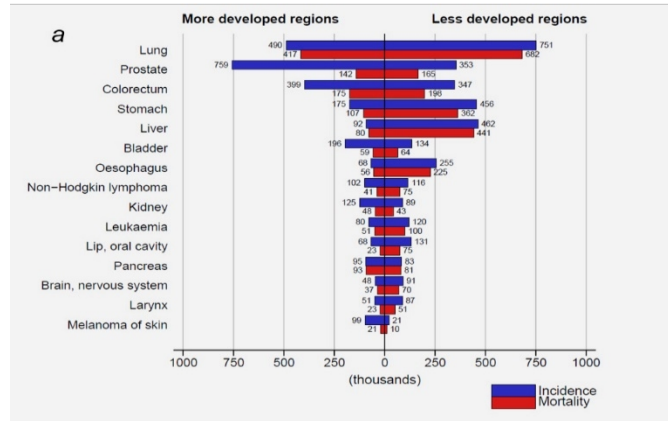


Figura 3.3-1 Número estimado (en miles) de nuevos casos de incidencia de cáncer y muertes en hombres en regiones más desarrolladas y menos desarrolladas del mundo en 2012.

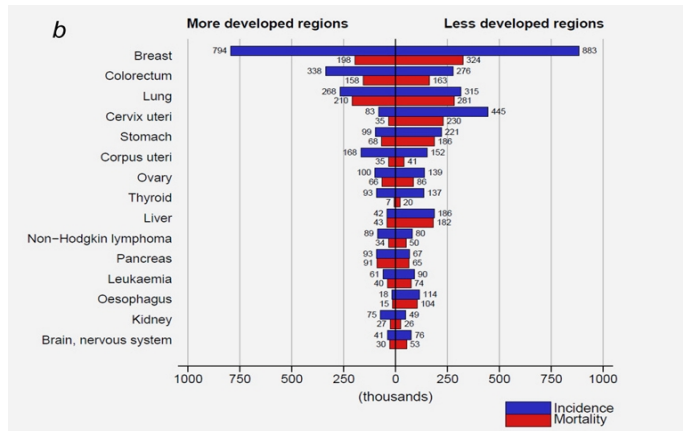


Figura 3.3-2 Número estimado (en miles) de nuevos casos de incidencia de cáncer y muertes en mujeres en regiones más desarrolladas y menos desarrolladas del mundo en 2012.

Gráficas tomadas de Jacques Ferlay et al., «Cancer Incidence and Mortality Worldwide: Sources, Methods and Major Patterns in GLOBOCAN 2012», *International Journal of Cancer* 136, n.o 5 (2015): E359-86, <https://doi.org/10.1002/ijc.29210>.

<sup>47</sup> Jacques Ferlay et al., «Cancer Incidence and Mortality Worldwide: Sources, Methods and Major Patterns in GLOBOCAN 2012», *International Journal of Cancer* 136, n.º 5 (2015): E359-86, <https://doi.org/10.1002/ijc.29210>.

### 3.3.1. DIAGNÓSTICO

La Revista de Gastroenterología de México enuncia que los síntomas incluyen disfagia, pérdida de peso, y odinofagia (dolor consistente al ingerir fluidos)<sup>48</sup>. Frecuentemente, este tipo de cáncer se manifiesta desapercibidamente y es diagnosticado en etapas avanzadas, por lo que su tratamiento se limita a satisfacer una necesidad paliativa<sup>49</sup>. La Sociedad Británica de Gastroenterología procura las siguientes pautas para su diagnóstico propicio:

- a) Un mínimo de seis biopsias debe ser tomado para obtener un diagnóstico de malignidad en el área esofágica o de anormalidad mucosa gástrica
- b) Los resultados endoscópicos de conscripción benigna o esofagitis deben ser confirmados mediante una biopsia.
- c) Las úlceras gástricas deben obtener seguimiento con una gastroscopia y biopsia repetidas, para evaluar su recuperación y descartar malignidad.
- d) Los pacientes diagnosticados con un grado alto de displasia deben ser referidos a un equipo multidisciplinario.<sup>50</sup>

### 3.3.2. TRATAMIENTO

La medicina moderna ha realizado importantes esfuerzos en la erradicación del cáncer de Esófago, los cuales poseen un mayor rango de éxito en etapas tempranas de carcinoma. Sin embargo, como se antedijo, la mayoría de los pacientes no obtiene un diagnóstico hasta que la condición se encuentra en un estado desarrollado.

Existen dos métodos endoscópicos cuyo fin reside en la erradicación del cáncer de esófago (especializados en las etapas prematuras de la condición en cuestión): la

---

<sup>48</sup> Cossío, «Cáncer de esófago».

<sup>49</sup> Cossío.

<sup>50</sup> «BSG Guidelines for the Management of Oesophageal and Gastric Cancer».

---

resección endoscópica de la mucosa (REM) y la disección endoscópica de la submucosa (DES).<sup>51</sup>

Entre otros posibles tratamientos se encuentra la cirugía. En lo que se refiere a quimioterapia y radioterapia, la Sociedad Británica de Gastroenterología considera que no existe evidencia alguna que sustente el empleo de radioterapia preoperativa para el carcinoma esofágico escamoso. Asimismo, propone que la quimiorradioterapia es el tratamiento adecuado para el carcinoma esofágico escamoso localizado.<sup>52</sup>

### 3.3.3. VIGILANCIA

Se calcula que la “sobrevida promedio en pacientes con EB diagnosticados en edades tempranas sin progresión (42.8 años) fue de 25.5 años”<sup>53</sup>.

Por lo anterior, se recomienda que posteriormente a la erradicación temprana de cáncer de esófago, se implemente un sistema de vigilancia frecuente, con el objetivo de minimizar el riesgo de reincidencia. El tratamiento de rehabilitación es un proceso complejo que induce síntomas que afectan la calidad de vida en los individuos. Efectos secundarios postratamiento incluyen disfagia, diarrea, cambio en la absorción de sales y crecimiento bacteriano. Asimismo, los desórdenes fisiológicos no son poco comunes y requieren de una evaluación y manejo adecuado por parte de especialistas.<sup>54</sup>

#### a) Estrategias preventivas

---

<sup>51</sup> «BSG Guidelines for the Management of Oesophageal and Gastric Cancer».

<sup>52</sup> «BSG Guidelines for the Management of Oesophageal and Gastric Cancer».

<sup>53</sup> Cossío, «Cáncer de esófago».

<sup>54</sup> «BSG Guidelines for the Management of Oesophageal and Gastric Cancer».



Puesto que el esófago de Barret se configura como el único precursor del cáncer de esófago, se recomienda la reducción en el consumo de tabaco y alcohol; el consumo de una dieta balanceada y el mantenimiento de un IMC estable.

# Capítulo 4

## 4. ENTORNOS VIRTUALES

Un ambiente virtual es una representación gráfica, creada mediante software y/o hardware, visualizada en dispositivos que le permita al usuario percibir una experiencia de inmersión lo más real posible dentro de esta representación mediante distintos dispositivos como dispositivos móviles, cascos de realidad virtual, dispositivos hápticos, etc.

Aunque parece que es una tecnología muy reciente, la historia de los ambientes virtuales comienza en 1958 con la corporación Philco Corporation, la cual, generó entornos artificiales a los cuáles podían acceder los usuarios con un casco que detectaba los movimientos que estos hacían con sus cabezas. Después de esto la NASA estuvo invirtiendo en diferentes empresas con el fin de que pudieran desarrollar tecnologías con el mismo fin.

Los avances en las distintas tecnologías inmersivas(Realidad Aumentada, Realidad Mixta, Realidad Virtual) han permitido que estas puedan utilizarse en distintas áreas como la medicina, la educación, la arquitectura, los videojuegos, etc.

### 4.1. REALIDAD VIRTUAL

Hoy en día no existe una definición oficial para el término de “Realidad Virtual” por lo que muchos un gran número de usuarios pueden llegar a confundir los términos de esta realidad con la aumentada o mixta. Una de las definiciones más completas es la de A. Rowell:

“La Realidad Virtual es una simulación interactiva por computador desde el punto de vista del participante, en la cual se sustituye o se aumenta la información sensorial que recibe”

La realidad virtual es aquella en la que el usuario se ve inmerso en un mundo virtual, por lo que le permite sumergirse dentro de una experiencia sensorial en la que el mundo real no es visible para él, por medio de un visor es capaz de observar este mundo, más no interactuar con él, por lo que puede ser considerada como una experiencia visual y auditiva. Es posible lograr este tipo de ambiente incluso mediante un Smartphone integrado dentro de un visor que contenga un par de lentes bicóncavos.

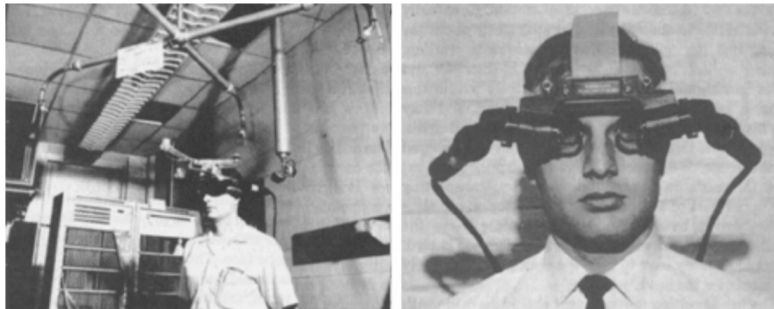
La realidad virtual hoy en día se puede encontrar en diferentes áreas como la terapéutica, puesto que se ha ocupado para el manejo de fobias, educación en los recorridos virtuales de zonas arqueológicas, entretenimiento, en recorridos virtuales de montañas rusas o deportes como el paracaidismo que hace que el usuario se vea inmerso en este tipo de actividades si necesidad de estar físicamente presente.

## **4.2. REALIDAD AUMENTADA**

La realidad aumentada (AR) estudia las técnicas que permiten integrar elementos digitales dentro del mundo real en tiempo real. A diferencia de la realidad virtual, donde el usuario interactúa en un mundo totalmente virtual, la AR genera capas digitales que deben ser correctamente alineadas con el mundo real, para lograr una sensación correcta integración. Para poder generar capas correctamente alineadas, existen diferentes tipos de reconocimiento, como lo pueden ser el seguimiento de

marcadores (trackers), por Geolocalización, etc. Este tipo de realidad ha tenido mucho éxito en videojuegos, en museos de arte, medicina, en publicidad, etc.

Los primeros pasos en el área de Realidad aumentada se dieron cuando Ivan Sutherland creó el primer sistema de AR en 1968, llamado "The sword of Damocles", el cuál consistía en un casco que le permitía observar modelos tridimensionales sencillos, renderizados en wireframe en tiempo real. Ocupaba 2 sistemas de tracking para calcular el registro de la cámara, uno mecánico y otro basado en ultrasonidos.



*Figura 4.2-1 La espada de Damocles.<sup>55</sup>*

Pero fue hasta 1992 que se le dió término "Realidad Aumentada" por Tom Caudell y David Mizell.

Hoy en día se puede encontrar esta tecnología en múltiples actividades del día a día, como lo son la educación, los videojuegos, publicidad, navegación, etc.

### 4.3. REALIDAD MIXTA

La realidad mixta representa la colisión controlada de las tendencias de Realidad virtual, realidad aumentada e IoT. Con la MR, los mundos virtual y real se unen para crear nuevos entornos en los cuales objetos tanto digitales como físicos y sus datos pueden coexistir e interactuar unos con otros.

---

<sup>55</sup> Van Krevelen, Rick. (2007). Augmented Reality: Technologies, Applications, and Limitations. 10.13140/RG.2.1.1874.7929.



Figura 4.3-1 Tipos de Realidad<sup>56</sup>

<sup>56</sup> Milgram, Paul & Kishino, Fumio. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. IEICE Trans. Information Systems. vol. E77-D, no. 12. 1321-1329.

## Capítulo 5

# 5. SISTEMA DE NAVEGACIÓN VIRTUAL

El sistema está formado por 2 partes, la primera es la parte virtual, que corresponde a todo lo relacionado con la visualización y la navegación dentro del ambiente virtual. Si se utilizara la tecnología de realidad virtual, se tendría la desventaja de que no existirían restricciones físicas al momento de la simulación, por lo que en el momento que exista una colisión entre 2 modelos tridimensionales, el usuario no logrará percibir tal, haciendo que la experiencia de una inmersión total puede verse comprometida, para evitar eso, este sistema se complementa con un ambiente físico, adaptando uno de los controles de movimiento con una manguera que simulará ser el tubo de inserción del endoscopio, el cual será introducido en un dispositivo que producirá cierta resistencia al momento de ir ingresándola.

### 5.1. MATERIALES Y EQUIPO

Para poder hacer uso de la realidad mixta, se ocupó el casco de realidad mixta de Acer, el cual tiene ciertos requisitos mínimos para usarlo como lo son un puerto de USB de alta velocidad 3.0 tipo A ó C, un puerto HDMI y un dispositivo Bluetooth, el cual es necesario para sincronizar los controles.

En cuanto al equipo que se utilizó para ejecutar el ambiente virtual se requiere que tenga como mínimo un procesador Intel Core i5 (4ª Generación) o su equivalente, se requiere una tarjeta gráfica que sea capaz de soportar los modelos y el procesamiento de datos, por lo que el requisito mínimo es de una tarjeta nVidia 965M o una AMD RX 460.

En cuanto al sistema operativo, la aplicación de Windows Mixed Reality requiere tener instalado Windows 10 necesariamente, ya que todas las características están instaladas en este sistema por lo que algún sistema operativo anterior reconocerá los cascos como simples pantallas.

El motor que se utilizó para crear el ambiente virtual es Unity, ya que es un editor muy amigable para el desarrollador, tiene 2 lenguajes para el desarrollo como lo son Javascript y C#, contiene paquetes que pueden ser muy útiles para la creación de mallas o interacción de materiales físicos, es multiplataforma, ya que permite desarrollar sistemas para Android, iOS, Windows, teniendo compatibilidad con Windows Mixed Reality.

Para realizar el ambiente virtual se usaron los siguientes componentes:

*Tabla 4 Requerimientos*

<i>REQUERIMIENTO</i>	<i>MÍNIMO</i>	<i>UTILIZADO</i>
<i>PROCESADOR</i>	Core i5(4ª Generación)	Core i7 7700 HQ
<i>MEMORIA RAM</i>	8 GB	8 GB
<i>SISTEMA OPERATIVO</i>	Windows 10	Windows 10

<i>TARJETA DE VIDEO</i>	nVidia 965	nVidia GTX 1050 TI
<i>BLUETOOTH</i>	3.0	4.0
<i>USB</i>	3.0 A o C	3.0 C
<i>CASCO</i>	ACER Windows Mixed Reality Headset	

## 5.2. ENTORNO DE DESARROLLO

### 5.2.1. UNITY

Unity es una herramienta de desarrollo de videojuegos creada por Unity Technology en el año 2005. Gracias a su compatibilidad con una gran variedad de software especializado en modelado en 3D como lo son Maya, 3ds Max, Blender, Zbrush, etc. Es un entorno de desarrollo tan completo y potente que algunos videojuegos famosos como “Assassin’s Creed: Unity”, “Firewatch”, “Super Mario Run” o “Pokemon GO” se han desarrollado en él, haciendo que hoy en día sea uno de los motores de videojuegos más utilizados en el mercado, junto con Unreal Engine y CryEngine.

Pero Unity no se limita sólo al diseño y creación de videojuegos, sino que, por su gran compatibilidad con diferentes plataformas, su variedad de librerías y la incontable cantidad de Assets de la que disponen los usuarios, ha hecho que diferentes áreas realicen sus proyectos, como la educación, la historia, mercadotecnia, medicina, etc.

Sin embargo, una de las grandes desventajas de Unity es que no es una herramienta gratuita, pero es posible desarrollar sin costo alguno si el proyecto desarrollado es personal y no se usará con fines de lucro.



Para poder utilizar el casco de realidad mixta con Unity se tienen que modificar algunos ajustes, como la plataforma, la cual indica el tipo de dispositivos en los que se podrá ejecutar el sistema. Y ya que el casco Acer pertenece a la línea de cascos de Windows Mixed Reality se debe seleccionar Universal Windows Platform. Una vez hecho esto en la opción de “Player settings” se verificará que en el apartado de “XR Settings” la opción de “Virtual Reality Supported” esté seleccionada. Después de haber realizado estas modificaciones la cámara del sistema automáticamente estará lista para mostrar el ambiente virtual en el casco.

### 5.3. DESARROLLO DEL SISTEMA VIRTUAL

El desarrollo del sistema se basó en el siguiente diagrama, donde se puede observar los espacios que se requieren para cada elemento necesario en el proceso. El usuario se colocará el casco y se verá inmerso dentro del laboratorio, con uno de los controles en mano, el cual dentro del ambiente virtual estará renderizado con un modelo de endoscopio y será rastreado por el mismo casco gracias al giroscopio y acelerómetro que tienen incluidos.

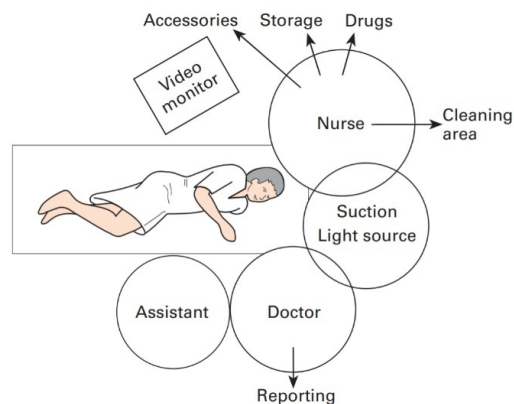


Figura 5.3-1 Modelo de habitación para endoscopia<sup>57</sup>

<sup>57</sup> B. Cotton, Peter & B. Williams, Christopher. Practical Gastrointestinal Endoscopy The Fundamentals. 5a ed. Blackwell Publishing Ltd, 2003.



Figura 5.3-2 Habitación virtual para endoscopia

Para el modelado de algunos elementos del laboratorio se ocupó el software de modelado en 3D "Blender", algunos otros se elaboraron por medio del entorno de Unity. Aunque Unity no cuenta con un entorno nativo para realizar modelado en tres dimensiones, contiene paquetes que hacen que muchas tareas sean más sencillas, como es el caso de ProBuilder, pues es una herramienta muy útil que auxilia al usuario en el diseño y la creación de mallas, así como la aplicación y edición de texturas, permitiendo modificar los modelos por medio de sus vértices, de los bordes o de las caras, facilitando la creación o edición de los modelos.

Se utilizan 2 cámaras en la escena, la primera es la cámara principal, la cual se encarga de mostrar el ambiente virtual desde la perspectiva del usuario. La segunda cámara es la del endoscopio, la cual se añadirá dentro del modelo del esófago. no es necesario asignarla como cámara estereoscópica, ya que sólo se requiere para proyectar la imagen dentro de un plano que simulará ser el monitor del equipo para la endoscopia. Además de poder observar la cámara del endoscopio

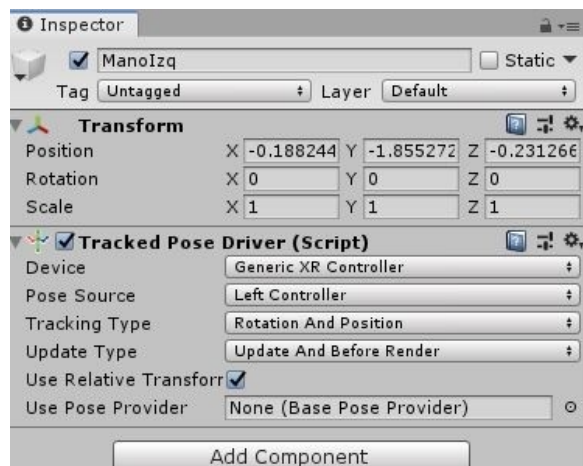


Figura 5.3-3 Configuración del control de movimiento

por medio del monitor, el usuario puede manipular el movimiento que existe en la punta del tubo de inserción con el control, por lo que al mover el joystick del mando hacia arriba o hacia abajo, podrá controlar el eje X del tubo y al moverlo de derecha a izquierda podrá controlar el eje y, pudiendo observar los detalles dentro del modelo virtual del esófago.

Para lograr la interacción entre el dispositivo con Unity lo primero que se tiene que realizar es crear un ObjectGame vacío, después en el inspector de elementos se añadirá un componente XR llamado Tracked Pose Driver el cual se utiliza para incluir en el proyecto cualquier dispositivo de realidad mixta, como lo son controles o cascos. Se verificará que la opción de Control genérico XR esté seleccionada y se elegirá si se requiere obtener el mando izquierdo o el derecho.

Al objeto vacío se le agregará el modelo en 3D del endoscopio, el cual fue realizado en AutoDesk Maya y está compuesto por diferentes componentes, entre ellos 2 mandos de control, los cuales al momento que el usuario gire la cámara, estos controles girarán igualmente, en el eje correspondiente.



*Figura 5.3-4 Modelo en 3D de Endoscopio.*

El endoscopio cuenta con un sistema de iluminación que puede ser controlada desde el mismo, para poder minimizar el brillo que puede llegar a generar la mucosa que recubre al esófago, por lo que esa luz también puede ser controlada desde el mando de realidad mixta. También cuenta con un sistema de enjuague, el cual permite lanzar pequeños chorros de agua para limpiar la zona y poder observarla mejor. Para lograr esto se utilizó la librería Flex de nVidia que es un plugin de partículas que permite simular fluidos, ropa o cuerpos sólidos dentro del ambiente virtual.

Si se requiere usar este plugin gratuito se puede descargar desde la página de nVidia o directamente desde la Asset Store de Unity.

## 5.4. MODELO DEL ESÓFAGO

Para realizar el sistema se utilizó el modelo de esófago creado por el Dr. Alfonso Gastélum Strozzi en su tesis para obtener el grado de maestría, el cual fue realizado a partir del proyecto denominado VHP por sus siglas en inglés “Visible Human Project” que consiste en una base de datos con imágenes de alta resolución la anatomía del cuerpo humano, del cual se ocuparon imágenes de color de cortes crioanatómicos de un cadáver. Estas imágenes cuentan con una resolución de 4096 x 2048 de 24 bits y cada corte transversal tiene una separación de 0.5 mm.

La creación del modelo a partir de estas imágenes se lleva a cabo mediante 6 fases:

- En la primera fase se realiza la segmentación para obtener el contorno de cada uno de los cortes anatómicos.

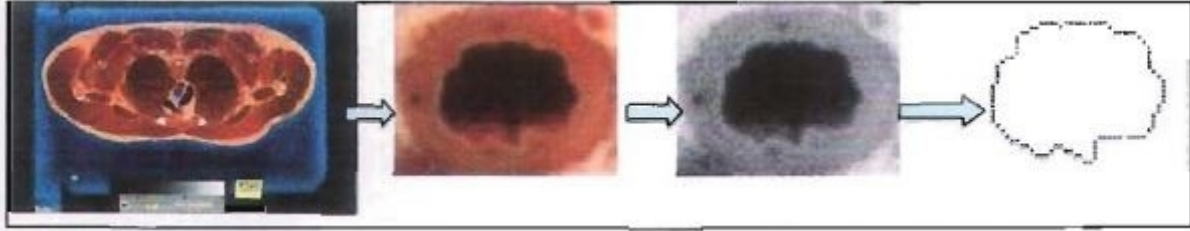


Figura 5.4-1 Segmentación y extracción de contorno.<sup>59</sup>

- En la segunda fase Se realiza el llenado de los contornos para obtener una serie de superficies binarias apiladas una sobre otra para después extraer una superficie tridimensional del objeto.

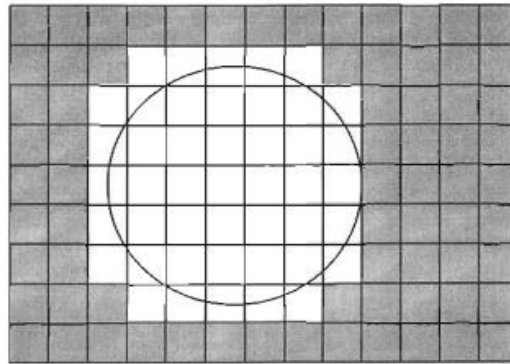


Figura 5.4-2 Discretización.<sup>59</sup>

- En la tercera fase se obtiene el mallado a partir de la superficie tridimensional creado.

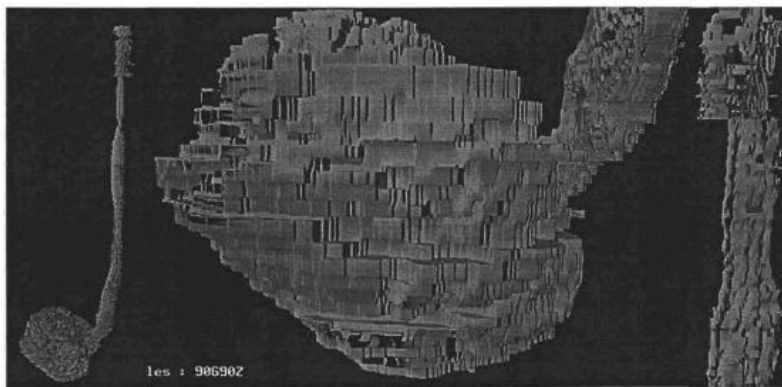


Figura 5.4-3 Mallado triangular resultante.<sup>58</sup>

<sup>58</sup> Gastélum Strozzi, Alfonso. “Construcción de un modelo del sistema gastrointestinal alto para simulaciones de endoscopia”. UNAM, Tesis de maestría en Física Médica, Posgrado de Física, dirigida por Dr. Jorge Alberto Márquez Flores, Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, 2005.

- En la cuarta fase se asocian los vértices para que se tenga una estructura conformada por los vecinos inmediatos de cada uno.
- En la quinta fase se realiza el suavizado del mallado.
- En la última fase se reduce la cantidad de triángulos para simplificar el mallado.

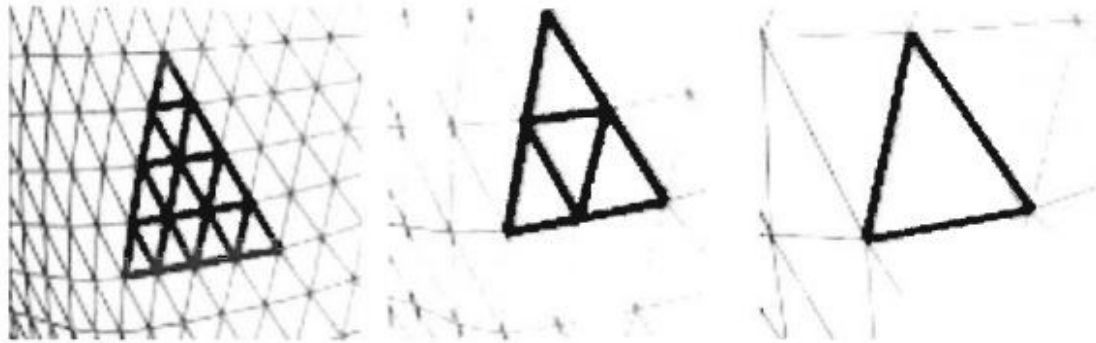


Figura 5.4-4 Reducción de triángulos.<sup>59</sup>

El modelo cuenta con un total de 43,205 vértices y 64,629 triángulos, mientras que el modelo con reducción de triángulos tiene 8236 vértices y 9886 triángulos.

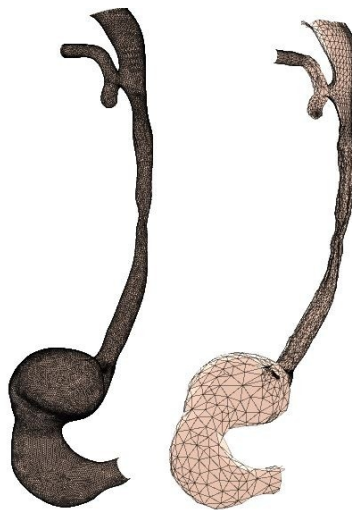
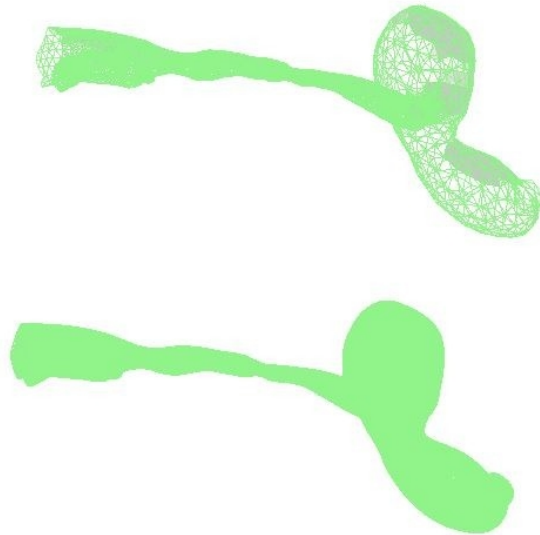


Figura 5.4-5 Resultado final del modelo y resultado final reducido

Por lo que para la visualización se ocupará el modelo original y para el sistema de colisiones se utilizará el reducido, ya que, si se utiliza el original para generar las colisiones, el sistema tendrá que realizar demasiado cálculos, lo que podría hacer

que el sistema se vuelva un poco menos eficiente. El último paso para poder utilizar el modelo en el sistema es la modificación de normales.



*Figura 5.4-6 Mallado de colisiones en modelo reducido y modelo original*

Una normal es un vector perpendicular a un polígono o a un vértice, la cual indica la orientación de la cara de este. Además, indica cómo la luz debe de afectar al modelo. En el caso del modelo del esófago todas las normales se encuentran apuntando al exterior del mallado, por lo que si se mira por dentro no se podrá observar nada. Para esto existen distintas soluciones, la más sencilla es la de abrir el modelo con Blender y seleccionar la opción de invertir normales. Una vez hecho esto el modelo está listo para funcionar en el sistema.

El modelo del esófago requiere tener una malla de colisiones, ya que, al ser un sistema de entrenamiento de endoscopía, el usuario necesita una retroalimentación del procedimiento, por lo que, si el tubo de inserción golpea alguna de las paredes del esófago, este puede dañarlas. En el momento que usuario golpee una de las paredes el sistema incrementará el contador de colisiones. Si al haber una colisión el usuario sigue introduciendo el tubo de inserción sin tomarla en cuenta quedará registrada la colisión y la presión ejercida sobre la pared del esófago.

Para la navegación se realizó un GameObject, el cual contiene 3 elementos:

- Cámara de endoscopio
- Sphere Collider
- SpotLight

La cámara del endoscopio enviará la imagen a un plano, el cual utilizaremos como monitor de la endoscopía, el sistema de colisiones esférico lo ocupamos para tener un objeto con propiedades físicas, que se utiliza para que el GameObject detecte las colisiones del modelo del tracto y no permita que vaya más allá de esos límites. Sólo se utiliza el sistema de colisión de la esfera, puesto que no se requiere que esta se visualice.

Y por último una fuente de luz, la cual permitirá una mejor visualización del modelo tridimensional.

## **5.5. GENERACIÓN DE TRASTORNOS**

El sistema virtual simula 3 de los trastornos más comunes del esófago y cada uno de ellos se representa de manera distinta en el ambiente virtual.

### **5.5.1. ESOFAGITIS EOSINOFÍLICA**

Una de las características más notorias en este trastorno son los anillos que se forman en la pared esofágica. Para lograr simular este trastorno se siguieron los siguientes pasos:



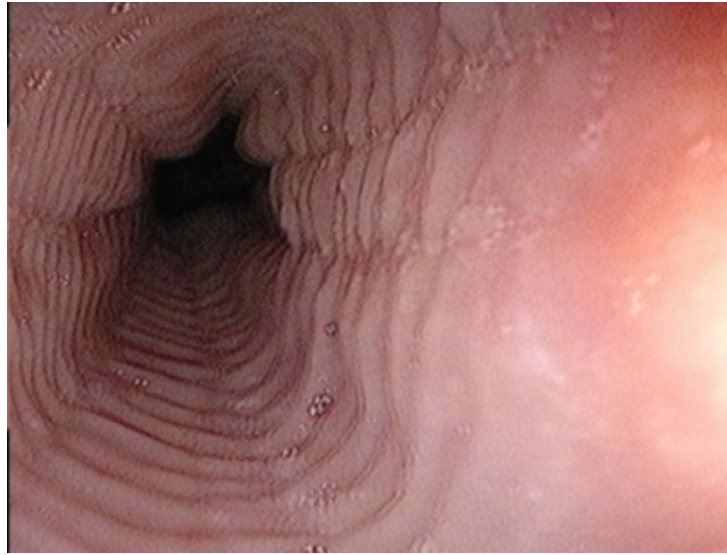


Figura 5.5-1 Esofagitis eosinofílica.<sup>59</sup>

#### 5.5.1.1. CREACIÓN DE PLANO TRANSVERSAL ALEATORIO

Para lograr la simulación de este trastorno se divide el modelo del esófago en 2 partes, las cuales serán separadas y después se creará una malla triangulada para rellenar el espacio faltante. Para obtener el resultado esperado lo primero que se hizo fue trazar un plano transversal en un punto aleatorio del eje Y, donde será el punto de separación de la malla.

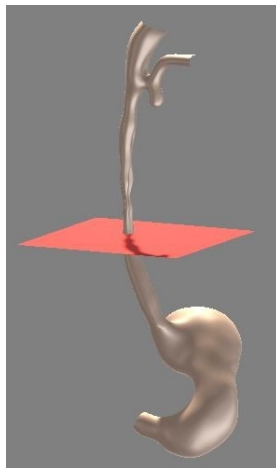


Figura 5.5-2 Plano transversal atravesando el modelo del esófago

<sup>59</sup> Soto-Solis, Rodrigo & Anda, K. & González-Urbe, N. & Gallegos, Carol & Romo-Aguirre, C. & Remes-Troche, Jose & Ballesteros-Amozurrutia, M.A.. (2016). Cómo mejorar el diagnóstico de esofagitis eosinofílica: experiencia de una serie de casos en México. Revista de Gastroenterología de México. 82. 10.1016/j.rgmx.2016.07.002.

### 5.5.1.2. DETECCIÓN DE LOS TRIÁNGULOS EN PLANO

Se detectarán todos los triángulos que sean atravesados por el plano transversal, de esta manera se obtendrán 2 figuras, un triángulo y un cuadrilátero, para mantener la malla triangulada se dividirán nuevamente todos los cuadriláteros obteniendo de esta manera una malla triangulada de nuevo.



*Figura 5.5-3 Detección de triangulación atravesada por Plano transversal*



*Figura 5.5-4 Retriangulación de malla atravesada por plano*

### 5.5.1.3. DIVISIÓN DE MALLA EN 2 PARTES

Lo siguiente será dividir la malla en 2 secciones, las cuales tendrán el mismo número de vértices en la zona de separación por lo que podrían ser unidas en el momento que se requiera. Se generará un espacio entre ambas mallas donde se generará una tercera que unirá a ambas.

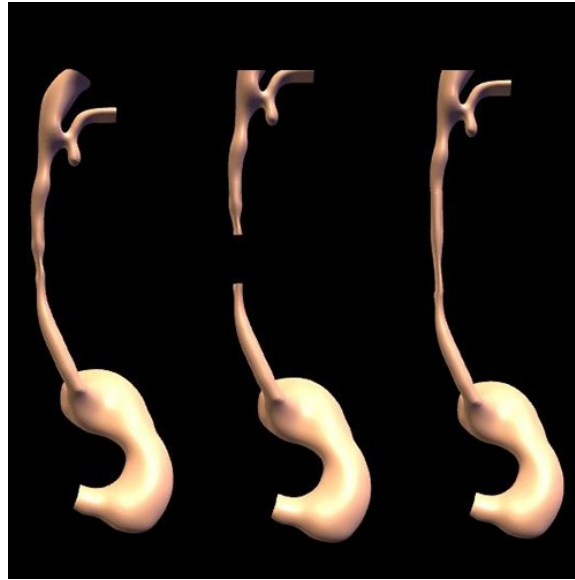


Figura 5.5-5 Separación y regeneración de malla.

#### 5.5.1.4. REGENERACIÓN DE LA MALLA

Para terminar, se debe calcular el centro de los vértices de cada uno de los bordes que fueron separados, ya que, conociendo el centro, se puede hacer que el arreglo de vértices se expanda o se contraiga alejándose o acercándose al centro. Por lo que se crea una función que se expanda y se contraiga conforme se va recorriendo el eje Y hasta llegar a la segunda malla, donde un arreglo de vértices igual al de la primera malla podrán unirse, generando un tipo de arreglo de vértices senoidal, la cual al triangular con su arreglo vecino generarán la malla con los anillos que se buscan.

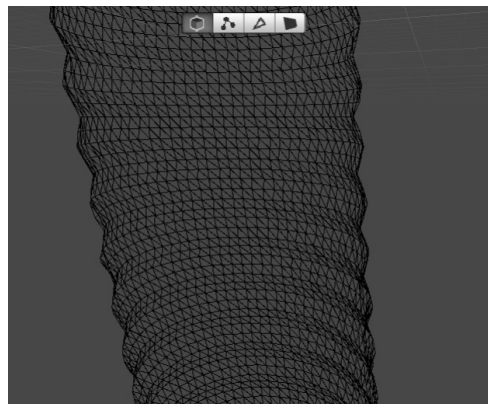


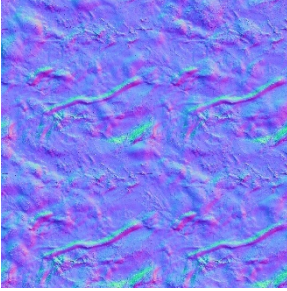
Figura 5.5-6 Malla anillada generada a partir del algoritmo.

### 5.5.2. ESÓFAGO DE BARRET

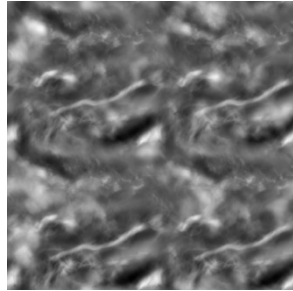
Para crear los diferentes trastornos en el sistema virtual se modificaron 2 elementos, la malla creada del modelo del esófago y las texturas utilizadas. Para esto se utilizaron materiales PBR(Physically Based Rendering) que es una nueva e innovadora técnica que pretende aproximar los modelos de iluminación reales junto con la definición de características físicas de los materiales para generar escenas mucho más realistas. Gracias a materiales definidos mediante PBR es posible lograr cambios dinámicos de iluminación y que los materiales se muestren tal y como son en la vida real, sin necesidad de tener configurados, ni hacer trampas. En el PBR existen dos configuraciones diferentes una basada en un componente especular y otro metálico.

Esta técnica ha sido principalmente usada en la realización de video juegos, por lo cual cada vez éstos se vuelven más realistas permitiendo una mejor interacción con el consumidor. Sin embargo, ha sido tan innovador este concepto que comenzó a emplearse en diversas áreas incluyendo la arquitectura y el ecodiseño, para elaboración de estructuras que se asemejen cada vez más a la realidad.

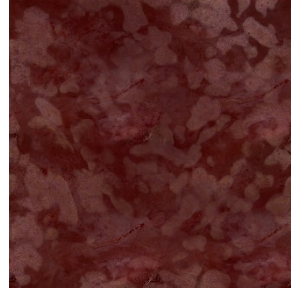
Los PBR son programas un poco más complejos de utilizar y que requieren cierta preparación para poder usarlos de manera adecuada, en ellos se ofrece una amplia gama de materiales que se pueden utilizar para diseñar cualquier cosa que se requiera, desde una piscina, grama, paredes, etc. A su vez esta herramienta permite detallar las características del material en cuestión, en cuanto a textura, rugosidad, color, etc.



*Figura 5.5-10 Mapa de normales*



*Figura 5.5-7 Mapa aproximado*

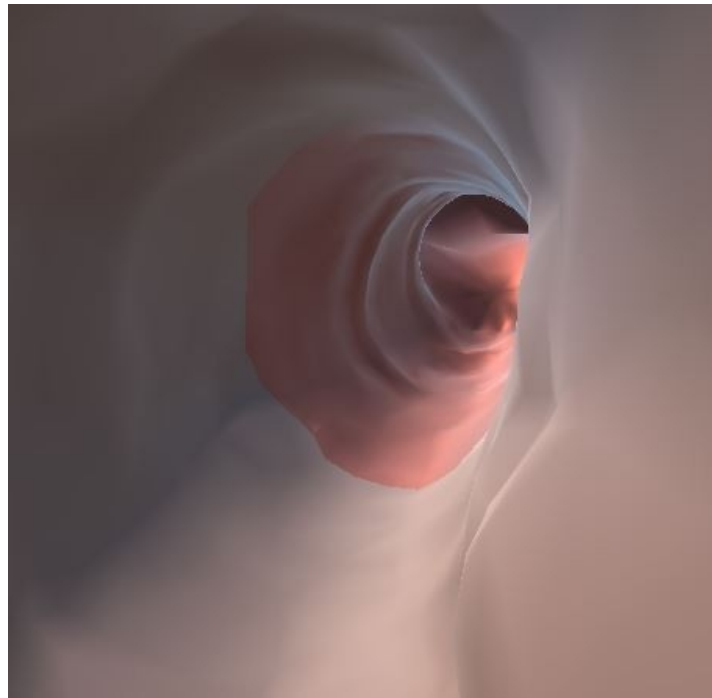


*Figura 5.5-9 Mapa de Color*



*Figura 5.5-8 Mapa de oclusión*

En el ecodiseño se ha introducido esta innovadora técnica ya que permite jugar con diversos materiales dentro de un mismo diseño. Dentro de estos programas se incluyen opciones de materiales que no generan daño al medio ambiente, los cuales en su mayoría son desconocidos por el público en general los cuales desconocen las características del mismo y al plantearles un diseño con esos materiales puede generar duda en ellos puesto que no saben cómo se verían éstos en la vida real.



*Figura 5.5-11 Esófago de Barret*

### 5.5.3. CÁNCER DE ESÓFAGO

Por último, para el cáncer de esófago, como se puede observar en la siguiente figura, se puede encontrar en diferentes etapas, con tumores que van desde lo poco perceptible hasta los grandes que pueden llegar a tapan prácticamente todo el conducto.

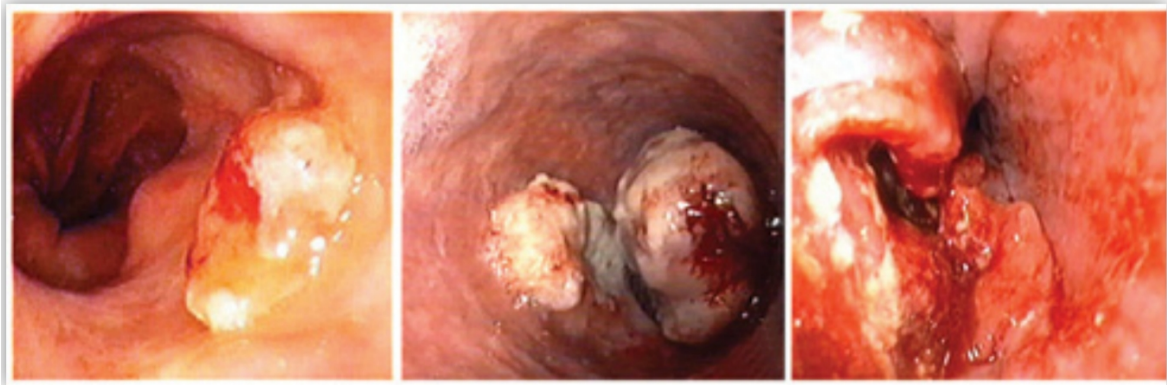


Figura 5.5-12 Cáncer de esófago<sup>60</sup>

Para lograr la reproducción de estos tumores se siguen los siguientes pasos:

- Se generó un modelo que auxiliará para que la simulación de los tumores.

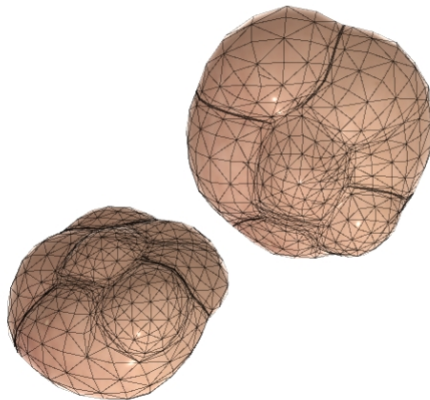
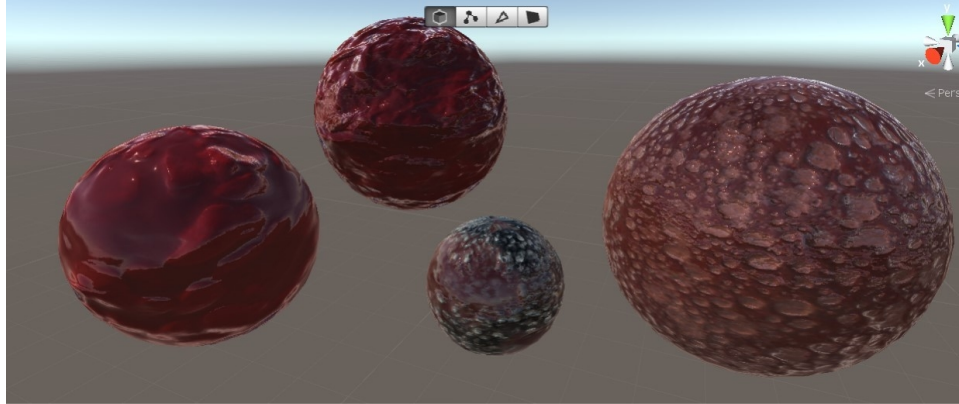


Figura 5.5-13 Modelo tridimensional que simulará tumores.

- Puesto que el sistema debe generar los trastornos aleatoriamente, se selecciona una vecindad de triángulos aleatoria.

<sup>60</sup> MIGUEL A. MONTORO, y JUAN CARLOS GARCÍA PAGÁN. *Gastroenterología y Hepatología. Problemas comunes en la práctica clínica*. 2a ed. Jarpyo Editores, S.A, s/f.

- Dependiendo del nivel de cáncer que se tenga será que el sistema seleccionará cuántos modelos de tumor serán agregados en la vecindad, el nivel que cada uno de ellos tendrán y la textura que se le asignará a cada uno.



*Figura 5.5-14 Resultado de PBR.*



## Capítulo 6

# 6. SISTEMA DE NAVEGACIÓN FÍSICO

### 6.1. MATERIALES Y EQUIPO

Para que el proyecto de tesis pueda funcionar como un sistema entrenador para la detección de diferentes trastornos, se requiere que tanto el ambiente virtual como los dispositivos hápticos se apeguen lo más posible a una endoscopia real, por lo que si se utilizaran sólo los controles, el usuario no se vería inmerso y sería una experiencia de realidad virtual y no de realidad mixta como se describe en el objetivo del proyecto.

Para lograr una sensación de inmersión total, se diseñó un sistema háptico, el cual se realizó con una base blanca, un soporte para sostener la cámara, una celular con la aplicación EpoCam y una manguera transparente.

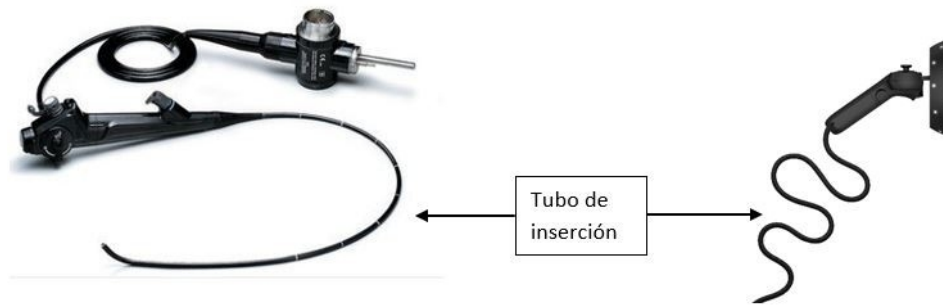


*Figura 6.1-1 Sistema de navegación físico.*

De igual manera se le hizo una extensión al control del casco Acer, con lo que será simulado el tubo de inserción del endoscopio agregándole un cable de color



negro de 1 metro de longitud.



*Figura 6.1-2 Adaptación del control de movimiento.*

En el momento que el sistema inicie el tubo de inserción deberá estar completamente fuera de la simulación de esófago para que se inicialicen los valores del conteo de pixeles. La cámara del celular realizará un conteo de pixeles blancos y un conteo de pixeles negros, donde los pixeles blancos equivalen a que el tubo de inserción está completamente fuera del modelo del esófago y conforme va entrando dentro de la manguera transparente, el número de pixeles negros se incrementará, lo que hará que la cámara del endoscopio en el entorno virtual avance dentro del modelo del esófago.

El diámetro de la manguera que está adaptada a la base es sólo un poco más grande que el cable que representa al tubo de inserción, provocando una ligera fricción entre ambos, creando una resistencia física muy ligera cuando el tubo se va introduciendo dentro de la manguera, haciendo que exista una mayor sensación de inmersión dentro del sistema.

Se decidió ocupar la cámara de un celular ya que las cámaras actuales son estables y pueden usarse como un dispositivo de entrada en Unity, el único requisito es tener instalada alguna aplicación servidor-cliente que permita utilizar la cámara del celular como si fuera una webcam. Existen diferentes aplicaciones, como Droidcam para android o EpoCam para iOS.

## Capítulo 7

# 7. ALGORITMOS, PRUEBAS Y RESULTADOS

A lo largo de este proyecto de tesis se realizaron distintas pruebas para lograr un mejor resultado, se realizaron con distintos equipos, con distintos algoritmos, distintos modelos y software diferente.

### 7.1. ALGORITMO DE ESOFAGITIS EOSINOFÍLICA

El algoritmo busca primero cuáles triángulos son atravesados por un plano transversal aleatorio, la forma en que hace esto es la siguiente:

- Recorre todo el arreglo de triángulos buscando aquél que tenga por lo menos uno de sus vértices arriba de esta coordenada en el eje “Y” y por lo menos un vértice por debajo de ella, almacenando los triángulos que cumplan esta característica en tres arreglos distintos, aquellos que tienen 2 vértices sobre el plano, en otro los que tienen 2 vértices por debajo de él y uno si alguno de sus vértices se encuentra exactamente en el plano. Para llevar acabo esto, se realizan un total de  $3n$  comparaciones, más 1 comparación por cada triángulo que sea atravesado por el plano. Por lo que se puede decir que la complejidad del algoritmo es de:

$$O(3n + C) = O(n)$$

- Una vez hecho esto se obtendrán 3 triángulos nuevos para reemplazar a cada uno de los vértices que se encuentran en la zona de división. Primero se busca el punto donde las aristas de los triángulos cruzan el plano transversal, para esto se requiere encontrar las ecuaciones continuas de la recta que pasa entre los vértices de abajo con los vértices de arriba de cada triángulo.
  - Para encontrar las ecuaciones continuas entre 2 puntos  $P(x_1, y_1, z_1)$  y  $Q(x_2, y_2, z_2)$  se necesita un punto que pase por esa recta (Se puede utilizar el punto P o el punto Q) y un vector director  $\vec{P}$  el cual se obtiene al sustraer el punto Q del punto P.

$$r = \begin{cases} Q(x_1, y_1, z_1) \\ \vec{P}(x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1) = \vec{P}(x_3, y_3, z_3) \end{cases}$$

- Y con esto se puede obtener las ecuaciones continuas de la siguiente manera:

$$\frac{x - x_1}{x_3} = \frac{y - y_1}{y_3} = \frac{z - z_1}{z_3}$$

- Se sustituye en Y el valor del plano y se puede despejar para obtener el valor de X y Z de los nuevos vértices que se necesitan para la retriangulación de la malla.
- Después de obtener ambos vértices, se agregan en el arreglo principal de vértices y se crearán 2 o 3 triángulos, dependiendo si alguno de los vértices se encuentra exactamente en la coordenada Y del corte o por debajo del mismo.

- Después de esto se tiene un corte en la malla, mediante el cual es posible dividirla en 2 partes, por lo que a todos los vértices que se encuentren sobre el corte, se les agregará un offset en el eje “Y” para tener 2 submallas con cierta separación, la cual será llenada por una tercera que se creará a partir del incremento y decremento de los nuevos vértices con respecto a su vector normal, formando de esta manera la simulación de los anillos característicos de la esofagitis eosinofílica.

Al final la complejidad del algoritmo no aumenta puesto que las operaciones realizadas, son aplicadas sólo a los triángulos que tienen contacto con el plano transversal, lo cual equivaldría a una constante por lo que el algoritmo mantiene su complejidad de  $O(n)$

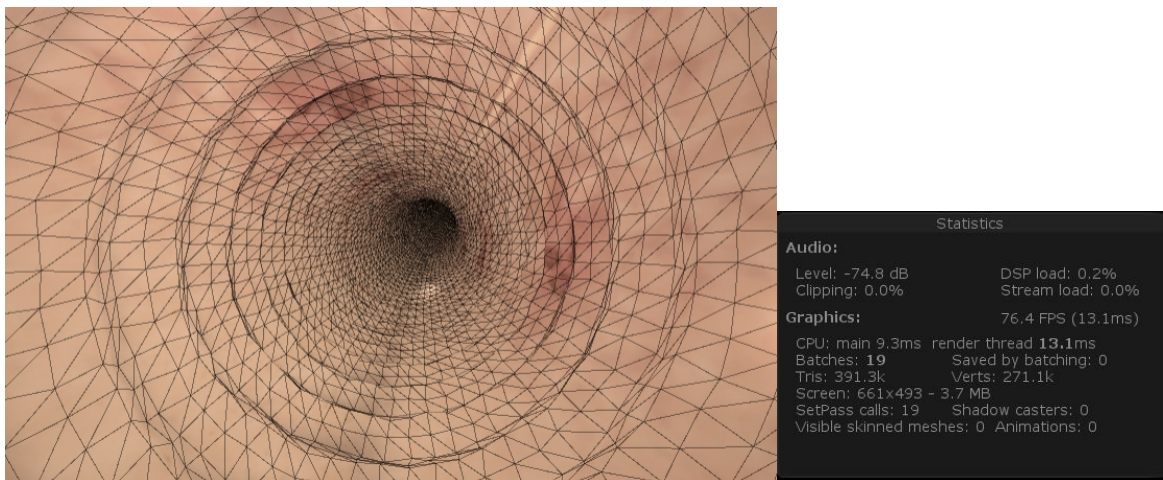


Figura 7-1. Modelo final de Esofagitis eosinofílica

## 7.2. ALGORITMO ESÓFAGO DE BARRET

Este algoritmo es un poco más sencillo que el anterior puesto que no se tiene que generar ninguna malla extra. Para lograr este trastorno se siguen los mismos pasos para dividir la malla en 2 aleatoriamente, una vez hecho se tienen 2 submallas, a las cuales se les agregarán diferentes texturas.

Al ser el mismo algoritmo su complejidad se puede definir como:

$$O(3n + C) = O(n)$$

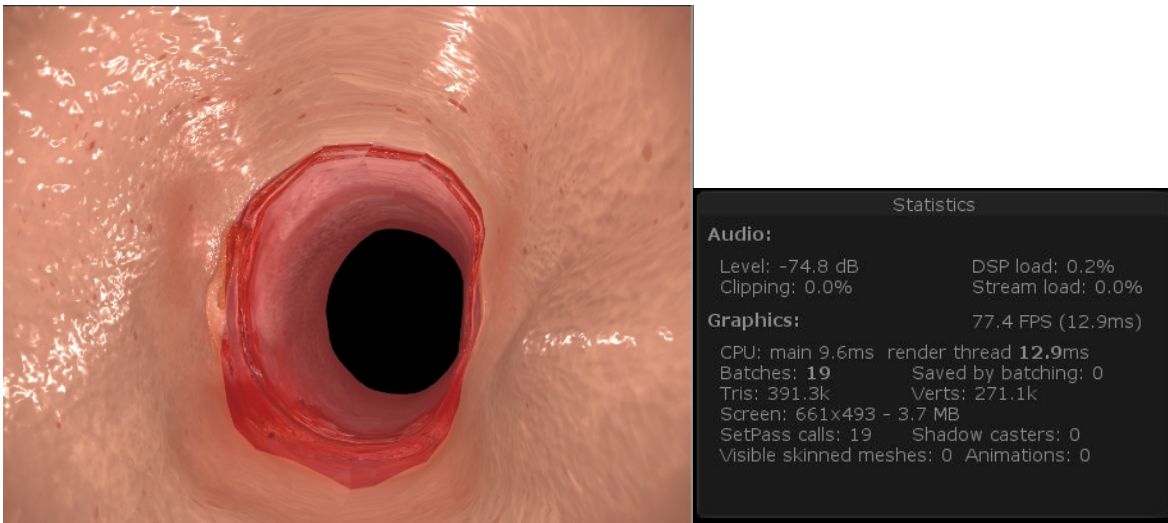


Figura 7-2: Modelo final con esófago de Barret

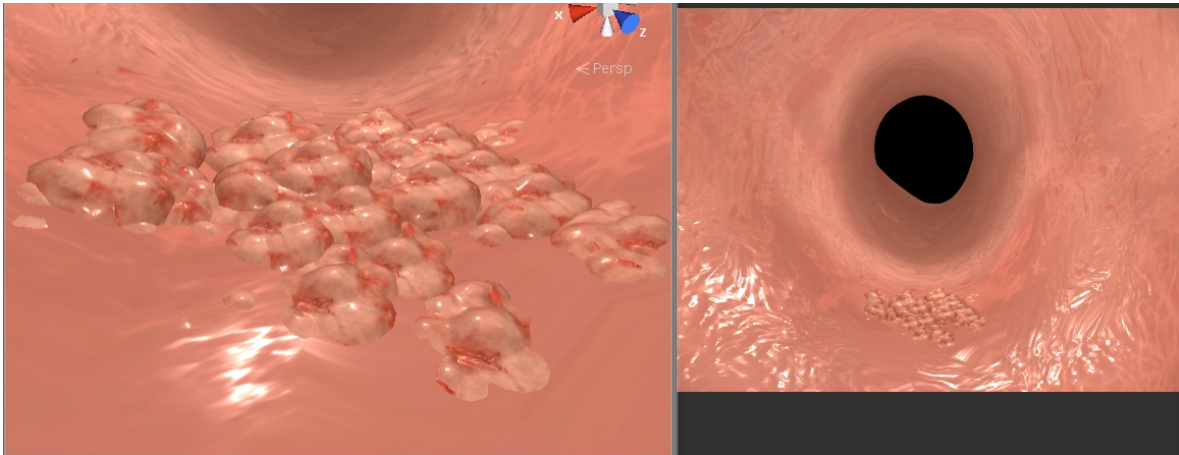
### 7.3. ALGORITMO CÁNCER DE ESÓFAGO

Para este algoritmo se tienen diferentes opciones, ya que los tumores pueden ir de un tamaño pequeño y que apenas es notorio, hasta algunos que obstruyen más del 80% del esófago. Para lograr esto, se generó un modelo en 3D, el cual, puede ser duplicado varias veces con el fin de simular los tumores de cualquier tamaño que sea necesario.

En el caso de los tumores más pequeños se elige una vecindad de triángulos (entre 20 y 40) aleatoria de la malla, y en cualquiera de los triángulos de esta vecindad se colocará el primer modelo de tumor, al ser muy pequeños y no tan visibles, el sistema coloca el modelo de forma que no sobresalga más de la mitad del modelo sobre la superficie del triángulo.

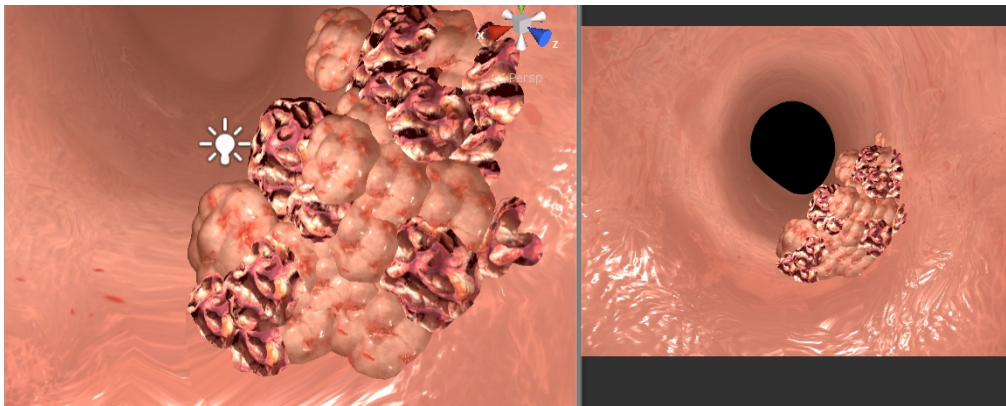
El sistema indicará aleatoriamente en qué triángulos de la vecindad se añadirá el tumor y en cuales no, con el fin de no saturar toda la vecindad pero que sea por lo menos en

el 50% de los elementos y con la condición de que los elementos colocados serán sólo de 1 nivel, es decir, no se añadirá ningún otro modelo de tumor sobre los ya añadidos.



*Figura 7.3-1 Pequeños tumores de nivel 1 en el modelo*

Si el nivel del tumor es mayor a 1, se tienen 2 opciones, la de generar tumores de mayor nivel (A los cuales es posible agregarles modelos de tumor sobre los primeros agregados en los de nivel 1), o la de generar un solo modelo de tumor de gran tamaño con otros pequeños sobre su superficie.



*Figura 7.3-2 Tumor nivel 3 en el modelo*



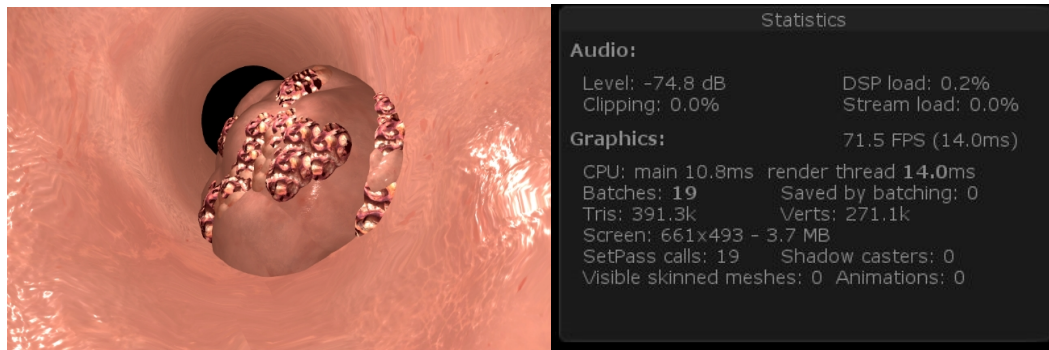


Figura 7.3-3 Tumor de nivel 4 en modelo.

Los 3 algoritmos corren en tiempo lineal por lo que, al hacer pruebas entre el modelo original contra el modelo con triangulación reducida, el tiempo de ejecución realmente no sufre un cambio significativo, por lo que se utilizó el modelo original para realizar el sistema. En los 3 casos los FPS están medidos para un ambiente de realidad virtual ocupando una cámara estereoscópica.

La siguiente tabla muestra el tiempo que tarda en iniciar el sistema que genera los trastornos.

Tabla 5 Tiempos de ejecución

Trastorno(s)	Modelo Original	Modelo Reducido
Esofagitis Eosinofílica	4.25 segundos	4.02 segundos
Esófago de Barret	3.87 segundos	3.57 segundos
Cáncer de esófago	3.67 segundos	3.45 segundos
Esofagitis Eosinofílica + Esófago de Barret	4.57 segundos	4.32 segundos
Esofagitis Eosinofílica + Cáncer de esófago	4.72 segundos	4.35 segundos
Esofagitis Eosinofílica + Cáncer de esófago + Esófago de Barret	4.98 segundos	4.68 segundos

Esófago de Barret + Cáncer de esófago	4.48 segundos	4.18 segundos
--	---------------	---------------

Para capturar la imagen del sistema físico y enviarle la información al ambiente virtual se probaron 2 sistemas, EpoCam para iOS y DroidCam para Android, que permiten al usuario utilizar su teléfono inteligente como si fuera una webcam. Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

*Tabla 6 Comparación de aplicaciones*

	EpoCAM	DroidCam
Conexión por Wi Fi	Retraso de 2 segundos	Retraso de 3 segundos
Conexión USB	Retraso de 0.20 segundos	Retraso de 0.25 segundos

Como se puede observar, ambas aplicaciones son similares y en cuestión de tiempos EpoCam lleva una pequeña ventaja sobre Droidcam. Durante los experimentos se detectó cierta inestabilidad en Droidcam, ya que incluso conectada por medio del cable USB se manifestaba una latencia de 3 a 4 segundos, lo que hacía que el sistema tuviera un retraso muy visible al ingresar y retirar el tubo de inserción. Por tal motivo se decidió utilizar EpoCam con un iPhone 8, aunque el sistema es compatible con ambos, la aplicación para iOS tuvo mayor estabilidad.



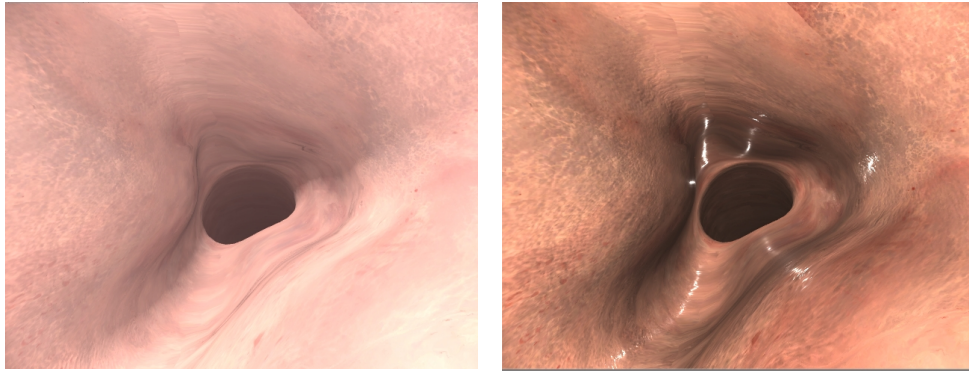
## CONCLUSIONES

Al final se obtuvo un sistema capaz de crear un nuevo modelo del esófago automáticamente con las 3 distintas patologías que se propusieron en un inicio el cual logra alcanzar una velocidad de 70 fps en su modo de realidad mixta, una velocidad bastante aceptable que permite que el usuario se sienta inmerso dentro del ambiente virtual. El sistema puede alcanzar una frecuencia de hasta 140 fps si se utilizara un modo sin realidad mixta, el cual de igual manera podría ser útil.

En cuanto a la modificación del modelo inicial fue posible evitar usar algoritmos cuadráticos, puesto que para generar los trastornos sólo es necesario recorrer una vez todos los triángulos para saber cuáles de estos serán la nueva muestra sobre los que se trabajará y los que serán modificados. A pesar de trabajar con miles de vértices y de triángulos, el tiempo de ejecución es relativamente corto gracias a las nuevas y rápidas velocidades que hoy en día permiten hacer millones de instrucciones por segundo.

En cuanto al sistema háptico se demuestra que no es necesario el invertir demasiado para poder generar uno, puesto que con un dispositivo móvil (Que hoy en día la mayoría de la población tiene uno), una manguera, un cable y las diferentes técnicas de procesamiento de imágenes es posible crearlo.

Una parte que se debe de tomar muy en cuenta en el desarrollo de un sistema virtual es la iluminación, ya que si se requiere que el usuario se vea completamente inmerso, se debe de utilizar la iluminación adecuada, que no haga que el sistema parezca virtual, hoy en día las técnicas de iluminación son herramientas que potencializan y facilitan el desarrollo, pues en algunos casos (Como en los archivos PBR) no es necesario modificar las mallas de los modelos, simplemente con crear los archivos de una manera correcta, pueden visualizarse de la manera que el desarrollador quiere transmitir a los usuarios.



Comparación entre un sistema sin set de iluminación y uno con set.

La innovación de este sistema es la implementación de la realidad mixta en un sistema de navegación virtual, así como la introducción de un modelo de esófago más detallado, los algoritmos que generan en tiempo real los diferentes padecimientos que el esófago puede tener y el sistema háptico que permite una sensación de inmersión mayor.

Aunque es un sistema de navegación virtual para endoscopía, como ENDONAV, no se puede considerar como reemplazo puesto que ambos proyectos tienen diferentes finalidades, podría considerarse como un complemento a este, pues la finalidad de ENDONAV es el del entrenamiento para la técnica de endoscopía, mientras que mi proyecto de tesis se enfoca más al entrenamiento de la detección de los diferentes trastornos generados.

Este sistema aún tiene detalles por mejorar, los cuales son metas para el futuro de este sistema como lo son:

- Integrar la modificación en tiempo real de la malla para generar los movimientos peristálticos.
- Realizar la validación médica para poder conocer la funcionalidad y los límites reales del sistema.
- Integración de una mayor variedad de patologías.
- Integración de nuevos modelos de distintos órganos para poder realizar endoscopías en diferentes partes del cuerpo humano.

El sistema se limita a la endoscopía del esófago y a sólo 3 trastornos, pero existen muchos otros diferentes, los cuales no dejan de tener la suficiente importancia, pero pueden llegar a ser menos frecuentes.

Conforme el tiempo pasa, la evolución de la tecnología permite hacer realidad actividades que en otros tiempos parecían imposibles. El desarrollo de sistemas virtuales es un área que se debe explotar en todos los sentidos puesto que permite al usuario desarrollar y perfeccionar capacidades con menores riesgos y costos.

Sobre todo, en el área de la medicina, donde los médicos que tienen que estar completamente preparados y especializados, algunas veces no se pueden dar el lujo de practicar y experimentar con los pacientes, por lo que los ambientes de realidad mixta se vuelven una oportunidad única que debe ser aprovechada, pues un sistema que permita al usuario sentirse completamente inmerso dentro del mundo virtual, puede ser una excelente herramienta de entrenamiento.

Existen demasiadas áreas dentro de la medicina que se dividen en muchas otras, tal es el caso de la endoscopía, existen muchos tipos de endoscopías y muchos trastornos y enfermedades que ocurren en diferentes partes del cuerpo humano, por lo que es una tarea muy complicada, más no imposible, generar un sistema con el que puedas hacer una endoscopía por cualquier parte del cuerpo, generando las enfermedades aleatoriamente.

---

---

# BIBLIOGRAFÍA

Gastélum Strozzi, Alfonso. “Construcción de un modelo del sistema gastrointestinal alto para simulaciones de endoscopia”. UNAM, Tesis de maestría en Física Médica, Posgrado de Física, dirigida por Dr. Jorge Alberto Márquez Flores, Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, 2005.

Mata Castro, Lucely Itzel. “Sistema de navegación virtual para entrenamiento gastroendoscópico superior”. UNAM, dirigida por Dr. Jorge Alberto Márquez Flores, Facultad de Ingeniería, 2010.

Gastelum Alfonso, Mata Lucely, Brito-de-la-Fuente Edmundo, Delmas Patrice, Vicente William, Salinas-Vázquez Martín, Ascanio Gabriel, Márquez Jorge. “Building a three-dimensional model of the upper gastrointestinal tract for computer simulations of swallowing”, s/f. <http://dx.doi.org/10.1007/s11517-015-1338-z>.

«BSG Guidelines for the Management of Oesophageal and Gastric Cancer». Accedido 19 de noviembre de 2019. <https://www.bsg.org.uk/resource/bsg-guidelines-for-the-management-of-oesophageal-and-gastric-cancer.html>.

Cossío, Sergio Sobrino. «Cáncer de esófago». *Rev Gastroenterol Mex* 75 (2010): 9. Ferlay, Jacques, Isabelle Soerjomataram, Rajesh Dikshit, Sultan Eser, Colin Mathers, Marise Rebelo, Donald Maxwell Parkin, David Forman, y Freddie Bray. «Cancer Incidence and Mortality Worldwide: Sources, Methods and Major Patterns in GLOBOCAN 2012». *International Journal of Cancer* 136, n.o 5 (2015): E359-86. <https://doi.org/10.1002/ijc.29210>.

Fitzgerald, Rebecca C., Massimiliano di Pietro, Krish Rangunath, Yeng Ang, Jin-Yong Kang, Peter Watson, Nigel Trudgill, et al. «British Society of Gastroenterology Guidelines on the Diagnosis and Management of Barrett’s Oesophagus». *Gut* 63, n.o 1 (1 de enero de 2014): 7-42. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2013-305372>. Harrison, M, J E Allen, V S Gorrepati, J M E López-Jamar, y P Sharma. «Management of Barrett’s Esophagus with Low-Grade Dysplasia». *Diseases of the Esophagus* 31, n.o 4 (1 de abril de 2018). <https://doi.org/10.1093/dote/doy004>.

Khalil, Musab, Rezaul Islam Patwary, Rubel Miah, Mahfuza Akhter Shapla, Faruque Ahmed, Ashraful Islam, y Mohammad Iqbal Hossain. «Eosinophilic Esophagitis: An Increasingly Recognized Disease in Recent Era», s. f., 4.

---

---

Kuipers, Ernst J. «Barrett Esophagus and Life Expectancy: Implications for Screening?» *Gastroenterology & Hepatology* 7, n.o 10 (octubre de 2011): 689-91.

López-Colombo, A. «Esofagitis eosinofílica». *Revista de Gastroenterología de México* 77 (agosto de 2012): 1-3. <https://doi.org/10.1016/j.rgmx.2012.07.002>.

Martínez, Quetzalihuítl Arroyo, Manuel Rodríguez Téllez, Antonio García Escudero, Javier Brugal Medina, y Ricardo González Cámpora. «Epidemiología del esófago de Barrett y adenocarcinoma esofágico en España. Estudio unicéntrico». *Rev Esp Enferm Dig* 108 (2016): 9.

Thoguluva Chandrasekar, V., P. Vennalaganti, y P. Sharma. «Manejo del esófago de Barrett: del tamizaje a los nuevos tratamientos». *Revista de Gastroenterología de México* 81, n.o 2 (1 de abril de 2016): 91-102. <https://doi.org/10.1016/j.rgmx.2015.07.007>.

Valdovinos-Andraca, F., A. R. Bernal-Méndez, R. Barreto-Zúñiga, D. Briseño-García, J. A. Martínez-Lozano, A. F. Romano-Munive, J. Elizondo-Rivera, y F. I. Téllez-Ávila. «Esófago de Barrett: experiencia de 10 años en un centro de tercer nivel en México». *Revista de Gastroenterología de México* 83, n.o 1 (1 de enero de 2018): 25-30. <https://doi.org/10.1016/j.rgmx.2017.03.007>.

Vinit, C., A. Dieme, S. Courbage, C. Dehaine, C. M. Dufeu, S. Jacquemot, M. Lajus, et al. «Eosinophilic Esophagitis: Pathophysiology, Diagnosis, and Management». *Archives de Pédiatrie* 26, n.o 3 (1 de abril de 2019): 182-90. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2019.02.005>.

Wanchai, Visanu, Jing Jin, Emine Bircan, Charis Eng, y Mohammed Orloff. «Genome-Wide Tracts of Homozygosity and Exome Analyses Reveal Repetitive Elements with Barrets Esophagus/Esophageal Adenocarcinoma Risk». *BMC Bioinformatics* 20, n.o S2 (marzo de 2019): 98. <https://doi.org/10.1186/s12859-019-2622-y>.

Verger-Kuhnke AB, Reuter MA, Beccaria ML., La biografía de Philipp Bozzini (1773-1809) un idealista 2007. <http://scielo.isciii.es/pdf/aue/v31n5/v31n5a02.pdf>.

Jose Luis Vázquez-Iglesias (†). *Endoscopia Digestiva Diagnóstica y terapéutica. Panamericana*, 2008.

Camran Nezhat. *Nezhat's History of Endoscopy: A Historical Analysis of Endoscopy's Ascension Since 2011*.

Bozzini, P.: Lichleiter, eine Erfindung zur Anschauung innerer Theile und Krankheiten nebst der Abbildung, in Hufeland, C. W., Ed.: Journal der practischen Arzneykunde und Wundarzneykunst, (Berlin) 24: 107-124 (1806).

American Society of Clinical Oncology. Tipos de Endoscopia, s/f. <https://www.cancer.net/es/desplazarse-por-atenci%C3%B3n-del-c%C3%A1ncer/diagn%C3%B3stico-de-c%C3%A1ncer/pruebas-y-procedimientos/tipos-de-endoscopia>

B. Cotton, Peter & B. Williams, Christopher. Practical Gastrointestinal Endoscopy The Fundamentals. 5a ed. Blackwell Publishing Ltd, 2003.

Sombat Treeprasertsuk, M.D., Linda Pantongrag-Brown, M.D., y Rungsun Rerknimitr, M.D. Atlas of Gastrointestinal Endoscopy. 5a ed. Sangsue Co., 2012.

DOLZ ABADÍA, CARLOS / BROTONS GARCÍA, ÁLVARO. Programa De Formación En Endoscopia Digestiva Básica. 1a ed. ERGON. C/ Arboleda, 2019.

Soto-Solis, Rodrigo & Anda, K. & González-Uribe, N. & Gallegos, Carol & Romo-Aguirre, C. & Remes-Troche, Jose & Ballesteros-Amozurrutia, M.A.. (2016). Cómo mejorar el diagnóstico de esofagitis eosinofílica: experiencia de una serie de casos en México. Revista de Gastroenterología de México. 82. 10.1016/j.rgmx.2016.07.002.

Varela Lema L, Puñal Riobóo J, Ruano Raviña A. Utilidad clínica de la cápsula endoscópica en el sangrado gastrointestinal de origen de origen oscuro. Madrid: Ministerio de Sanidad y Consumo. Avalia-t N° 2006/02