



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
HOSPITAL REGIONAL 1° DE OCTUBRE
ISSSTE**

**SIMULADOR VIRTUAL PARA LARINGOSCOPIA
EN HOSPITAL REGIONAL 1° DE OCTUBRE ISSSTE
NÚMERO DE REGISTRO 288.2012**

TESIS DE POSGRADO

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO ESPECIALISTA EN
ANESTESIOLOGÍA**

PRESENTA

DR. EDUARDO ZALDÍVAR ESQUIVEL

DIRECTOR

DR. BERNARDO SOTO RIVERA

COASESOR

DRA. CELINA TRUJILLO ESTEVES

MÉXICO, D. F., JULIO DE 2012



ISSSTE



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

LIBERACIÓN DE TESIS

Título: Simulador virtual para laringoscopia en Hospital Regional 1° de Octubre ISSSTE.

Alumno: Dr. Eduardo Zaldívar Esquivel

Director: Dr. Bernardo Soto Rivera

Coasesor: Dra. Celina Trujillo Esteves

La tesis presentada es liberada

DR. JOSÉ RICARDO JUÁREZ OCAÑA
COORDINADOR DE CAPACITACIÓN, DESARROLLO E INVESTIGACIÓN
HOSPITAL REGIONAL 1° DE OCTUBRE, ISSSTE

M. EN C. JOSÉ VICENTE ROSAS BARRIENTOS
JEFE DE INVESTIGACIÓN
HOSPITAL REGIONAL 1° DE OCTUBRE, ISSSTE

DR. BERNARDO SOTO RIVERA
JEFE DEL SERVICIO DE ANESTESIOLOGÍA Y CUIDADOS PALIATIVOS
PROFESOR TITULAR DEL CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN
ANESTESIOLOGÍA
HOSPITAL REGIONAL 1° DE OCTUBRE, ISSSTE

DRA. CELINA TRUJILLO ESTEVES
MÉDICO ADSCRITO SERVICIO ANESTESIOLOGÍA
PROFESORA ADJUNTA DEL CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN
ANESTESIOLOGÍA
HOSPITAL REGIONAL 1° DE OCTUBRE, ISSSTE

AGRADECIMIENTOS

A mi querido **Hospital Regional 1° de Octubre del ISSSTE**, por ser mi segunda casa.

Al **Dr. Bernardo Soto Rivera**, por concederme el honor de ser mi director de tesis.

A la **Dra. Celina Trujillo Esteves**, por concederme la gracia de ser mi coasesora y principal motor impulsor para terminar este trabajo.

A **mis maestros**, Dra. González, Dra. Nivón, Dra. Gutiérrez, Dra. Contreras, Dra. Poblano, Dra. Aguilar, Dra. Pliego, Dra. Licona, Dra. Esquivel, Dra. Chimal, Dra. Hernández, Dra. Martínez R., Dra. Martínez A., Dr. Torrescano, Dr. Zaldívar, Dr. Cuevas, Dr. Segura, Dr. Valdez, Dr. Castañeda, Dr. González, Dr. Castillo, Dr. García, Dr. Resendiz, Dr. Rendón, Dr. Morales, por todo lo que han compartido conmigo.

A mi padre, **M.I. Orlando Zaldívar Zamorategui** por ser el gran ejemplo de mi vida, en todos los planos personal, social, profesional y sobre todo familiar.

A mi madre, **M.E. Leticia Esquivel Granados** por demostrarme que siempre hay que darlo todo en la vida incondicionalmente a las personas que amamos.

A mi hermano, **Ing. Orlando Zaldívar Esquivel**, gracias por tu apoyo y cariño.

A mis sobrinos, **Lety, Iván y Karina**, por su cariño e inocencia.

A mi abuelo, **C. Alberto Esquivel Arellano** por ser el cimiento de mi familia, por su apoyo y confianza.

A mi abuela, **Enf. Adela Granados Gardida** por todo su cariño que trascendió la vida terrenal.

A mi abuelo **Mtro. Bonifacio Zaldívar Fernández**, por ser un ejemplo de virtud y grandeza.

A mi abuela **C. Amalia Zamorategui Juárez**, por demostrarme que la familia es donde reside lo valioso de la vida.

A mis tíos **Esmeralda Alvarado y Alberto Esquivel**, por sus consejos.

A mis padrinos **Martha Esquivel y Julio Gallardo**, por estar siempre pendiente de mí

A mis tíos **María de la Luz Trejo y Oscar Esquivel**, por ser un ejemplo de dedicación y apasionamiento por su trabajo.

A mis tíos **María del Rocío Rojas y Enrique Esquivel**, por mostrarme que el esfuerzo día a día es lo que nos permite estar satisfechos con la vida.

A mis **compañeros, amigos residentes**, por todo su apoyo, en especial a Gina, Alma, Norma, mis adoradas residentes de 2° año.

A **Andrés Ortega Nájera**, por todo lo que me ha apoyado dentro y fuera del hospital.

A **Rubén Maldonado padre e hijo y Sra. Betty Alvarado**, por estar conmigo durante mi residencia.

A todos lo que me han acompañado y aquí no menciono saben que los llevo en mi corazón.

A **Dios**, por permitirme conocer la **Fe**.

Dr. Eduardo Zaldívar Esquivel

ÍNDICE

Contenido	Pág.
LIBERACIÓN DE TESIS	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE	iv
RESUMEN	vi
SUMMARY	vii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO	5
1.1 Introducción	6
1.2 Antecedentes científicos	6
1.2.1 Marco teórico operacional	6
1.2.2 Marco teórico conceptual	8
1.2.3 Método	10
CAPÍTULO 2. PRESENTACIÓN DEL SIMULADOR VIRTUAL PARA LARINGOSCOPIA	14
2.1 Introducción	15
2.2 Justificación	15
2.3 Descripción	16
2.4 Producto obtenido	16
2.5 Características computacionales del sistema virtual	17
2.5.1 Metodología de trabajo	17
2.5.2 Desarrollo y construcción	19
2.6 Características funcionales	21

Contenido	Pág.
2.7 Arquitectura del sistema	30
CAPÍTULO 3. SIMULADOR VIRTUAL PARA LARINGOSCOPIA	33
3.1 Objetivo general que se persigue con el uso del simulador	34
3.2 Objetivos específicos	34
3.3 Criterios de éxito y fracaso en la IET	34
3.4 Análisis estadístico de los datos	35
3.5 Actividades	38
3.5.1 Entrenamiento con el Simulador Virtual para Laringoscopia	39
3.5.2 Toma de datos	39
3.5.3 Resultados obtenidos durante el periodo de entrenamiento con el simulador	40
3.5.4 Realización de la IET en pacientes reales	45
3.5.4.1 Toma de datos	45
CAPÍTULO 4. RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	46
4.1 Resultados obtenidos con pacientes reales	47
4.1.1 Análisis estadístico de los resultados	49
4.1.2 Interpretación de los resultados	51
4.2 Discusión	53
4.3 Conclusiones	55
BIBLIOGRAFÍA	57

RESUMEN

El anestesiólogo debe mantener un intercambio gaseoso adecuado, al permeabilizar la vía aérea superior, mediante intubación endotraqueal (IET) exitosa. Enseñar la IET es primordial en el adiestramiento del anestesiólogo. El uso de modelos virtuales promueve el aprendizaje de esta destreza psicomotora, reconoce estructuras, implementa protocolos y practica las habilidades en un ambiente controlado antes de realizar el procedimiento en pacientes reales.

Objetivo: Demostrar que los usuarios del simulador virtual para laringoscopia optimizan su aprendizaje en la obtención de la IET exitosa con pacientes reales, comparado con los que carezcan de este proceso.

Material y métodos: Se desarrolló un simulador que promueve el aprendizaje. Participaron 4 médicos residentes del 1er. año de anestesiología, divididos en: Grupo A practicó en el simulador, Grupo B entrenamiento convencional. Se definieron criterios para IET exitosa como visualización de la cánula endotraqueal del paciente virtual, con tiempo \leq a 45 segundos.

Resultados: Se analizaron resultados mediante la técnica Curva de Suma Acumulada (CUSUM) que permite controlar la calidad del servicio y demostrar la validez del proceso de aprendizaje. Se evaluó a cada participante la realización de IET exitosa, construyéndose su gráfica CUSUM, interpretando que los participantes con entrenamiento en el simulador, tienen tasa de IET exitosa \geq que 95%, no así en los otros participantes.

Conclusiones: Médicos con entrenamiento en el simulador al realizar la IET en un paciente real tuvieron mayor éxito que los participantes con entrenamiento convencional. Por tanto, el simulador optimiza su proceso de aprendizaje.

Palabras clave: simulador virtual, laringoscopia, aprendizaje, CUSUM.

SUMMARY

The anesthesiologist must maintain adequate gas exchange, to permeate the upper airway by endotracheal intubation (ETI) success. Teach the ETI is paramount in the training of the anesthesiologist. The use of virtual models promotes the learning of this skill psychomotor recognizes structures, implemented protocols and practice skills in a controlled environment before performing the procedure in real patients.

Objective: To demonstrate that virtual simulator users to optimize their learning laryngoscopy in obtaining successful ETI with real patients, compared with those without this process.

Material and methods: We developed a simulator that promotes learning. 4 medical residents participated in the 1st. year of anesthesiology, and assigned to Group A practiced in the simulator, Group B conventional training. Were defined as criteria for successful ETI display virtual patient's endotracheal tube, with time \leq 45 seconds.

Results: Results were analyzed using the technique Curve Cumulative Sum (CUSUM) that monitors the quality of service and demonstrate the validity of the learning process. Each participant was evaluated conducting successful ETI, building its CUSUM chart, interpreting that participants with training on the simulator, have successful ETI rate to \geq 95%, but not in the other participants.

Conclusions: Physicians trained in the simulator to perform ETI in a real patient were more successful than conventional training participants. Therefore, the simulator optimizes its learning process.

Keywords: virtual simulator, laryngoscopy, learning, CUSUM.

INTRODUCCIÓN

El enfoque científico del problema, constituye un punto trascendente, ya que a través del mismo se cubren todas las etapas del método científico, con el fin de darle solidez a la propuesta que se presenta.

En el ámbito de la medicina, la formalidad que ofrece el método científico resulta de enorme importancia, ya que por tratarse de un sistema crítico, donde la vida de las personas está en riesgo, no se puede dejar ninguna variable que desestabilice el sistema.

A continuación se presenta la información, considerando que para la realización del trabajo de tesis se desarrollan aspectos importantes que giran en torno al problema planteado.

1. Definición del problema

El nuevo modelo de enseñanza clínica de la anestesiología se lleva a cabo considerando el paradigma de aprendizaje basado en la resolución de problemas, mediante el cual se promueve aprender habilidades y destrezas, tanto cognitivas como psicomotoras, aplicando nuevas estrategias de aprendizaje, las cuales giran en torno al uso programado de simuladores basados en tecnologías de realidad virtual, como el que se presenta en esta propuesta.

2. Antecedentes

Una de las responsabilidades fundamentales del anestesiólogo consiste en mantener un adecuado intercambio gaseoso, al lograr permeabilizar la vía aérea superior, mediante una intubación endotraqueal exitosa. La enseñanza de tal destreza clínica toma un papel primordial en el adiestramiento no sólo del médico anestesiólogo, sino de todo el personal médico que requiera manipular la vía aérea. Para adquirir dicha destreza, el modelo de aprendizaje tradicional de tipo experimental “aprender haciendo”, donde el médico en formación pone en práctica el conocimiento teórico en un paciente en la vida real, o en un maniquí en el mejor de los casos, sometiendo al médico en adiestramiento a estrés, presión y al paciente a un riesgo potencial de lesiones propias del aprendizaje de una habilidad psicomotora tan compleja como lo es la intubación endotraqueal. Teniendo en cuenta lo anterior, el uso de modelos de realidad virtual promueve el aprendizaje de una destreza psicomotora, ya que permite al estudiante reconocer estructuras, implementar protocolos y practicar las habilidades en un ambiente

controlado, seguro y que conduce al logro máximo de aptitudes antes de realizar el procedimiento en un paciente real.

3. Justificación

La enseñanza de intubación endotraqueal mediante un simulador de realidad virtual promueve un aprendizaje significativo de dicha destreza clínica en un ambiente seguro, que permite estructurar el conocimiento y practicar la habilidad hasta lograr un dominio previo antes de realizar la intubación endotraqueal en un paciente real.

4. Hipótesis

El uso del simulador de realidad virtual para la enseñanza de la intubación endotraqueal permite al médico anestesiólogo desarrollar la destreza clínica de intubación endotraqueal con los residentes en formación.

5. Objetivo general

Demostrar que aquellos médicos que usen el simulador virtual de intubación endotraqueal optimizan el proceso de aprendizaje, motivo por el cual estarán capacitados para obtener una tasa mayor de intubación exitosa con pacientes reales, que aquellos que carezcan de este proceso de aprendizaje, aumentando en consecuencia la calidad y seguridad en la atención del paciente. No siempre es posible ni recomendable el manejo de situaciones reales para la comprensión conceptual y la práctica de los procedimientos en el campo de la medicina. Los procesos basados en simulación permiten al alumno experimentar en situaciones virtuales problemas reales, sin la necesidad de correr riesgos innecesarios. Así, el alumno practica, aprende, prueba e innova en beneficio directo de su formación integral. El entrenamiento basado en el uso del simulador permite garantizar un aprendizaje exitoso.

Hago énfasis en el hecho de que, para la creación de la solución, se hizo con un enfoque multidisciplinario, donde se conjugó la participación de la medicina con la ingeniería en computación, para la generación de una opción válida para resolver el problema. Con esta premisa, se realizó todo un plan de trabajo, donde se tuvo desde un principio la visión para el logro de los objetivos del proyecto.

La factibilidad del proyecto se cumplió en su totalidad, considerando aspectos tales como la factibilidad técnica, donde se involucraron los conocimientos médicos, así como aquellos relacionados con el diseño ingenieril vinculados con la multimedia y la realidad virtual. En lo que respecta a la factibilidad de programa, ésta fue considerada desde el inicio hasta el final del proyecto, basada en la planeación de las actividades, estableciendo una serie de fases con objetivos precisos y medibles. La factibilidad operacional se satisfizo mediante un diseño apropiado, fácil de utilizar por el personal médico y, sobre todo, lo más cercano a la realidad. La factibilidad legal se cubrió desde el punto de vista ingenieril al usar software y hardware, estimando todos los aspectos apegados al derecho para no caer en irregularidades. La factibilidad económica también se valoró sin mayor contratiempo.

Este trabajo de investigación incluye los capítulos que a continuación se especifican.

En el **Capítulo 1. Marco teórico**, se presentan los fundamentos desde el punto de vista de las ciencias médicas, relacionados con el problema a tratar.

Para explicar los aspectos desde el punto de vista de la ingeniería en computación, en el **Capítulo 2. Presentación del Simulador Virtual para Laringoscopia**, se tocan temas que dejan en claro cuál fue el enfoque de análisis, diseño y construcción del sistema, con el fin de tener una idea clara acerca del proceso establecido para la elaboración del sistema.

En el **Capítulo 3. Simulador Virtual para Laringoscopia**, se explica el procedimiento seguido para la aplicación del modelo virtual en la enseñanza con la participación de los médicos residentes. Para esto, se implementó todo un protocolo, el cual fue aplicado, después de una capacitación exhaustiva.

Posteriormente, en el **Capítulo 4. Resultados, discusión y conclusiones**, se presenta el cumplimiento de los objetivos expresados al inicio del proyecto, así como una discusión para justificar la importancia del mismo y sus resultados. Finalmente, aparecen las conclusiones producto de este trabajo de investigación.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Introducción

La práctica de la medicina moderna requiere el cumplimiento de una serie de factores que le permitan satisfacer las necesidades de las personas. Para lograrlo, es preciso que los médicos tengan una formación óptima, que garantice la excelencia en su vida profesional. El modelo propuesto de enseñanza clínica de la anestesiología para el logro de aprendizajes significativos, está sustentado en el uso programado de un sistema de cómputo, basado en la aplicación de simuladores que utilizan tecnologías de realidad virtual.

1.2 Antecedentes científicos

1.2.1 Marco teórico operacional

Aunque la medicina es un universo en el que caben perfectamente distintos enfoques, la visión arquetípica del médico lo identifica como un clínico, es decir, como un profesional que atiende pacientes. La clínica se puede conceptualizar como la parte práctica de la medicina, una integración del conocimiento médico, como la aplicación del conocimiento médico a la solución de los problemas del paciente, y hasta como la expresión sumaria del saber médico. Puede verse tan sólo como un cuerpo de conocimientos o como la habilidad para atender a los pacientes, la actitud o disposición para ayudarlos auténticamente, y como una competencia o conjunto de competencias.¹

La enseñanza de la clínica ha atravesado por varias etapas: una artesanal, en la que el aprendiz se convierte en “ayudante” del maestro, trata de imitar su arte y el aprendizaje se logra de manera poco sistemática y con base en el modelo de un solo maestro. En una segunda etapa, que se puede llamar aforísmica, se conforma un cierto cuerpo de conocimientos, todavía no sistemático ni organizado, con base en “perlas” de sabiduría, consejos y recomendaciones, frecuentemente expresados como aforismos, algunos famosos, muchos de ellos vigentes, pero no rara vez contradictorios. En seguida viene una etapa de sistematización de la clínica, en la que se conforma un cuerpo de conocimientos y como estrategia; se crea lo que hoy se llama “propedéutica”, con sus reglas y secuencias, y aparece la historia clínica. Los programas exitosos de enseñanza de la clínica suelen tener las siguientes características:

1. Se sustentan en el precepto de “aprender haciendo” es decir que durante la formación (y frecuentemente desde su inicio) el alumno desarrolla actividades que forman parte del quehacer profesional de los egresados.

2. Motivación por responsabilidad, lo que significa que en la medida en que al alumno se le asignen responsabilidades, obviamente en proporción a su grado de avance en el conocimiento, tendrá las mejores motivaciones para aprender.
3. Supervisión y asesoría, constituyen aspectos relacionados directamente con la docencia. El que el profesor vigile lo que el alumno hace, que le corrija sus defectos, le reafirme en sus aciertos y le retroinforme de sus avances, es probablemente la función docente más importante.²
4. El papel de los modelos y ejemplos es insustituible; por ello, la elección de los campos clínicos tiene como principal criterio la calidad de la atención médica, pues sólo en esas circunstancias se puede hacer educación médica de calidad. El alumno tiene que identificar modelos de lo que él mismo quisiera ser en el futuro.
5. Es importante que durante su proceso de formación, el alumno adquiera experiencias significativas; habría que decir que no basta la experiencia sino que ésta debe tener significado en la vida del sujeto que aprende. Se ha dicho que el corazón de todos los aprendizajes está en la forma de procesar la experiencia, especialmente en la reflexión crítica de tal experiencia. Son experiencias significativas las que se someten a reflexión y análisis, a discusión y confrontación, a profundización teórica, a cuestionamiento y búsqueda.³

El papel del paciente siempre ha sido fundamental en la enseñanza de la clínica.⁴ Para ello, en ciertas escuelas y hospitales se han desarrollado áreas específicas para que el alumno adquiera habilidades y destrezas clínicas básicas sin riesgo para los pacientes, en las que se cuenta con modelos, maniqués, simuladores electrónicos, módulos para encuentros con pacientes estandarizados, cámaras de video, micrófonos y otros recursos. Estas áreas se denominan “Laboratorio de habilidades clínicas” (CSL de las siglas en inglés de Clinical Skills Laboratory)⁵ y suelen utilizarse también para evaluar el aprendizaje de tales destrezas. Los desafíos que la enseñanza de la clínica impone hoy en día tienen que ver tanto con nuevos contenidos como con técnicas y métodos pedagógicos.⁶

1.2.2 Marco teórico conceptual

Intubación Endotraqueal (IET)

La responsabilidad primordial del anestesiólogo es proporcionar una respiración adecuada al paciente. El elemento vital de una respiración funcional es la vía respiratoria. Ningún procedimiento anestésico es seguro a menos que se realicen esfuerzos activos dedicados a mantener intactas las vías respiratorias funcionales.⁷

La IET es la aplicación de una cánula en el interior de la tráquea a través de la laringe, ya sea por boca o por nariz. No obstante de que, previamente al Dr. Chevalier Jackson, ya se había intentado el abordamiento de la vía aérea por otros médicos, este autor sentó las bases científicas de la laringoscopia directa y la IET; para 1913, Jackson describió el uso de un laringoscopio para facilitar la colocación de un tubo endotraqueal para administrar anestésicos inhalatorios y oxígeno.

El conocimiento del equipo utilizado para la intubación es esencial para el anestesiólogo; una elección incorrecta hace que se efectúe o no una adecuada visualización de la laringe. El interés y la preocupación por la asistencia de las vías respiratorias han sido siempre aspectos fundamentales del ejercicio de la anestesiología; cerca del 33% de las demandas legales por mala práctica se relacionan por complicaciones de la manipulación de las vías respiratorias y un 85% de estas complicaciones consisten en cierto grado de lesión cerebral hipóxica o en muerte directa.

El equipo para intubación para la práctica clínica se divide en equipo sistémico y equipo especial.

El equipo mínimo sistémico consta de un laringoscopio, tubos endotraqueales, cánulas bucofaríngeas, conectores, adaptadores, conductores, mascarillas, tela adhesiva, sondas de aspiración, jeringa para insuflar globo de sonda, lubricante, anestésicos locales y pinzas de Magill.⁸

La IET oral es el método de intubación habitual en el quirófano. La secuencia habitual en los adultos consiste en la administración de un anestésico de acción rápida por vía intravenosa, asegurar la ventilación con mascarilla y administrar un relajante muscular para facilitar la laringoscopia. A menos que exista una contraindicación, la cabeza debe mantenerse en la clásica posición de olfateo para alinear los ejes oral, faríngeo y laríngeo. El laringoscopio se sostiene con la mano izquierda, mientras con los dedos de la mano derecha se abre la boca con

suavidad. El anestesiólogo debe ponerse guantes, ya que es muy probable que los dedos entren en la boca del paciente. La pala del laringoscopio se introduce de forma suave por la comisura derecha de la boca para evitar dañar los incisivos superiores y facilitar que la pestaña de la pala desplace la lengua hacia la izquierda. Hay que evitar la presión sobre los dientes, las encías o los labios.

Después de visualizar la glotis, se coloca la punta de la pala curva (p. ej. Macintosh) en la vallécula (es decir, el espacio entre la lengua y la epiglotis) y se tira el laringoscopio hacia delante y hacia arriba para dejar la glotis a la vista. El tubo endotraqueal se introduce por la comisura derecha de la boca, se inserta entre las cuerdas vocales abiertas bajo visión directa. Las dificultades en la visualización pueden deberse a la posición de la cabeza, a que la pala se haya introducido en exceso o por defecto, o a la reticencia por parte del laringoscopista principiante a aplicar la fuerza adecuada, pero suave, en dirección anterior.⁷

Las complicaciones de la intubación pueden dividirse en:

1. Precoces⁹
 - a. Traumatismo dental, faríngeo traqueal o esofágico
 - b. Imposible pasar el tubo endotraqueal
 - c. Inestabilidad autonómica: arritmias, alteración de la presión arterial
 - d. Activación del reflejo vagal: apneas, vómitos, laringoespasma, broncoespasmo
 - e. Aspiración de contenido gástrico
2. Tardías
 - a. Obstrucción del tubo endotraqueal
 - b. Neumonías por aspiración
 - c. Infección: otitis, sinusitis
 - d. Laringitis, traqueítis
 - e. Úlceras de presión en la nariz, boca, tráquea
 - f. Extubación accidental o no planeada
 - g. Enfisema subcutáneo
 - h. Fístula traqueoesofágica
 - i. Incapacidad para tragar y hablar
 - j. Barotrauma
 - k. Lesión laríngea o traqueal tras extubación: granuloma, ulceración, parálisis de cuerdas, estenosis

Como puede apreciarse, el proceso que sigue un aprendiz para dominar la IET requiere del entendimiento total de conceptos, así como de la práctica correspondiente.

1.3 Método

La simulación se refiere a la duplicación artificial de elementos suficientes de una situación del mundo real que permite conseguir un objetivo determinado. La fidelidad de una simulación se refiere a la veracidad con que reproduce el escenario y está determinada por los distintos elementos que se replican y por la discrepancia que existe entre cada elemento y el mundo real.¹⁰

Un simulador de pacientes es un sistema que muestra un paciente y su entorno de trabajo clínico con una relevancia inmediata para los anesthesiólogos, en alguno de los aspectos siguientes.

1. En la realidad física actual, definida como un simulador maniquí
2. En una pantalla únicamente, definidos como un simulador de pantalla
3. Usando la “realidad virtual”, definidos como simuladores de realidad virtual.
En estos dispositivos se presentan partes o todo el paciente y su entorno en representaciones tridimensionales con o sin “contacto” para crear una experiencia de mayor “inmersión”

La realidad virtual se refiere a un conjunto de técnicas en que el sujeto interacciona con un entorno sintético (“virtual”) que existe sólo en el ordenador.¹¹ En la concepción típica de la realidad virtual, la representación del entorno de síntesis se dirige a los ojos y oídos y posiblemente también a las manos. Las acciones del usuario en ese entorno se traducen directamente desde sus actividades físicas habituales y no manipulando un puntero especial.

La simulación en el área de la salud incluye una variedad de técnicas educativas utilizadas para complementar la adquisición de habilidades y destrezas requeridas por los alumnos de medicina, tanto en el área de pregrado como de posgrado. Este campo de la enseñanza ha presentado un crecimiento acelerado en los programas de educación clínica y los beneficios que involucra han sido descritos ampliamente en la literatura médica, donde toma particular relevancia al ser introducido el concepto de “seguridad para el paciente” como uno de los aspectos fundamentales a considerar: cuando se tiene la responsabilidad de entrenar a jóvenes médicos y lograr que sean competentes en el área de su especialidad.¹²

En el año 2000, se publicó en Estados Unidos de Norteamérica un reporte titulado “To err is Human Building a Safer Health System”. En éste se analizaban las causas principales de eventos adversos en la medicina, determinando que el error humano es la principal causa.¹³

Una de las características de la simulación es que se utiliza el aprendizaje empleado para estimular la participación del alumno para potenciar el conocimiento cercano a la vida real y su aplicación a situaciones cotidianas. Estos conceptos conducen hacia las cuatro características básicas de la simulación: la observación del mundo real, su representación física o simbólica, la acción sobre esta representación y los efectos de esta acción sobre el aprendizaje humano. ^{14,15}

Este marco teórico y conceptual de la simulación médica se basa en el concepto de competencias, las cuales son habilidades requeridas para realizar con calidad la labor profesional y proveer atención segura. Por lo anterior, en 1999, el Consejo Americano de Especialidades Médicas (ABMS) y el Consejo de Acreditación para la Educación Médica (ACGME) definieron seis competencias centrales que todos los médicos deben adquirir y demostrar. Éstas son:

1. Conocimientos médicos
2. Atención al paciente (que incluye las destrezas técnicas de las distintas especialidades)
3. Destrezas de relación interpersonal y de comunicación
4. Profesionalismo
5. Aprendizaje y desarrollo basados en la práctica
6. Práctica basada en sistemas¹⁶

En el Área de Posgrado, el Plan Único de Especializaciones Médicas (PUEM) integra los tres aspectos esenciales de la práctica médica para lograr una preparación profesional de calidad: la atención médica, la investigación y la educación médica. El Plan Único de Especializaciones Médicas¹⁷ busca la actualización constante, tanto en los contenidos académicos como en la metodología para impartirlos; asimismo, tiene la finalidad de dar un marco de referencia para lograr el entrenamiento del residente en medicina. Sin embargo, la complejidad del quehacer profesional en la atención de la especialidad, hace que sea imposible asegurar, en la práctica, que todos los educadores, en todas las sedes educativas normadas por un mismo plan de estudios, tengan la posibilidad y recursos para ser equitativos en la distribución de oportunidades de aprendizaje. La introducción de nuevos paradigmas educativos para brindar una atención médica de calidad por parte de los egresados del posgrado de la Facultad de Medicina, es parte de la formación que proporciona la Universidad Nacional Autónoma de México.

La vía aérea por definición es un conducto por el cual pasa el aire¹⁸; o bien, es la ruta por la cual transita el aire desde la nariz o la boca hacia los pulmones¹⁹. La American Society of Anesthesiologists (ASA) define la vía aérea difícil como una situación clínica en la cual un anestesiólogo con entrenamiento convencional experimenta dificultad para la ventilación de la vía aérea superior con una mascarilla facial, dificultad para la intubación traqueal, o ambas.^{20, 21} La vía aérea difícil (VAD) representa una interacción compleja entre factores del paciente, el entorno clínico, las habilidades y preferencias del realizador. La dificultad para la intubación se presenta cuando se han realizado más de tres intentos de intubación utilizando la laringoscopia convencional en condiciones óptimas y por personal experimentado.²²

En la literatura actual no existen datos estadísticos sobre la incidencia de la VAD en el quirófano. Capan et al. reportan que al abordar la vía aérea de forma inadecuada, pueden ocurrir tres clases de lesión que suelen resultar en eventos respiratorios adversos: (1) ventilación inadecuada (38%), (2) intubación esofágica no reconocida (18%) y (3) intubación traqueal difícil no anticipada (17%). Benumof et al. estiman que cerca del 30% de las muertes asociadas a la anestesia son debidas a la inhabilidad de manejar la VAD de forma adecuada. Tiberiu et al. reportan que en EUA 71% de los anestesiólogos han recibido educación y entrenamiento para el manejo de la VAD. Domino et al. publicó un análisis sobre la incidencia de las lesiones de la vía aérea durante la anestesia general, encontró que la laringe es el sitio más frecuente de lesión (33%), en segundo lugar la faringe (19%) y en tercer lugar el esófago (18%). Las lesiones de la tráquea y el esófago se correlacionan con una intubación difícil.²³

El aseguramiento y la conservación de una vía aérea permeable es una de las responsabilidades fundamentales del anestesiólogo; en caso de pérdida de las vías respiratorias debe restablecerse con prontitud mediante maniobras instrumentadas o intervención quirúrgica, antes de que el sujeto sufra lesión irreversible. La evaluación sistemática de las vías respiratorias de los pacientes debe incluir todas las etapas siguientes: 1. Boca, 2. Dientes, 3. Lengua, 4. Cavidad orofaríngea con las estructuras que la conforman (úvula, pilares de las fauces, paladar blando y duro) otorgando la clasificación de Mallampati y su relación con factores adicionales de riesgo, entre ellos el cuello corto y grueso, maxilar retraído, disminución de la movilidad de las articulaciones cervicales y atlanto-occipitales, distancia tiromentoniana de 6 cm o menos. Estos métodos, independientemente de sus ventajas y desventajas, deben ayudar al clínico a someter al paciente a un plan de manejo de vía aérea. La laringoscopia directa y la intubación de la tráquea son indispensables en ciertos procedimientos anestésicos quirúrgicos para

mantener la ventilación y oxigenación en forma adecuada y segura hacia todos los tejidos.²⁴

Respecto a las técnicas de intubación, éstas se practicaban a ciegas guiándose por la palpación de los dedos. En 1805 el profesor Manuel García inventa el laringoscopio de visión directa. Después otros anestesiólogos, entre ellos Iván W. Magill, sistematizaron la intubación traqueal diseñando tubos, laringoscopios y toda clase de accesorios y conexiones como la pinza de Magill.

En 1941, Sir Robert Macintosh aportó su hoja curva vigente hasta hoy y en 1946 Miller describe su laringoscopio de hoja recta. En 1950, comenzó la fabricación de tubos inertes de PVC y en 1967 Murphy realizó la primera intubación valiéndose de un fibrolaringoscopio, empleándose principalmente en el manejo de la vía aérea difícil.^{25, 26}

Por lo anterior comentado, la enseñanza de la competencia clínica de la IET oral es esencial para muchos profesionales de la salud, en especial para los anestesiólogos. Desafortunadamente, hay poca información que indica el grado de entrenamiento requerido para aprender la IET. En general existe una falta de consenso en los programas de entrenamiento para manejo de la vía aérea. Con respecto a la enseñanza de la IET para los médicos residentes, Konrad et al.²⁷ definió “exitoso” arbitrariamente como “desempeño técnico adecuado” sin la asistencia de personal auxiliar. Ellos describieron la curva de aprendizaje alcanzaba el 90% de porcentaje de éxitos después de 57 intentos. Sin embargo, 18% de los médicos residentes aún requieren apoyo después de 80 intubaciones. Desafortunadamente, no se dio un análisis respecto a la definición de “exitoso” o “fracaso”.

La enseñanza tradicional de la IET se ha centrado en los aspectos técnicos de la intubación exitosa, incluyendo la técnica de los detalles, como la colocación de la cabeza, la adecuada inserción y colocación de la pala del laringoscopio, así como un rendimiento oportuno y atraumático.²⁸ La posibilidad de realizar simulaciones, permite al personal practicar y aprender los principios en un ambiente controlado que preparará mejor al personal de salud para la administración segura de los cuidados de salud en los pacientes. Todas las modalidades de simulación están diseñadas para acelerar el aprendizaje experimental y para mejorar los conocimientos adquiridos a partir de material escrito.²⁹ La intención no es reemplazar el aprendizaje a través del contacto con los pacientes reales, sino más bien para mejorar y ampliar la perspectiva del alumno. La simulación ha comenzado a tener un papel importante en cuanto a garantizar la calidad y seguridad del paciente.¹³

CAPÍTULO 2

PRESENTACIÓN DEL SIMULADOR VIRTUAL PARA LARINGOSCOPIA

2.1 Introducción

La formación y actualización de recursos humanos en el área de la medicina constituye uno de los aspectos más importantes de la educación superior. Las situaciones de aprendizaje, en las cuales se pongan en práctica los conocimientos y habilidades médicas, permite la realización de diferentes opciones para la solución de problemas. Sin embargo, no siempre es posible ni recomendable el manejo de situaciones reales para la comprensión conceptual y práctica de los procedimientos en el campo de la medicina.

2.2 Justificación

Los diversos modelos educativos pretenden desarrollar las habilidades, capacidades y competencias propias de la actividad de los futuros profesionales de la medicina. Dentro de los procesos de enseñanza-aprendizaje, los recursos didácticos tienen un papel determinante, ya que permiten ejemplificar diferentes situaciones propicias. El manejo bajo control de ambientes propicios para el aprendizaje, donde el aprendiz vive experiencias casi reales, constituye un factor determinante para la adquisición de competencias médicas. Es en este punto donde los recursos didácticos juegan un rol específico.

Los procesos de simulación permiten al aprendiz experimentar en situaciones virtuales problemas de situaciones reales sin la necesidad de correr riesgos innecesarios. Así, el alumno aprende, practica, prueba e innova en beneficio directo de su formación integral.

A través de la formación programada en los futuros profesionales de la medicina se pretenden crear situaciones propicias para el aprendizaje. Por medio del uso de nuevas metodologías de enseñanza-aprendizaje, se promueve la integración de conocimientos, habilidades y capacidades propias de la medicina. Por estas razones, se justifica la exploración de nuevas modalidades en los procesos de enseñanza-aprendizaje. En la búsqueda de nuevos caminos y modelos educativos, dentro del cómputo existe una serie de aspectos que combinados con los procedimientos médicos, pueden llegar a crear situaciones propicias de aprendizaje. La interrelación de la medicina con la ingeniería en computación representa una opción válida para la creación de nuevos modelos basados en sistemas virtuales orientados hacia la formación integral de los médicos.

2.3 Descripción

Un sistema virtual es aquel que intenta crear una realidad alterna a través de los recursos de cómputo. Para cumplir con este objetivo se ha desarrollado tecnología a fin de poder interactuar con los sentidos del ser humano. Estos dispositivos son muy diversos y van desde una interfaz gráfica plana hasta una interfaz que permita la interacción en tiempo real con el ambiente computacional, donde se simula una realidad.

Algunas de las características que deben tener estos dispositivos son las siguientes:

1. El ambiente de trabajo debe ser tridimensional, a fin de asemejarse con la realidad
2. Debe tener una respuesta inmediata y en tiempo real a las acciones que realice el usuario, lo que se conoce como capacidad sintáctica o respuesta en tiempo real
3. Y que sea interactivo, es decir, que el sistema reaccione a las acciones del usuario

De manera complementaria, el sistema le permite al usuario moverse o navegar dentro del ambiente. En este sentido, el sistema tiene la capacidad de reconocer la posición y orientación del usuario. Esta ubicación servirá para definir lo que se conoce como punto de vista.

Así, el sistema propuesto debe ser percibido como auténtico, con una interacción intuitiva y responder a ella en tiempo real

2.4 Producto obtenido

Construir un sistema para la enseñanza y el aprendizaje del manejo del laringoscopio, por parte de los maestros (médicos) usado por el alumno (practicante).

El sistema tiene varios subproductos, los cuales se especifican a continuación:

1. Modelado del laringoscopio, como un todo
2. Modelado del laringoscopio, por partes
3. Movilidad del laringoscopio

4. Creación del ambiente de acción del laringoscopio
5. Visión desde diferentes ángulos o puntos de vista del laringoscopio
6. Interactividad del laringoscopio
7. Generación de situaciones para el uso del laringoscopio

El sistema es de tipo entrenador, donde se presentan múltiples circunstancias “reales” para que el estudiante sepa qué hacer en cada caso y actúe directamente con el sistema. En consecuencia, se buscó crear un sistema virtual con las siguientes características:

- Crear un simulador que sirva para el entrenamiento en el procedimiento de uso del laringoscopio.
- Construir un sistema computacional que permita crear situaciones virtuales para el uso del laringoscopio.

De manera concreta, se buscaron los siguientes objetivos específicos:

1. Desarrollar un sistema que simule la estructura de un laringoscopio
2. Desarrollar un sistema que simule la funcionalidad de un laringoscopio
3. Creación de ambientes virtuales de interacción con un laringoscopio

2.5 Características computacionales del sistema virtual

Para la creación del sistema se utilizó una metodología de desarrollo ágil de software, esto debido a que los requerimientos podían sufrir modificaciones durante la implementación del software. El uso de una metodología ágil permite llevar a cabo adecuaciones a estos cambios sin que el tiempo de desarrollo se vea afectado en gran medida.

2.5.1 Metodología de trabajo

El sistema Simulador Virtual para Laringoscopia se generó basado en un protocolo de investigación clínico y en una metodología de ingeniería de software.

A continuación se presentan de manera resumida las fases del proceso que se implementó para llevar a cabo el proyecto, considerando siempre las observaciones y los comentarios de los usuarios directos del sistema.

1. Ingeniería del sistema

Por medio de una serie de entrevistas con profesionales de la medicina, se determinaron las funcionalidades del sistema, estableciendo los requerimientos del mismo.

2. Análisis

Realizar los diferentes tipos de análisis de factibilidad para determinar la realización del sistema

Establecer el modelo del sistema

Determinar la mejor opción para resolver el problema

Generación de los diagramas de flujo de la información

Determinación de los alcances del sistema

3. Diseño

Generar la especificación algorítmica del sistema

Establecimiento de la arquitectura del sistema

Determinación de las estructuras de datos

Definición de las interfaces

4. Desarrollo

Aspectos del contenido del sistema

Creación de elementos multimedia

Edición de imágenes

Creación de ambientes

Fase de integración

Incorporación de elementos multimedia

Programación de interactividad con el ambiente

Generación de un prototipo del sistema

5. Implementación e instalación

La metodología empleada está basada en modelos de la ingeniería de software, la cual permite tener una visión real del problema y, en consecuencia, incrementa las posibilidades de éxito.

2.5.2 Desarrollo y construcción

En esta fase se utilizó el API (del inglés Application Programming Interface, Interfaz de Programación de Aplicaciones) OpenGL para el despliegue de gráficos, específicamente con la versión OpenGL 2.1, debido a que esta versión garantiza la compatibilidad del software con computadoras existentes en el mercado desde 2006. Adicionalmente, se alcanza un buen desempeño en máquinas de gama media a gama baja, y por otra parte, se obtiene provecho de máquinas con hardware avanzado.

Un requerimiento muy importante de la aplicación es que debe poder ejecutarse en una computadora personal PC, con sistema operativo Windows, que cuente con un perfil bajo de hardware, es decir, que en una computadora de gama mediana-baja es posible que se ejecute el programa. Para cumplir con este requerimiento se seleccionó la siguiente configuración, donde se especifican los requisitos mínimos para la ejecución del programa:

- Procesador Intel Core 2 Duo a 1.5 GHz o equivalente
- Memoria RAM 2GB
- Tarjeta de video integrada

Se utiliza el manejador de ventana GLUT (del inglés OpenGL Utility Toolkit es una biblioteca de utilidades para programas OpenGL), ya que incluye la interacción básica de teclado y mouse con la aplicación, debido a sus características de código libre y no se requiere ningún pago por su uso, además de que los recursos que consume de la computadora son mínimos, comparados con otros manejadores de ventana. GLUT también es ideal para trabajar con OpenGL, ya que desde el principio GLUT ofrece soporte nativo, con lo cual se reduce el

número de líneas de código necesarias para la configuración, ahorrando memoria en la computadora.

Debido a que la computadora objetivo donde se ejecutará la aplicación pertenece a una gama de desempeño mediana-baja, se tuvieron que hacer ajustes en la calidad de los modelos. El contenido tridimensional se puede crear con herramientas como 3D Max, Maya o Blender. Sin embargo, al hacer un estudio de los formatos de modelos tridimensionales, se vio que los formatos más utilizados y comerciales tienen la desventaja de almacenar información que no será útil para las finalidades del proyecto, lo cual implica mayores tiempos de carga y uso de recursos, además de que su utilización representaría el pago de regalías.

Es por ello que se aplicó un formato libre de nombre BTO (del inglés Build-to-Order, construir para el orden). Al ser un formato libre puede ser limitado en la información que se desea almacenar, haciéndolo ideal para el proyecto.

La creación de los modelos orgánicos del cuerpo humano representa un desafío para los desarrolladores, ya que por lo general éstos se especializan en modelos de otras características, por lo que este tipo de proyecto es muy raro. Por esta razón y por la importancia del proyecto, todos los modelos que se generaron son originales, es decir, fueron creados especialmente para el sistema y no se ocuparán para ningún otro programa. Es necesario precisar que se generaron tres programas, ya que se manejan tres casos diferentes de pacientes: adulto, niño y mujer embarazada. Para todos ellos se creó la parte interna y externa del modelo.

También dentro de la generación de contenido se encuentran las herramientas del laringoscopio, con varias paletas y el tubo para el procedimiento. Estos modelos también son originales y creados en específico para el programa.

En lo que respecta a la interacción con el usuario, existe la posibilidad de ocupar el teclado y el mouse tradicional; dicha interacción se produce por GLUT de manera nativa.

Sin embargo, el uso del dispositivo de entrada Wiimote, agrega un grado de complejidad más elevado, ya que dicho dispositivo no fue diseñado por su creador Nintendo, para trabajar de manera nativa con una computadora, por lo cual no existe una librería nativa de Windows para trabajar con él. Para ello se decidió utilizar el API Wiiyourself, ya que al ser de código libre permite ampliar la funcionalidad inicial del dispositivo Wiimote. Tiene la capacidad para proporcionar interactividad.

Todos estos aspectos fueron cumplidos trabajando con el lenguaje de programación C++. Entre las ventajas de usar C++, se debe a que es un lenguaje soportado por OpenGL, además de que su velocidad nos permite mejorar el desempeño de la aplicación, sin sacrificar características. El mismo lenguaje C se utilizó para la creación del cargador de contenido en formato BTO, así como la integración de la librería Wiiyourself.

Con todo lo anterior, se tiene una aplicación capaz de mostrar contenido tridimensional y poseer un grado de interactividad. Sin embargo, el objetivo del programa es la simulación, con lo cual se tienen que agregar respuestas realistas a los movimientos del usuario.

Para ello se hace uso de colisiones avanzadas y manipulaciones de malla para la deformación de modelos. Todo esto supone un gasto computacional elevado, ya que además se desea que la respuesta del sistema sea en tiempo real con respecto a los movimientos del usuario. Por tal motivo, se usaron técnicas de computación gráfica, tales como parches de Bezier, colisiones a cajas alineadas para cumplir la meta de que el simulador pueda ejecutarse en una computadora de gama media-baja, y no requiera de sistemas especializados, como es el caso en la mayoría de este tipo de sistemas.

2.6 Características funcionales

El Simulador Virtual para Laringoscopia permite seleccionar tipo de paciente y tipo de laringoscopio. Tiene dos cámaras para diferentes enfoques. Una de las funciones consiste en el entubamiento del paciente. En la Fig. 1 se muestra la pantalla donde aparece el paciente virtual, para la realización de diferentes funcionalidades.

el uso de grandes cantidades de polígonos en el cabello del paciente, se optó por colocarle una cofia; los hombros y parte del cuello están cubiertos con el pliegue de la sábana.

En la Fig. 2 y en la Fig. 3 se observan algunos elementos que permiten tener una idea del proceso de desarrollo del sistema. No debe perderse de vista que la creación de los ambientes del sistema computacional, estuvo regido por una metodología de ingeniería de software.

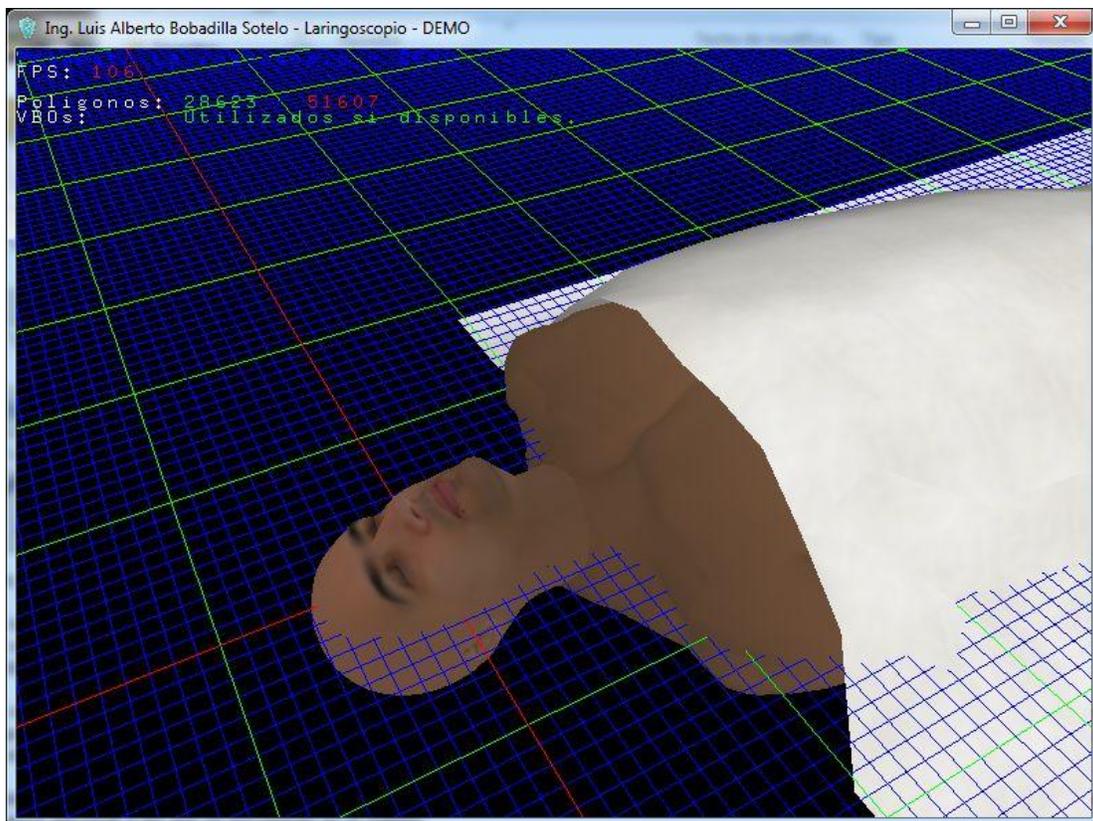


Fig. 2. Cuerpo del paciente

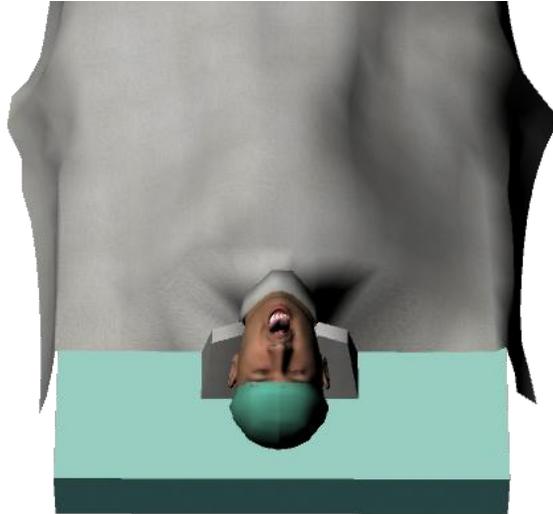


Fig. 3. Cuerpo del paciente y otros elementos

Todos estos objetos son visibles, principalmente en el movimiento de cámara que se ve al iniciar la aplicación, y después la vista se centra en otros objetos muy específicos; por eso, todos los elementos anteriores son modelos “lowpoly” (con un bajo número de polígonos) que sirven perfectamente cuando la cámara no se acerca a ellos. Utilizando una buena calidad en las texturas es posible también aparentar un mayor nivel de resolución en la malla que forma el modelo sin que esto represente un alto costo al momento de dibujarse en pantalla.

La cabeza del paciente también tiene pocos polígonos, la vemos sólo mientras la cámara se acomoda en la región de su boca. El mayor número de polígonos lo conforman los objetos que están en el interior del paciente. Todos éstos fueron modelados desde cero basándose en ilustraciones médicas y anatómicas, además de fotografías y videos de laringoscopias. Se tiene una boca formada por encías superiores (incluyendo paladar y úvula) e inferiores, la dentadura y la lengua, que

a su vez está dividida en una parte superior, una inferior y la epiglotis, ver Fig. 4 y 5. También hay una caja bucal puesta para que no existan espacios vacíos cuando la boca se abre y se separan las encías superiores e inferiores. Más adelante se encuentra un tubo traqueal que luego se divide en dos partes correspondientes a ambos pulmones. Al final de cada una de estas divisiones, en el lugar donde se unirían a los pulmones, están unas tapas con una textura que aparenta profundidad. A lo largo del tubo traqueal nos encontramos con las amígdalas (removibles para facilitar la visualización de los demás objetos) y las cuerdas vocales. Cada uno de estos objetos fue modelado por separado y posteriormente acomodado en la escena, justo en su lugar correspondiente.

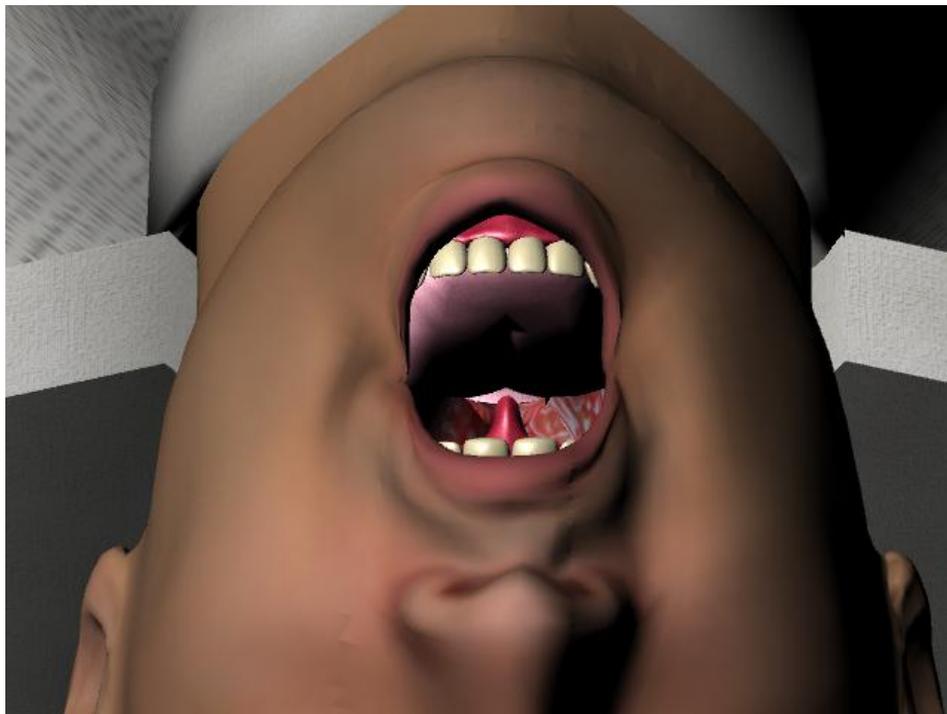


Fig. 4. Boca del paciente

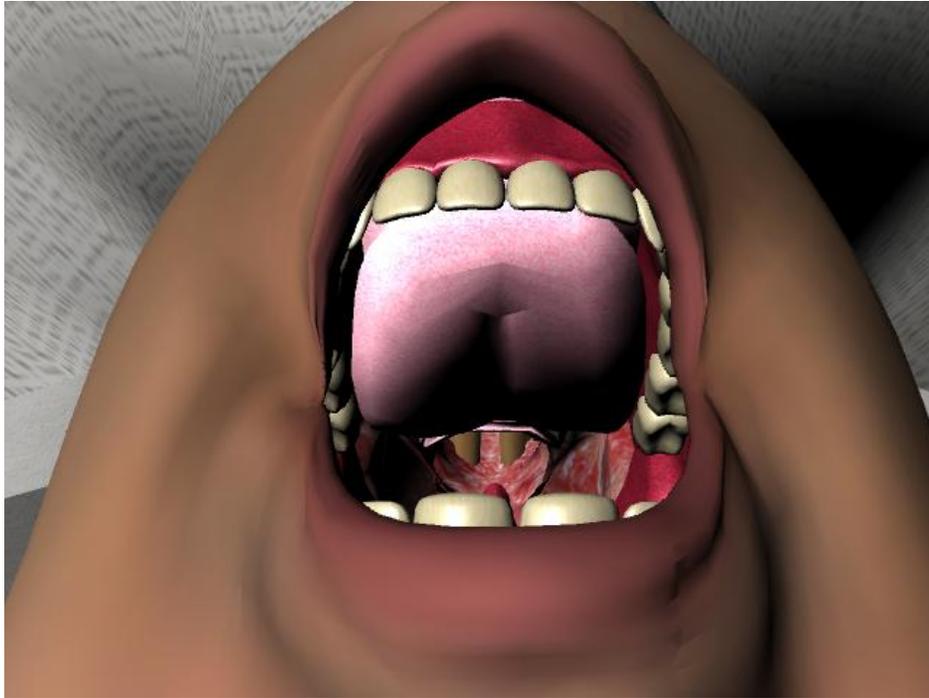


Fig. 5. Boca del paciente y otros elementos

Además de estos modelos, también está el mango del laringoscopio, distintas cabezas para éste, y el tubo que se insertará por la garganta del paciente, ver Fig. 6 y Fig. 7.

También el sistema permite seleccionar tipo de paciente, ver Fig. 8.

Aparte del modelado cuidadoso de cada objeto, también se puso especial atención a las texturas. Éstas se armaron con base en imágenes externas creadas en un programa de manipulación de imágenes. Hay dos razones para ello: la primera es que así aseguramos que el cargador de objetos tridimensionales no tendrá problemas para interpretarlas; la segunda es que de esa forma se tiene más control sobre la apariencia del objeto y se puede lograr un resultado más realista.



Fig. 6. Selección del tipo de laringoscopio



Fig. 7. Elementos del laringoscopio



Fig. 8. Tipo de paciente

Tomando como referencia fotografías y videos, cada imagen fue pintada digitalmente sobre un espacio cuadrado, ajustándose al mapa UV de cada modelo y modificando sus propiedades en el programa 3D para obtener toda la variedad de materiales que requiere la aplicación. Éstos incluyen, entre otros, la tela que se usa en la sábana, el cojín y la cofia, texturas con pequeños nódulos para las encías y la lengua, imágenes con marcas verticales muy discretas para los dientes, hasta la más complicada: la del tubo traqueal, que además de la textura base requería las sombras que se marcan en los canales a lo largo de la tráquea y que toda la superficie debe verse húmeda. El mapa UV es un método para aplicar textura a los objetos; hace referencia a dos valores: U para el eje horizontal (x) y V para el eje vertical (y), como un porcentaje de 0 a 1.

Para lograr todos los efectos en cada una de estas texturas se usaron colores base en una capa inferior, y sobre ésta se fueron agregando más capas con distintos colores y trazos, y modificando el estilo de mezcla de cada capa de acuerdo a las necesidades específicas. Estas imágenes se ajustaron al mapa UV de los modelos para poder colocar los detalles en sus lugares correspondientes.

El tamaño de cada imagen resultante es de 2000 x 2000 píxeles para su uso en la aplicación final, con copias a tamaño menor para su visualización en la etapa de pruebas. El mapeado UV es una manera de mapear texturas de tipo imagen sobre modelos tridimensionales.

El modelo ya construido y texturizado se importa a un cargador de objetos tridimensionales. Es ahí donde se puede interactuar con él y simular la laringoscopia. Para esto es necesario programar los modelos y la cámara de forma que realicen distintas acciones: el paciente abre la boca, el laringoscopio se inserta en ella, la lengua se mueve al contacto con éste, el tubo con la cámara va entrando y mostrando el interior de la garganta.

Es necesario programar cada uno de estos movimientos y modificar los modelos de acuerdo a cada situación, así como trazar una trayectoria para que el tubo pueda seguirla. También se deben tener en cuenta las colisiones para asegurarse de que el aprendiz estudiante realice correctamente el procedimiento, e indicarle cuándo tiene un error.

Todas estas acciones deben ser programadas de forma tal que el cargador de objetos tridimensionales pueda entenderlas sin problema, para asegurar el buen funcionamiento de la aplicación y el cumplimiento de sus objetivos de enseñanza.

2.7 Arquitectura del sistema

La arquitectura incluye tres componentes estructurales: el sistema virtual, el sistema de control y el más importante, el médico que se encuentra en el proceso de formación profesional. En la Fig. 9 se muestra la arquitectura del sistema.

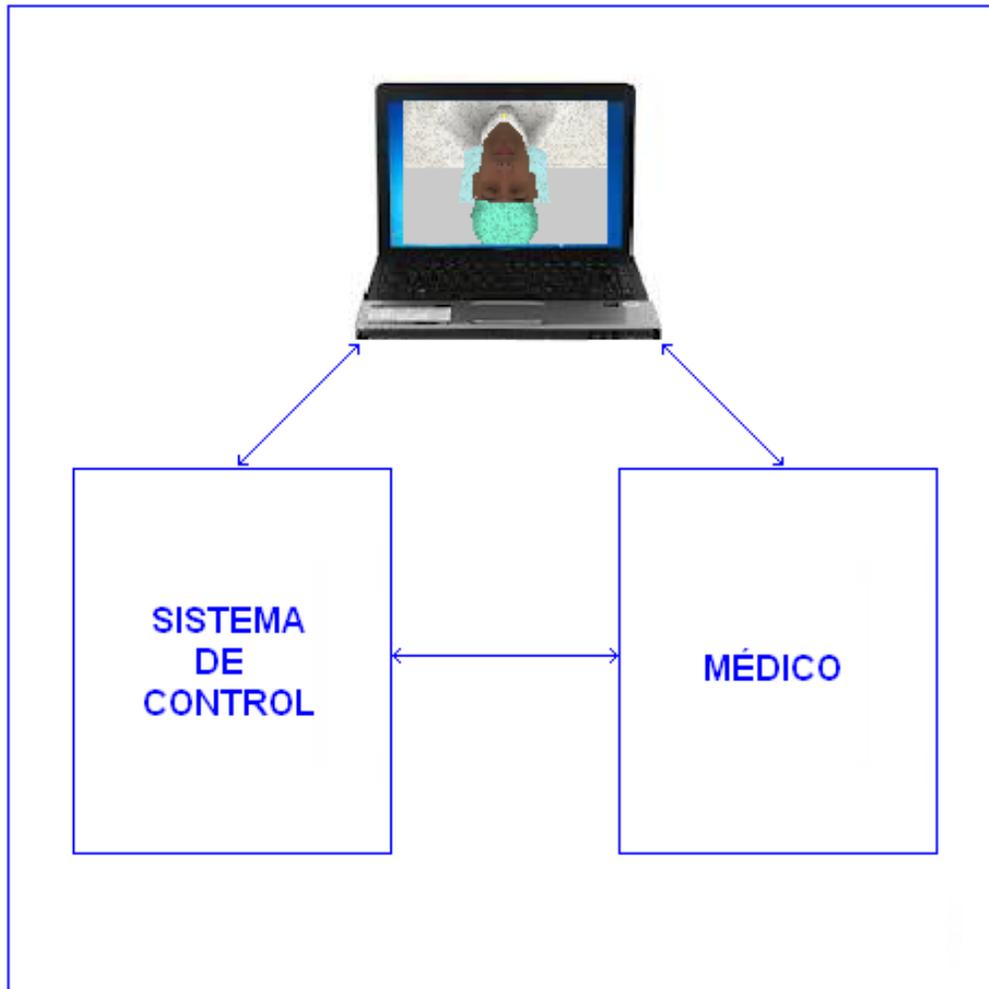


Fig. 9. Arquitectura del Simulador Virtual para Laringoscopia

A continuación aparecen los elementos de control para el manejo del sistema.

Botones de control

Controles:

General:

[F1] -> Selección de laringoscopio

[F2] -> Paciente

Laringoscopio:

Teclado:

[->] -> Cambia laringoscopio

[<-] -> Cambia laringoscopio

[Enter]-> Selecciona/ deselecciona la paleta

Modelo:

Teclado:

[0] -> Recorrido libre

[1] -> Recorrido 1

[g/G] -> Habilita / deshabilita rejilla guía

[a/A] -> Abre la boca del paciente

[c/C] -> Cierra la boca del paciente

[I] -> Sujeta la lengua

[L] -> Suelta la lengua

Ratón:

[i] -> n/a

[m] -> Habilita arcball

[d] -> n/a

[Scr] -> Mueve la cámara adelante o atrás sobre la vista en recorrido libre, avanza o retrocede un paso en los recorridos prediseñados

Los elementos de control se pueden manejar ya sea por teclado o por el dispositivo Wiimote.

El simulador puede crear varios ambientes.

- Adulto, masculino
- Adulto, femenino
- Niño, masculino

El simulador es un diseño totalmente nuevo, creado por un grupo de trabajo, bajo la dirección del Dr. Eduardo Zaldívar Esquivel, residente del Hospital Regional 1° de Octubre del ISSSTE.

Para el estudio y análisis que se propone y con el fin de simplificar la funcionalidad del sistema, únicamente se trabajará bajo el ambiente correspondiente a la realización de la IET en un adulto masculino.

CAPÍTULO 3

SIMULADOR VIRTUAL PARA LARINGOSCOPIA

3.1 Objetivo general que se persigue con el uso del simulador

Demostrar que aquellos médicos que usen el Simulador Virtual para Laringoscopia en la IET, optimizan el proceso de aprendizaje, motivo por el cual estarán capacitados para obtener una tasa mayor de intubación exitosa con pacientes reales, que aquellos que carezcan de este sistema de apoyo al fortalecimiento del aprendizaje, aumentando en consecuencia la calidad y seguridad en la atención del paciente.

No siempre es posible ni recomendable el manejo de situaciones reales para la comprensión conceptual y la práctica de los procedimientos en el campo de la medicina. Los procesos basados en simulación permiten al alumno experimentar en situaciones virtuales problemas reales, sin la necesidad de correr riesgos innecesarios. Así, el alumno practica, aprende, prueba e innova en beneficio directo de su formación integral. El entrenamiento basado en el uso del simulador permite lograr un aprendizaje exitoso.

3.2 Objetivos específicos

Para demostrar el cumplimiento del objetivo general, se obtuvieron datos específicos mediante la realización de las siguientes actividades:

- Medir el número de intentos necesarios para una intubación exitosa
- Medir el tiempo necesario para lograr una intubación exitosa
- Calcular el porcentaje de intubación exitosa

3.3 Criterios de éxito y fracaso en la IET

Es muy importante dejar en claro, cuáles son las condiciones que deben cumplirse para establecer el éxito o el fracaso en la realización de la IET. Para la determinación de las condiciones se requirió de la experiencia de expertos en la realización de este proceso. Después de un periodo de análisis se establecieron los valores correspondientes al éxito o fracaso en la IET, los cuales aparecen a continuación:

- Éxito en la IET
 - Tiempo \leq a 45 segundos
 - Visualización de la cánula endotraqueal en la tráquea del paciente virtual
- Fracaso en la IET
 - Tiempo $>$ a 45 segundos
 - Incapacidad para realizar la IET en el paciente virtual
- Número de intentos necesarios: Variable cuantitativa
- Tiempo necesario: Variable cuantitativa

3.4 Análisis estadístico de los datos

Para el análisis estadístico de los resultados se usó la técnica conocida como Curva de Suma Acumulada (CUSUM), que corresponde a un modelo matemático cuyo empleo permite tener un control de la calidad en los servicios médicos. Mediante la aplicación de CUSUM podemos demostrar la validez de los procesos de aprendizaje, tal y como se aplica en la IET.

Para la aplicación de CUSUM es necesario establecer una serie de valores. Con el fin de tener una idea al respecto, se presentan algunos conceptos propios de esta técnica, con las cantidades determinadas después de hacer un análisis de la situación:

Tasa de falla aceptable, p_0 , para la IET

Tasa de falla inaceptable, p_1 , para la IET

Probabilidad de error tipo I α (alfa)

Probabilidad de error tipo II β (beta)

Para la generación de las gráficas CUSUM se usan las siguientes fórmulas:

$$a = \ln [(1 - \beta) / \alpha]$$

$$b = \ln [(1 - \alpha) / \beta]$$

$$P = \ln (p_1 / p_0)$$

$$Q = \ln [(1 - p_0) / (1 - p_1)]$$

$$s = Q / (P + Q)$$

s es el aumento por cada éxito

1-s es el aumento por cada falla

$$h_0 = -b / (P + Q)$$

$$h_1 = a / (P + Q)$$

Para interpretar los datos generados por la gráfica CUSUM es necesaria la siguiente explicación:

Los valores para construir la gráfica CUSUM se obtienen a partir de las fórmulas dadas. Con el fin de tener una idea más clara, me permito explicar algunos puntos que considero importantes. Los valores de h_0 y h_1 delimitan la zona o área de indefinición del desempeño o aprendizaje por parte del participante. Hacia arriba, tendiendo hacia o rebasando h_1 , corresponde a un mal desempeño o mal aprendizaje (área de mal desempeño). Hacia abajo, tendiendo hacia o rebasando h_0 , corresponde al área de un buen desempeño. Para ver la variación de la curva, se calculan los valores de s que corresponde a éxito en el intento, y el valor de $1 - s$ que corresponde a fracaso en el intento. Tomando como referencia los datos calculados en el presente estudio, s vale 0.072 y el valor de $1 - s$ corresponde a 0.928. Con el fin de tener una idea sobre los valores que adquiere la curva, por cada éxito logrado por el participante, se decrementa en s el valor de la curva. Por el contrario, por cada falla en el intento, se incrementa en $1 - s$ el valor de la curva. Esto significa que por cada éxito la curva decrece muy poco. En cambio, por cada fracaso la curva se incrementa de manera notable. Mientras el aprendiz se encuentre en la zona delimitada por h_0 y h_1 , existe una indefinición en cuanto a su desempeño o aprendizaje. Si el aprendiz rebasa el valor de h_1 (valores positivos del eje CUSUM), es decir tiene fracaso en el intento significa que está presentando una tasa de falla inaceptable, su desempeño es negativo; requiere reforzamiento. Por el contrario, si el aprendiz rebasa h_0 y tiende la curva hacia abajo (con valores negativos sobre el eje CUSUM), significa que presenta éxito en el intento y que su aprendizaje es bueno y que su desempeño es positivo. Ver Fig. 10.

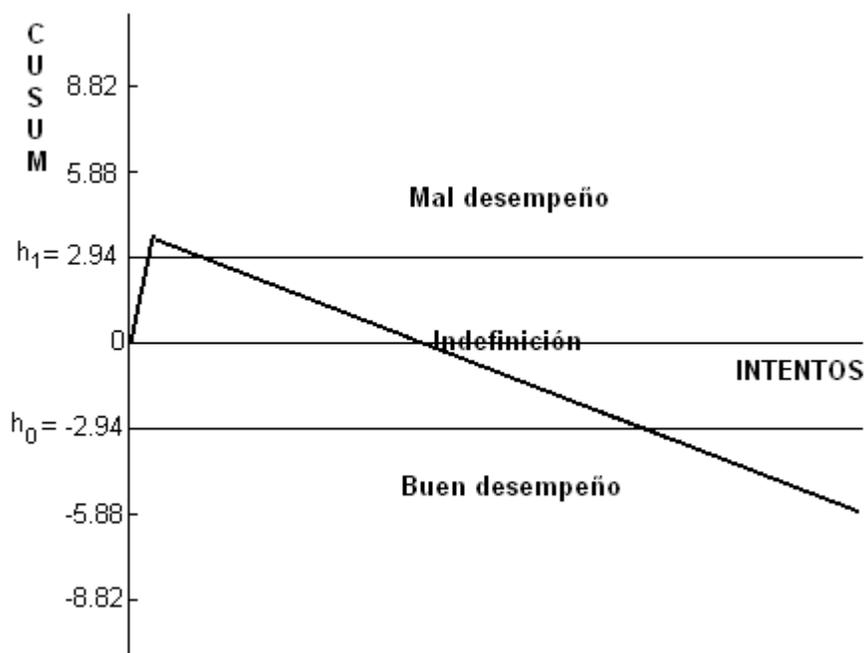


Fig. 10. Gráfica CUSUM

De la misma manera se puede hacer el análisis de los demás valores. Por esta razón, no debemos perder de vista que los valores de las variables están en función de los riesgos que se corran en la formación de los aprendices. Entre más rigor se tenga, estará garantizado el aprendizaje, así como la calidad de los servicios médicos y la seguridad del paciente.

El tamaño de la muestra con tasa de falla aceptable fue de 100, para la primera parte del proyecto.

El tamaño de la muestra con tasa de falla inaceptable fue de 100, para la primera parte del proyecto.

Con los datos obtenidos se procederá a realizar el análisis estadístico para corroborar la validez de la aplicación del simulador como un elemento determinante en el aprendizaje del proceso de IET en los médicos residentes de la especialidad.

3.5 Actividades

El estudio se realizó en el Hospital Regional 1° de Octubre del ISSSTE.

Los médicos participantes son médicos residentes de primer año de anestesiología. Demostraron interés y disponibilidad de tiempo para la ejecución de las actividades, entre las cuales se incluyó una etapa de entrenamiento para el manejo del simulador. Una característica importante consistió en el hecho de que todos los involucrados deben encontrarse en la etapa inicial, es decir, son sujetos de primer ingreso, sin experiencia en la realización de intubación endotraqueal. A todos los participantes se les explicaron los detalles del estudio, haciendo énfasis especial en el anonimato.

Se formaron dos grupos de médicos participantes:

Grupo	Integrantes
A	A1 y A2
B	B1 y B2

Condición importante:

A los integrantes del Grupo A se les capacitó en el uso del simulador.

A los integrantes del Grupo B no se les capacitó en el uso del simulador; tuvieron entrenamiento convencional.

3.5.1 Entrenamiento con el Simulador Virtual para Laringoscopia

El simulador fue colocado en una computadora portátil. El instructor explicó a detalle dos aspectos fundamentales: el objetivo del estudio, así como el funcionamiento del sistema. Hizo énfasis en cada una de las fases que integran el proceso, desde el inicio hasta el logro de la IET. Posteriormente, el instructor demostró el uso del sistema, explicando el funcionamiento con acciones concretas y específicas. Hubo una sesión de preguntas y respuestas. Todas fueron explicadas a detalle. El entrenamiento se realizó en un periodo de dos horas. Posteriormente, los participantes trabajaron directamente con el simulador durante cinco días, con una sesión de dos horas por día; durante este tiempo cada participante realizó 100 intentos. Así, la capacitación exhaustiva consistió en enseñarles a los participantes del Grupo A el manejo del simulador, teniendo especial cuidado con el dispositivo de control manual, ya que requiere mucha precisión para lograr el dominio del mismo.

Al principio se notó cierto descontrol en el uso de los dispositivos, pero a medida que avanzó el entrenamiento, se logró el dominio en el manejo del simulador. Un elemento determinante para lograr la operación adecuada del sistema fue la enorme disposición de cada uno de los participantes. Se les hizo ver la importancia del simulador para lograr el dominio en el manejo del laringoscopio.

Se llevaron a cabo todas las actividades propuestas y se aplicaron los criterios de éxito y fracaso en la IET.

3.5.2 Toma de datos

Después del entrenamiento exhaustivo haciendo uso del simulador, se reunieron los dos miembros del Grupo A. Se procedió a evaluar el aprendizaje de los participantes A1 y A2 para la realización de la IET, la cual consistió en determinar el número de intentos necesarios para lograr los éxitos y fracasos al ejecutar la IET en el simulador. Tal y como se mencionó cada participante realizó 100 intentos.

En la realización de la prueba, cada participante tenía un rol específico. Así, cuando uno de ellos realizaba la IET en el simulador, el responsable del proyecto, valiéndose de un cronómetro, medía el tiempo utilizado en cada intento y hacia el registro de los datos en el formato correspondiente.

3.5.3 Resultados obtenidos durante el periodo de entrenamiento con el simulador

A continuación aparecen las tablas de resultados de los participantes A1 y A2.

Tabla de resultados Participante A1

Int	R								
1	√	21	√	41	√	61	√	81	√
2	√	22	√	42	√	62	√	82	√
3	√	23	√	43	√	63	√	83	√
4	√	24	√	44	√	64	√	84	√
5	X	25	√	45	√	65	√	85	√
6	√	26	√	46	√	66	√	86	√
7	√	27	√	47	√	67	√	87	√
8	√	28	√	48	√	68	√	88	√
9	√	29	√	49	√	69	√	89	√
10	√	30	√	50	√	70	√	90	√
11	√	31	√	51	√	71	√	91	√
12	√	32	√	52	√	72	√	92	√
13	√	33	√	53	√	73	√	93	√
14	√	34	√	54	√	74	√	94	√
15	√	35	√	55	√	75	√	95	√
16	√	36	√	56	√	76	√	96	√
17	√	37	√	57	√	77	√	97	√
18	√	38	√	58	√	78	√	98	√
19	√	39	√	59	√	79	√	99	√
20	√	40	√	60	√	80	√	100	√

Simbología: Int: Intento, R: Resultado, √: Éxito, X: Fracaso

Tabla de resultados Participante A2

Int	R								
1	X	21	√	41	√	61	√	81	√
2	X	22	√	42	√	62	√	82	√
3	√	23	√	43	√	63	√	83	√
4	X	24	√	44	√	64	√	84	√
5	√	25	√	45	√	65	√	85	√
6	√	26	√	46	√	66	√	86	√
7	√	27	√	47	√	67	√	87	√
8	√	28	√	48	√	68	√	88	√
9	√	29	√	49	√	69	√	89	√
10	√	30	√	50	√	70	√	90	√
11	√	31	√	51	√	71	√	91	√
12	√	32	√	52	√	72	√	92	√
13	√	33	√	53	√	73	√	93	√
14	√	34	√	54	√	74	√	94	√
15	√	35	√	55	√	75	√	95	√
16	√	36	√	56	√	76	√	96	√
17	√	37	√	57	√	77	√	97	√
18	√	38	√	58	√	78	√	98	√
19	√	39	√	59	√	79	√	99	√
20	√	40	√	60	√	80	√	100	√

Simbología: Int: Intento, R: Resultado, √: Éxito, X: Fracaso

Tomando como referencia las ecuaciones presentadas en el punto 3.4, para hacer uso de CUSUM tenemos los siguientes valores:

Tasa de falla aceptable, p_0 , para la IET: 5%. Por lo tanto, $p_0 = 0.05$

Tasa de falla inaceptable, p_1 , para la IET: 10%. Por lo tanto, $p_1 = 0.10$

Probabilidad de error tipo I α (alfa) determinada en 0.1

Probabilidad de error tipo II β (beta) determinada en 0.1

Aplicando los datos correspondientes a las tasas de fallas y probabilidades de error en las fórmulas dadas, se generaron los siguientes valores, necesarios para construir las gráficas CUSUM:

$$a = \ln [(1 - \beta) / \alpha] = \ln [(1 - 0.1) / 0.1] = 2.197$$

$$b = \ln [(1 - \alpha) / \beta] = \ln [(1 - 0.1) / 0.1] = 2.197$$

$$P = \ln (p_1 / p_0) = \ln (0.10 / 0.05) = 0.693$$

$$Q = \ln [(1 - p_0) / (1 - p_1)] = \ln [(1 - 0.05) / (1 - 0.10)] = \ln [0.95 / 0.9] = 0.054$$

$$s = Q / (P + Q) = 0.054 / (0.693 + 0.054) = 0.072$$

$$1 - s = 1 - 0.072 = 0.928$$

$$h_0 = -b / (P + Q) = -2.197 / (0.693 + 0.054) = -2.94$$

$$h_1 = a / (P + Q) = 2.197 / (0.693 + 0.054) = 2.94$$

A continuación, aparecen las gráficas CUSUM de los participantes A1 y A2.

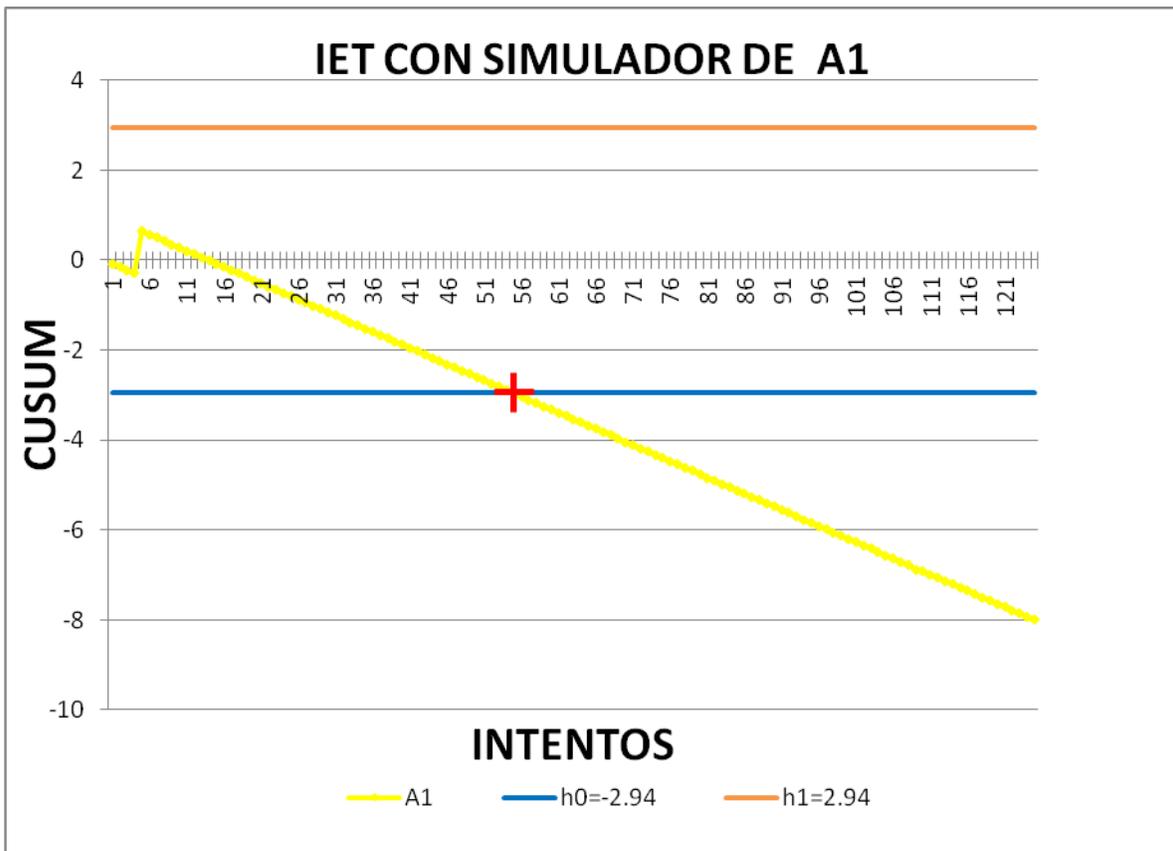


Fig. 11. Gráfica CUSUM del participante A1

El participante A1 inicia bien; obtiene éxito en sus primeros 4 intentos. Sin embargo, en el intento 5 fracasa, para posteriormente y a partir del intento 6 sólo obtiene éxitos con el simulador. De acuerdo con la zona de indefinición, el participante A1 obtiene el dominio de la IET a partir del intento 55, ingresando a la zona de buen desempeño. Este dato indica que A1 ha tenido un aprendizaje significativo y que, en consecuencia, ha adquirido la capacidad para realizar la IET. De acuerdo con la curva de aprendizaje del participante A1, la cual aparece en la gráfica CUSUM de la Fig. 11, éste es óptimo y está listo para aplicar la IET en un paciente real.

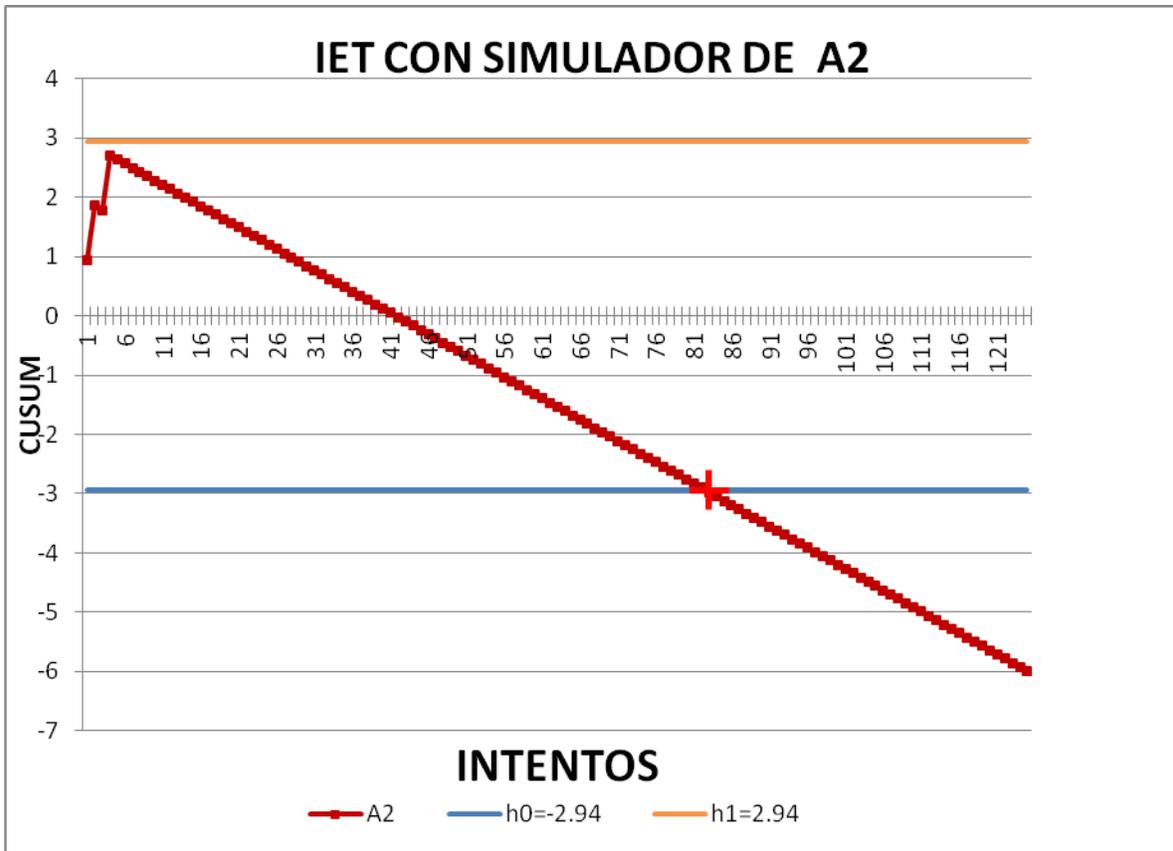


Fig. 12. Gráfica CUSUM del participante A2

En lo que respecta al participante A2, de la gráfica CUSUM, se observa que A2 tuvo dos fracasos el principio de la prueba con el simulador. En el intento 3 logró un éxito. En el intento 4 vuelve a fracasar. A partir del intento 5, el desempeño de A2 es totalmente favorable. De acuerdo con la Fig. 12, a partir del intento 83, A2 ingresa a la zona de buen desempeño, por lo que, está listo para llevar a cabo una IET con pacientes reales.

Como puede observarse, en el caso del participante A1, el éxito se logró en el intento número 6, alcanzando un dominio prácticamente constante, lo cual constituye un aprendizaje adecuado.

Para el caso del participante A2, el éxito se obtuvo a partir del intento número 5, consiguiendo un dominio prácticamente constante, lo cual constituye un aprendizaje adecuado.

En ambos casos, el porcentaje de IET exitosa es mayor o igual a 95%.

3.5.4 Realización de la IET en pacientes reales

Para la segunda etapa se reunieron a los dos grupos A y B. El Grupo A recibió entrenamiento con el simulador. El Grupo B no entrenó con el simulador. Sus miembros sólo tuvieron entrenamiento convencional sobre la IET.

Posteriormente, los cuatro participantes procedieron a ejecutar por separado el IET en pacientes reales. Es necesario aclarar que para la realización de la IET siempre se contó con la vigilancia directa de los médicos expertos, los cuales intervendrían en caso necesario. Nunca se puso en riesgo la integridad de los pacientes.

3.5.4.1 Toma de datos

En la realización de la prueba, cuando uno de ellos ejecutaba la IET, el responsable del proyecto, valiéndose de un cronómetro, medía el tiempo utilizado en cada intento y registraba los datos en el formato correspondiente.

Se siguieron los mismos parámetros de éxito y fracaso en la IET. Los resultados se presentan a continuación.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Resultados obtenidos con pacientes reales

A continuación aparece la tabla de resultados de los cuatro participantes: A1, A2, B1 y B2.

Resultados

Intento	Participante A1	Participante A2	Participante B1	Participante B2
1	X	X	X	X
2	√	√	X	X
3	X	√	√	X
4	√	√	X	√
5	√	√	√	X
6	√	X	√	√
7	√	√	X	X
8	√	√	X	√
9	X	√	√	√
10	√	√	√	X
11	√	√	√	√
12	√	√	√	√
13	√	√	√	√
14	√	√	√	√
15	√	√	√	√
16	√	√	√	√
17	√	√	√	√
18	√	√	√	√
19	√	√	√	√
20	√	√	√	√
21	√	√	√	√
22	√	√	√	√
23	√	√	√	√
24	√	√	√	√
25	√	√	√	√
26	√	√	√	√
27	√	√	√	√
28	√	√	√	√
29	√	√	√	√
30	√	√	√	√

Simbología: √: Éxito X: Fracaso

Resultados (continuación)

Intento	Participante A1	Participante A2	Participante B1	Participante B2
31	√	√	√	√
32	√	√	√	√
33	√	√	√	√
34	√	√	√	√
35	√	√	√	√
36	√	√	√	√
37	√	√	√	√
38	√	√	√	√
39	√	√	√	√
40	√	√	√	√
41	√	√	√	√
42	√	√	√	√
43	√	√	√	√
44	√	√	√	√
45	√	√	√	√
46	√	√	√	√
47	√	√	√	√
48	√	√	√	√
49	√	√	√	√
50	√	√	√	√
51	√	√	√	√
52	√	√	√	√
53	√	√	√	√
54	√	√	√	√
55	√	√	√	√
56	√	√	√	√
57	√	√	√	√
58	√	√	√	√
59	√	√	√	√
60	√	√	√	√

Simbología: √: Éxito X: Fracaso

Con los datos obtenidos se procedió a elaborar las gráficas CUSUM. Los datos restantes que aparecen en las gráficas CUSUM, ver Fig. 13, se obtuvieron haciendo la proyección correspondiente.

4.1.1 Análisis estadístico de los resultados

Haciendo una comparación de los datos obtenidos, resulta evidente que lograron IET exitosa aquellos participantes que tuvieron el entrenamiento previo con el simulador que los otros que carecieron de esa capacitación exhaustiva.

Con el fin de darle solidez a los resultados alcanzados, se procedió a realizar el análisis estadístico de los mismos, usando la técnica conocida como CUSUM.

Tomando como referencia las ecuaciones presentadas en el punto 3.4, para hacer uso de CUSUM, se calcularon los valores.

Aplicando los datos correspondientes a las tasas de fallas y probabilidades de error en las fórmulas dadas, se generaron los siguientes valores, necesarios para construir las gráficas CUSUM:

$$a = \ln [(1 - \beta) / \alpha] = \ln [(1 - 0.1) / 0.1] = 2.197$$

$$b = \ln [(1 - \alpha) / \beta] = \ln [(1 - 0.1) / 0.1] = 2.197$$

$$P = \ln (p_1 / p_0) = \ln (0.10 / 0.05) = 0.693$$

$$Q = \ln [(1 - p_0) / (1 - p_1)] = \ln [(1 - 0.05) / (1 - 0.10)] = \ln [0.95 / 0.9] = 0.054$$

$$s = Q / (P + Q) = 0.054 / (0.693 + 0.054) = 0.072$$

$$1 - s = 1 - 0.072 = 0.928$$

$$h_0 = -b / (P + Q) = -2.197 / (0.693 + 0.054) = -2.94$$

$$h_1 = a / (P + Q) = 2.197 / (0.693 + 0.054) = 2.94$$

A continuación, en la Fig. 13 aparecen las gráficas CUSUM que involucran a los cuatro participantes, con el fin de hacer evidentes los resultados.

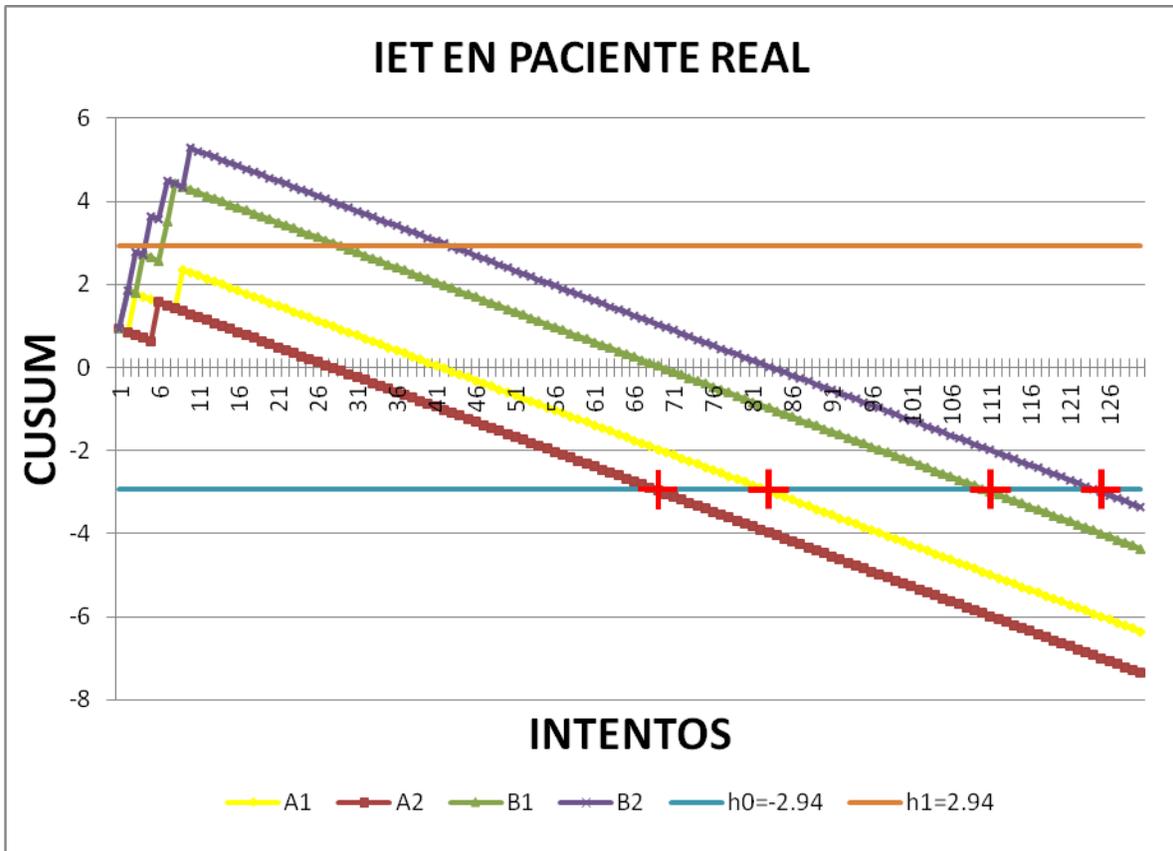


Fig. 13. Gráfica CUSUM

Con los datos obtenidos se procede a realizar el análisis estadístico y la interpretación de los resultados, para corroborar la validez de la aplicación del simulador como un elemento determinante en el aprendizaje del proceso de IET en los médicos residentes de la especialidad.

4.1.2 Interpretación de los resultados

Tomando como referencia la tabla de resultados de los cuatro participantes, se construye la gráfica CUSUM, ver Fig. 13.

Se hace una proyección a futuro en todos los casos hasta un total de 130 intentos. Se procede a la interpretación de los resultados.

El participante A1 inicia mal, obtiene fracaso en el primer intento. En el intento 2 obtiene éxito. En el intento 3 fracasa. Del intento 4 al intento 8 obtiene éxito. En el intento 9 fracasa. A partir del intento 10 presenta un desempeño que tiende hacia lo perfecto.

Haciendo una proyección a futuro y sin que cometa un nuevo error, ingresará a la zona de buen desempeño a partir del intento 83.

El participante A2 inicia mal, fracasa en el intento 1. Del intento 2 al intento 5 obtiene éxito. Fracasa en el intento 6. A partir del intento 7 presenta un desempeño que tiende hacia lo perfecto.

Haciendo una proyección a futuro y sin que cometa un nuevo error, ingresará a la zona de buen desempeño a partir del intento 69.

El participante B1 fracasa en los dos primeros intentos. Tiene éxito en el intento 3. Fracasa nuevamente en el intento 4. Obtiene éxito en el intento 5 y en el 6. Fracasa en el intento 7 y en el 8. Obtiene éxito a partir del intento 9. Sin embargo, su desempeño es muy irregular.

La situación del participante B1 es delicada, ya que al fracasar en el intento 7, ingresa a la zona de mal desempeño. A partir del intento 29 ingresa a la zona de indefinición. Haciendo una proyección a futuro y sin que cometa un nuevo error, ingresará a la zona de buen desempeño a partir del intento 111.

El participante B2 fracasa en los tres primeros intentos. Tiene éxito en el intento 4. Fracasa nuevamente en el intento 5. Obtiene éxito en el intento 6. Fracasa en el intento 7. Obtiene éxito en el intento 8 y en el intento 9. Fracasa en el intento 10. Obtiene éxito a partir del intento 11. Sin embargo, su desempeño es muy irregular.

La situación del participante B2 es más delicada, ya que al fracasar en el intento 5, ingresa a la zona de mal desempeño. A partir del intento 43 ingresa a la zona de indefinición. Haciendo una proyección a futuro y sin que cometa un nuevo error, ingresará a la zona de buen desempeño a partir del intento 125.

Haciendo una proyección para los cuatro participantes, suponiendo que ya no tuvieran fracasos, lo cual en los participantes A1 y A2 si es altamente probable, no así en los casos para B1 y B2, cada uno tendría la posibilidad de llegar a la zona de buen desempeño en el intento número:

Participante	Intento
A1	83
A2	69
B1	111
B2	125

En los casos para A1 y A2 el porcentaje de IET exitosa es mayor o igual a 95% (95% y 96.66% respectivamente) para 60 intentos, no así en los casos para B1 y B2, el cual es de 91.66% y 90% respectivamente.

La diferencia en los datos, hacen evidentes los beneficios que se obtienen al usar el simulador.

4.2 Discusión

Se trataba de determinar la eficiencia en la realización de la IET en el paciente real, estableciendo la diferencia entre aquellos aprendices que tuvieron un entrenamiento previo, con aprendizaje significativo, practicando con el simulador y aquellos que carecieron de esta experiencia con el simulador. De esta manera, se buscaron evidencias para demostrar la utilidad del simulador.

De acuerdo con los datos obtenidos, se observa que aquellos médicos que tuvieron un entrenamiento previo usando el Simulador Virtual para Laringoscopia, al momento de realizar la IET en un paciente real, tuvieron éxito en la tarea.

El trabajo en equipo es muy importante, y sobre todo la seriedad y responsabilidad con la que deben conducirse los participantes, ya que cada uno de ellos realiza un rol que resulta importante para el logro de los objetivos del grupo.

Resulta indispensable considerar el hecho de que el empleo adecuado de los recursos didácticos en actividades propias de la práctica de la medicina, permite el logro de los objetivos de aprendizaje. Sin embargo, nos queda claro que la formación de recursos humanos es una tarea que requiere planeación, organización y participación de diversos factores.

Para el caso que nos ocupa, la creación de simuladores resulta ser una muy buena opción para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje, ya que por medio de su uso, las personas que se entrenan con los mismos, tiene mayor probabilidad de lograr aprendizajes significativos.

Por otra parte, se notó que el equipo que no recibió el entrenamiento con el simulador, al ver los resultados obtenidos, presentó gran disposición para tomar la capacitación, aun cuando requería mayor esfuerzo y dedicación debido a las actividades y responsabilidades propias de cada área.

El hacer evidente que los médicos con entrenamiento previo, usando el simulador, lograron mejores resultados, fue una motivación adicional para sumarse al proyecto.

Adicionalmente, surgieron varias inquietudes para crear nuevos simuladores. Sin embargo, también se buscó no generar falsas expectativas, ya que para la realización de los simuladores, lo deseable es que participen grupos multidisciplinarios integrados por médicos, ingenieros, psicólogos y demás, para que cada uno, haciendo uso de sus conocimientos y experiencias, proponga diferentes enfoques para la creación de los simuladores correspondientes.

Por otra parte, y con el fin de validar la calidad de los procesos es necesario aplicar técnicas que nos permitan medir el dominio de ciertas habilidades que, sin duda alguna, son un elemento fundamental por el tipo de servicio que prestan los médicos a la sociedad. De esta manera se tiene la posibilidad de garantizar la calidad en el desempeño de las habilidades ejercidas en la práctica médica. Esas habilidades tienen un impacto sobre la atención a los pacientes y los resultados obtenidos por los equipos y las instituciones.³⁰

La Curva de Suma Acumulada (CUSUM) es una de las técnicas estadísticas conocidas como análisis secuencial. Los test secuenciales fueron desarrollados como un instrumento para evaluar si la calidad de un proceso de producción está “bajo control” (produciendo ítems dentro de un límite definido de calidad) o “fuera de control” y, con base en un regla determinada a priori, interrumpir el proceso, corregirlo y empezar de nuevo dentro del un desempeño aceptable.³¹⁻³³

Entre las diversas habilidades desarrolladas en la práctica anestésica, incluimos la IET. El número de intentos de IET necesarios para adquirir el desempeño, demostrado por residentes en el entrenamiento, varía mucho.³⁴ En anestesia general, la IET difícil se da con una frecuencia entre 0.5% y 2%, pudiendo aumentar cuando se estudian especialidades quirúrgicas aisladamente.³⁵ La falla de IET ocurre con menos frecuencia, variando entre 0.05% a 0.35% dependiendo de la referencia investigada.³⁵⁻³⁷

4.3 Conclusiones

La combinación de la medicina con la ingeniería en computación es una opción válida para la creación de nuevos modelos didácticos propicios para la formación integral de los médicos. Depende de los médicos identificar las necesidades que pudieran ser resueltas a partir del uso de recursos computacionales para una formación más completa.

Dentro de los procesos de enseñanza-aprendizaje, los recursos didácticos tienen un papel muy importante ya que permiten crear diferentes situaciones simuladas orientadas hacia el aprendizaje, permitiendo generar situaciones en un ambiente controlado, medible y reproducible, permitiendo a quien los emplea llevar a cabo un entrenamiento en un ambiente virtual previo a aplicar el proceso de enseñanza en un paciente real.

Por medio del Simulador Virtual para Laringoscopia se modela el laringoscopio, por partes y como un todo, logrando la movilidad del laringoscopio, la creación de ambientes virtuales, la visión desde diferentes ángulos, la interactividad y la generación de situaciones propias para el uso del laringoscopio.

Por otra parte, y con el fin de darle solidez a la investigación, es necesario aplicar mecanismos que permitan demostrar de manera confiable la evaluación del aprendizaje de los médicos en proceso de entrenamiento. Para nuestro caso, la curva CUSUM ayuda a determinar diferentes momentos en el proceso de formación de los aprendices, con el fin de hacer los ajustes necesarios para que el adiestramiento resulte óptimo.

Finalmente, se demostró que aquellos médicos que usan el Simulador Virtual para Laringoscopia en la IET, optimizan el proceso de aprendizaje, motivo por el cual están capacitados para obtener una tasa mayor de intubación exitosa, primero con el simulador y después con pacientes reales, que aquellos que carezcan de este procedimiento de aprendizaje, aumentando en consecuencia la calidad y seguridad en la atención del paciente.

La seguridad del paciente y la alta calidad de los servicios médicos están por encima de cualquier circunstancia, es por eso que los procesos de enseñanza-aprendizaje deben emplear los recursos didácticos a su alcance, o como, es el caso de esta tesis desarrollarlos conforme a las especificaciones dadas por el médico que lleva a cabo la destreza psicomotora, como es la intubación endotraqueal.

Para la realización de este tipo de proyectos es necesario un proceso de planeación con el fin de establecer cada una de las fases y asegurar el logro de los objetivos, con un enfoque multidisciplinario cuando sea factible, pero siempre con la premisa de la atención al paciente.

El proyecto donde interviene el simulador es el resultado de un protocolo de investigación y desarrollo realizado en el Hospital Regional 1° de Octubre del ISSSTE.

BIBLIOGRAFÍA

1. Laredo-Sánchez F, Lifshitz A. Introducción al estudio de la medicina clínica. Un nuevo enfoque. Editorial Prado. México. 2001
2. Gordon J. One to one teaching and feedback. *BMJ* 2003; 326: 543-5
3. Henderson P, Johnson MH. An innovative approach to developing the reflective skills of medical students. *Biomed Central. Medical education* 2002;2:4
4. Spencer J, Blackmore D, Heard S, et al. Patient oriented learning: a review of the role of the patient in the education of medical students. *Medical Education* 2000;34:851-7
5. NHS. Clinical Skills Laboratory
6. Lifshitz A. La enseñanza de la competencia clínica. *Gac Med Mex Vol* 140 N3, 2004
7. Gal TJ. Control de las vías respiratorias en Miller RD. *Anestesia*. 2v 6ª ed. Barcelona: Elsevier; 2005
8. Instrumentación para el manejo de la vía aérea. En: Villarejo M. *PAC Anestesia 1*. México: 1997
9. Zambrano E., Alonso J.A. Intubación endotraqueal y cricotiroidotomía. *An Pediatr Contin* 2004; 2(3): 175-80.
10. Miller RD. *Anestesia*. 2v 6ª ed. Barcelona: Elsevier; 2005
11. Kalawsky RS: *The science of virtual reality and virtual environments*. Workingham, England, Addison-Wesley, 1993.
12. Dávila-Cervantes A. CECAM: una propuesta complementaria en la formación profesional de los médicos de postgrado. *Perinatol Reprod Hum* 2009; 23 (3): 178-181
13. Kohn L, Corrigan J, Donaldson M. *To err is human building a safer health system*. Institute of Medicine. Committee on quality of health care in America. National Academy Press. 2000.
14. Rajadell N. Estrategias para el desarrollo de procedimientos. *Revista Española de Pedagogía*. 2000; 217: 573-592
15. DeVita MA, Schaefer J, Lutz J, Dongill T, Wang H. Improving medical crisis tema performance. *Crit Care Med* 2004; 32 (S2): S61-S65
16. ACGME outcome project. General competencies. Accreditation council for graduate medical education. 2001.
<http://www.acgme.org/outcome/comp/compFull.asp>
17. Plan Único de Especializaciones Médicas. Facultad de Medicina, División de Estudios de Postgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. 1994.
18. *Diccionario Enciclopédico de Términos Médicos University*. 1981:30.
19. *Webster's Universal College Dictionary*. 1997:19

20. Practice guidelines for the management of the difficult airway. American Society of Anesthesiologist Task Force on Management of the Difficult Airway., In: *Anesthesiology*. 1993; 78: 597-602
21. Practice guidelines for the management of the difficult airway. An updated report by the American Society of Anesthesiologist Task Force on management of the difficult airway, In: *Anesthesiology*, 2003; 98:1269-77
22. Butler KH. Management of the difficult airway: alternative airway techniques and adjuncts. *Emergency Clinics of North America* 2003; 23: 259-89
23. Cordes BE. Approaches to managing the upper airway. *Anesthesiology Clinics of North America* 2002; 20: 813-32
24. Lopez-Maya L, Lina-Manjarrez F. manejo de vía aérea difícil no predecible durante colecistectomía, uso de mascarilla laríngea y revisión de la literatura. *Rev Mex Anest* 2008; 31 (4): 322-327.
25. Mateos CME. Vía aérea difícil. Aplicaciones prácticas para su evaluación y manejo. *Rev Mex Anest* 2001;1:145-149
26. Mesa MA. Evaluación histórica del manejo de la vía aérea. *Manual Clínico de la Vía Aérea*. 2° Ed. Manual Moderno. 2001:1-11
27. Korad C, Schüpfer G, Wietlisbach M, Gerber H: Learning manual skills in anesthesiology: Is there a recommended number of cases for anesthetic procedures? *Anesth Analg* 1998; 86: 635-9.
28. Mulcaster JT et al. Laryngoscopic intubation. Learning and performance. *Anesth* 2003; 98: 23-7
29. Seropian. General Concepts in Full Scale Simulation: Getting Started. *Anesth Analg* 2003; 97: 1695-1705
30. Steiner SH, Cook RJ, Farewell VT et al. Monitoring surgical performance using risk-adjusted cumulative sum charts. *Biostatistics*, 2000; 1: 441-452.
31. Bolsin S, Colson M. The use of the Cusum technique in the assessment of trainee competence in new procedures. *Int J Qual Health Care*, 2000; 12:433-438.
32. Anzenello MJ, Fogliatto FS. Curvas de aprendizaje: estado da arte e perspectivas de pesquisa. *Gest Prod*, 2007; 14: 109-123.
33. Williams SM, Parry BR, Schlup MMT. Quality control: an application of the cusum. *Br Med J*, 1992;304: 1359-1361.
34. Broenstrup LB, Flores JE, et al. Aplicación de la curva CUSUM para evaluar el entrenamiento de la intubación orotraqueal con el laringoscopio TruviewEvo2. *Rev Bras Anestesiol*, 2009; 59: 3: 182-187.
35. Boisson-Bertrand D, Bourgain JL, Camboulives JL et al. Intubation difficile. *Ann Fr Anesth Reanim*, 1996; 15: 207-214.

36. Reed AP. Evaluation and recognition of the difficult airway, em: Hagberg CA. Benumof's airway management: principles and practice, 2nd Ed, Philadelphia, Mosby-Elsevier, 2007: 221-235.
37. Barak M, Philipchuck P, Abecassis P et al. A comparison of the Truview blade with the Macintosh blade in adults patients. *Anaesthesia*, 2007; 62: 827-831.