



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Evaluación de un sistema de emulación de sonidos cardiacos y respiratorios en el contexto de la adaptación neonatal y escenarios clínicos básicos en la atención del recién nacido

Diana Patricia Pedraza Alfonso

**Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina
Departamento de Pediatría
Bogotá, D.C.
2015**

Evaluación de un sistema de emulación de sonidos cardiacos y respiratorios en el contexto de la adaptación neonatal y escenarios clínicos básicos en la atención del recién nacido

Diana Patricia Pedraza Alfonso
Código: 274315

Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Perinatología y Neonatología

Director:

Dr. Luis Carlos Méndez Córdoba

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina

Departamento de Pediatría

Bogotá, D.C.

2015

A mi familia por apoyarme en este largo camino lleno de satisfacciones y sacrificios, al Profesor Luis Carlos Méndez Córdoba por su estímulo y apoyo incondicional, a todos los recién nacidos y padres quienes nos enseñan que todo es posible.

Agradecimientos

A todos los miembros del Grupo de Investigación en Electrónica de Alta Frecuencia y Telecomunicaciones (CMUN) de la Universidad Nacional de Colombia por la oportunidad de trabajar en equipo en el desarrollo y evaluación del emulador neonatal, en especial a los Ingenieros Electrónicos Camilo Andrés Ruiz Beltrán desarrollador del emulador y Yury Estepa Avellaneda por su colaboración al desarrollo de este trabajo.

A los profesores del Departamento de Pediatría y de la División de Neonatología, quienes contribuyeron con su ejemplo, responsabilidad, conocimiento, tenacidad y entrega a mi formación profesional así como al Instituto Materno Infantil y a la Fundación Hospital de la Misericordia.

Resumen

El resumen es una presentación abreviada y precisa (la NTC 1486 de 2008 recomienda). En este trabajo se hace un recuento de la historia del arte de la simulación clínica y de la simulación neonatal para posteriormente describir los desarrollos propios de la Universidad Nacional de Colombia. En una prueba piloto se evalúa un sistema de emulación de sonidos cardiacos y respiratorios neonatales, el 70% de los evaluadores consideró que el maniquí es similar a un recién nacido, en cuanto a textura y color el 60% evaluó este ítem como similar a la realidad y el 80% aseguró que las características del cordón umbilical son poco similares a la realidad y que se debían ser mejoradas. Un 80% de los expertos consideró que los sonidos son muy similares a la realidad y al evaluar las situaciones clínicas de bradicardia, taquicardia, paro cardiorespiratorio, normal, bradipnea y polipnea, la tasa de acierto entre los evaluadores fue 0.97. El emulador evaluado puede complementar las prácticas del taller de simulación neonatal respondiendo en costos e interactividad a la filosofía de la Universidad Nacional de Colombia.

Palabras clave: Simulación clínica, simulación neonatal, emulación, evaluación, aprendizaje.

Abstract

This paper will examine the main theoretical and practical elements of clinical simulation history and art, as well as neonatal simulation, under the scope of Colombian National University research and practical developments in those fields. In a pilot test, a neonatal heart and breathing sounds emulator system is evaluated with the following results: 70% of researchers considered the test dummy as similar to a newborn in color and texture, 60% evaluated this aspect as similar to reality and simulation for later describe neonatal own developments of the National University of Colombia is made. In a pilot test an emulation system for cardiac and neonatal respiratory sounds is evaluated, 70% of the evaluators considered that the dummy is like a newborn, in texture and color 60% rated this item as being similar to reality and 80% indicated that the umbilical cord features are less similar to reality and should be improved, 80% of experts considered that sounds are highly similar to reality and when evaluating clinical situations of bradycardia, tachycardia, cardio respiratory arrest, normal, bradypnea and polypnea, their succes rate was 0.97. Tested emulator can support and complement neonatal simulation workshop practices according to Colombian National University guidelines in terms of costs and interactivity.

Keywords: Clinical simulation, neonatal simulation, emulation, evaluation, learning

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de figuras	X
Lista de tablas	XI
Introducción	1
1. Definición del problema	3
2. Objetivos	5
2.1 General	5
2.2 Específicos.....	5
3. Marco referencial	7
3.1 Conceptos básicos	7
3.2 Recuento histórico del desarrollo de la simulación.....	10
3.3 Maniqués de entrenamiento y simuladores pediátricos y neonatales	13
3.4 Desarrollos propios	19
3.5 Descripción del sistema de emulación de sonidos cardiacos y respiratorios	23
3.6 Estudios de verificación y validación en simulación	27
4. Metodología	31
5. Resultados y discusión	33
5.1. Resultados.....	33
5.2. Conclusiones	36
A.Anexo: Formato I de evaluación	39
B.Anexo: Formato II de evaluación	43
Bibliografía	49

Lista de figuras

	Pág.
Figura 3.1: Victor ICU Newborn.....	13
Figura 3.2: Procedimientos que permite practicar Victor ICU Newborn	14
Figura 3.3: Newborn HAL S3010.....	15
Figura 3.4: Sim Baby TM	16
Figura 3.5: SimNewB	17
Figura 3.6: NeoNatalie	18
Figura 3.7: Primer simulador desarrollado para emular rubicundez y cianosis	19
Figura 3.8: Interfaz gráfica de programador de medicamentos	20
Figura 3.9: Interfaz gráfica Neosim	21
Figura 3.10: Interfaz docente del simulador	22
Figura 3.11: Maniquí de entrenamiento sistema hemodinámico	22
Figura 3.12: Componentes del sistema de emulación de sonidos cardiacos y respiratorios	24
Figura 3.13: Diagrama de bloques que esquematiza el funcionamiento del emulador.....	25
Figura 3.14: Evaluación inicial del emulador	27
Figura 5.1: Características de los evaluadores	33
Figura 5.2: Experiencia de los evaluadores	34

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3.1: Escenarios clinicos planteados	26
Tabla 5.1: Evaluación de las características del maniquí	34
Tabla 5.2: Evaluación de la calidad de los sonidos	35
Tabla 5.3: Acierto inter evaluador en las situaciones clínicas planteadas	35

Introducción

La atención neonatal se desarrolla en ambientes dinámicos y complejos dados por la necesidad de actuar contra el tiempo, con sistemas de monitoreo muy sensibles y pequeños, con nuevas evidencias científicas, con alta carga emocional, con dilemas éticos y, además la necesidad de trabajar en equipo. Como resultado la probabilidad de cometer errores aumenta, por lo que desde el año 2010 la Academia Americana de Pediatría (AAP) y la Asociación Americana del Corazón (AHA), recomiendan que la simulación sea una herramienta de enseñanza imprescindible en el ámbito neonatal para mejorar los resultados. 1

En el mercado existen diversos maniqués de entrenamiento, el más conocido es Sim NewB® en su versión estándar y avanzada fabricado por Laerdal® en asociación con la Academia Americana de Pediatría (AAP). Se trata de un simulador interactivo diseñado para adaptarse a los requerimientos de entrenamiento de los programas de resucitación neonatal, con un costo, en la versión avanzada completa para el 2013 de 31.303 dólares, precio que no incluye los kit de accesorios, consumibles, monitores ni licencias. Dentro de sus especificaciones cuenta con sonidos normales y anormales respiratorios y cardíacos que son generados por el maniquí, programados según el escenario clínico y que se auscultan con un fonendoscopio convencional. 2, 3

En el año 2009 el Profesor Luis Carlos Méndez Córdoba, Pediatra Perinatólogo y Neonatólogo se une al Grupo de Investigación en Electrónica de Alta Frecuencia y Telecomunicaciones (CMUN) de la Universidad Nacional de Colombia en la línea de investigación Simulación y Emulación de Sistemas Biológicos para Entrenamiento en Áreas de las Ciencias de la Salud con el objetivo de crear simuladores y emuladores neonatales que se utilicen en la Adaptación Neonatal Inmediata y que se adapten en costos e interactividad a la filosofía, visión y metodología de la escuela de Perinatología y Neonatología de la Universidad Nacional de Colombia, con tecnología local y disponible.

Este trabajo hace un recuento de los orígenes de la simulación, las etapas evolutivas de su desarrollo, las categorías de la simulación clínica y grados de fidelidad de la misma, se describen los simuladores comerciales disponibles en la actualidad para posteriormente describir los desarrollos propios en el campo de la simulación y emulación neonatal logrados por el Grupo CMUN y a la vez grupo de expertos evalúa en una prueba piloto el sistema de emulación de sonidos cardiacos y respiratorios desarrollado para los emuladores neonatales.

Se plantea la simulación clínica como herramienta educativa que desde la academia contribuya a disminuir la mortalidad neonatal al lograr un entrenamiento adecuado en habilidades clínicas que solo se adquieren con la práctica verificada, como la auscultación cardiaca y respiratoria en el contexto de la adaptación neonatal inmediata, reconociendo oportunamente situaciones clínicas básicas que de no ser identificadas, investigadas sus causas y tratadas ponen en riesgo al recién nacido en las primeras horas de vida, todo esto en un ambiente seguro sin poner en riesgo al recién nacido.

1. Definición del problema

Los primeros 28 días de vida – el periodo neonatal- representan la etapa más vulnerable para la supervivencia de un niño. Según la Organización Mundial de la Salud en el 2013, cerca del 45 % de las muertes en menores de 5 años ocurrieron en este periodo a pesar de que a nivel mundial la mortalidad neonatal ha disminuido 2% cada año desde el 1990, de 33 a 21 muertes por cada 1000 nacidos vivos. 4 Según el Análisis de la Situación de Salud del 2013 en Colombia la tendencia es similar, la mortalidad neonatal constituye el 63% de las muertes infantiles a pesar de la reducción de la mortalidad neonatal que pasó de 9.55 en el 2007 a 7.81 por cada mil nacidos vivos en el año 2011.5

Dado que el 75% de las muertes neonatales ocurren en la primera semana de vida y cerca del 36% ocurren en las primeras 24 horas de vida, se estima que hasta dos tercios de estas muertes podrían ser prevenidas si personal médico experto realiza medidas eficaces durante el nacimiento y durante la primera semana de vida. 4 Se ha planteado como meta que para el año 2035, cada país debería tener 10 o menos muertes neonatales por cada 1000 recién nacidos vivos o diez o menos nacidos muertos por cada 1000 nacimientos.6 Para ayudar a lograr esta meta, la simulación se convierte en piedra angular en el entrenamiento médico sin poner en riesgo la vida del paciente.

Durante el periodo de formación universitaria de pre y post grado es fundamental desarrollar las habilidades clínicas necesarias para reconocer situaciones clínicas como dificultad respiratoria, taquicardia, bradicardia, apnea y paro que ponen en riesgo al recién nacido durante la adaptación neonatal. Sin embargo, estas habilidades no siempre es posible adquirirlas dada la baja exposición de los estudiantes principalmente de pregrado a recién nacidos en estado crítico, estando generalmente como observadores sin tener una vivencia real de la situación que amenaza al recién nacido.

Actualmente el taller de simulación neonatal durante la formación de pregrado, postgrado en Pediatría y especialización en Perinatología y Neonatología de la Universidad

4 Evaluación de un sistema de emulación de sonidos cardiacos y respiratorios en el contexto de la adaptación neonatal y escenarios clínicos básicos en la atención del recién nacido

Nacional de Colombia se realiza en el Centro de Simulación de la Clínica Santa Rosa, futuro Hospital Universitario, con recursos técnicos limitados. Se cuenta con simuladores de uso específico y baja tecnología: una cabeza para intubación orotraqueal y un maniquí de cuerpo completo que no se adaptan a los conceptos de adaptación neonatal propios de la escuela de Perinatología y Neonatología y sin contar con simuladores de tareas complejas por los altos costos de los existentes en el mercado.

A partir de esta limitación desde el 2009 en el grupo de investigación CMUN trabajan de forma interdisciplinaria Ingenieros Eléctricos y Electrónicos y Especialistas en Perinatología y Neonatología en el desarrollo de simuladores y emuladores neonatales con tecnología local y a un bajo costo que además se adapten a los conceptos y filosofía de la escuela.

En el año 2013 se desarrolló un emulador de auscultación neonatal el cual no ha sido evaluado aun por la comunidad médica, esta evaluación es necesaria para poder continuar con el desarrollo y mejoramiento tecnológico de los desarrollos propios.

2.Objetivos

2.1 General

Evaluar un sistema de emulación de sonidos cardiacos y respiratorios en el contexto de la adaptación neonatal y escenarios clínicos básicos en la atención del recién nacido.

2.2 Específicos

Describir los orígenes de la simulación, las etapas evolutivas de su desarrollo, las categorías de la simulación clínica, grados de fidelidad de la misma y simuladores comerciales.

Exponer los desarrollos propios en el campo de la simulación y emulación neonatal logrados por el Grupo CMUN.

Evaluar en una prueba piloto el emulador de sonidos cardiacos y respiratorios del Grupo CMUN

3.Marco referencial

3.1 Conceptos básicos

Simular es representar algo, fingiendo o imitando lo que no es. 7 En el área de la salud, consiste en situar a un estudiante en un contexto que imite algún aspecto de la realidad clínica. Es una técnica no una tecnología, para sustituir o ampliar las experiencias reales a través de experiencias guiadas, que evocan o replican aspectos sustanciales del mundo real de una forma totalmente interactiva 8. En un enfoque pedagógico la simulación es un término genérico para la representación artificial de un proceso de la vida real, que pretende lograr metas educativas por medio del aprendizaje de experiencias.

La simulación crea un ambiente ideal para la educación, debido a que las actividades pueden diseñarse para que sean predecibles consistentes, estandarizadas, seguras y reproducibles. Sin embargo, no reemplaza los escenarios clínicos reales pero permite que el estudiante aprenda, en medios controlados, contribuyendo a mejorar sus habilidades clínicas y a disminuir la ansiedad ante la realización de un examen o un procedimiento mejorando el cuidado y los desenlaces de los pacientes sin ponerlos en riesgo.9

Emular, se refiere a imitar las acciones de otro procurando igualarlo o superarlo. Emulación en el ámbito de la ingeniería es la simulación de equipos o de fenómenos por medios artificiales como el modelado de software 7. En el contexto del trabajo de investigación del Grupo CMUN, se ha definido un emulador como un maniquí modificado con los componentes mecánicos, eléctricos o electrónicos de señales e imágenes diseñados que lo hacen estructural y funcionalmente capaz de superar la realidad.

En la literatura se han descrito varias categorías de simulación. 8, 9, 10, 11. Una de las más aceptadas es la de David Gaba 12, quien tomó los conceptos de la simulación en aviación y los aplicó a la sala de operaciones con el fin de mejorar el entrenamiento de los anestesiólogos y lograr una mayor seguridad para el paciente. Él clasificó la simulación en:

- Simulación verbal, es simplemente un juego de roles.
- Simulación de pacientes estandarizados, son actores usados para evaluar las habilidades en el interrogatorio, el examen físico, las habilidades comunicativas y profesionalismo.
- Simulación de partes anatómicas, son modelos de partes del cuerpo en estado normal o anormal, en esta categoría también se incluyen los simuladores modernos de tareas quirúrgicas.
- Simulación de pacientes informáticos, son interactivos y pueden estar basados en software o parte de un mundo virtual basado en Internet con un costo reducido.
- Simulación de pacientes electrónicos, son la forma más completa de simulación, puede ser un maniquí o estar basado en realidad virtual aseguran una replicación del entorno integral.

Otra clasificación es la realizada por Ziv, quien divide las herramientas de simulación en cinco categorías principales:

- Simuladores de uso específico y de baja tecnología: En inglés *part task trainers*, son modelos diseñados para replicar sólo una parte del organismo y del ambiente por lo que sólo permiten el desarrollo de habilidades psicomotoras básicas. Por ejemplo, un brazo para punción venosa o una cabeza para intubación traqueal.
- Pacientes simulados o estandarizados: Actores entrenados para actuar como pacientes. Se utilizan para entrenamiento y evaluación de habilidades en obtención de la historia clínica, realización del examen físico y comunicación.
- Simuladores virtuales en pantalla: Son programas computacionales que permiten simular diversas situaciones, en áreas como la fisiología, farmacología o problemas

clínicos, e interactuar con el o los estudiantes. Su principal objetivo es entrenar y evaluar conocimientos y la toma de decisiones. Una ventaja es que permite el trabajo de varios estudiantes a la vez; de hecho, actualmente hay programas para entrenamiento de trabajo en equipo.

-Simuladores de tareas complejas: Mediante el uso de modelos y dispositivos electrónicos, computacionales y mecánicos, de alta fidelidad visual, auditiva y táctil se logra una representación tridimensional de un espacio anatómico. Dichos modelos generados por computadores son frecuentemente combinados con *part task trainers* que permiten la interacción física con el ambiente virtual. Usados para el entrenamiento de tareas complejas, permiten desarrollar habilidades manuales y de orientación tridimensional, adquirir conocimientos teóricos y mejorar la toma de decisiones. Ha sido utilizada ampliamente en cirugía laparoscópica y procedimientos endoscópicos.

-Simuladores de paciente completo: Maniqués de tamaño real, manejados computacionalmente que simulan aspectos anatómicos y fisiológicos, que permiten desarrollar competencias en el manejo de situaciones clínicas complejas y para el trabajo en equipo.⁸.

Un concepto importante y que ha sido objeto de discusión es el de fidelidad. La fidelidad es la medida en la que la apariencia y el comportamiento del simulador o la simulación coinciden con la apariencia o comportamiento del sistema simulado, determinando si la simulación es de baja, intermedia o alta fidelidad.

- Simulación de baja fidelidad, se trata de modelos que simulan sólo una parte del organismo, usados generalmente para adquirir habilidades motrices básicas en un procedimiento simple o examen físico; por ejemplo, la instalación de una vía venosa periférica o la auscultación cardiaca básica.

- Simulación de fidelidad intermedia, se combina el uso de una parte anatómica, con programas computacionales de menor complejidad que permiten al instructor manejar variables fisiológicas básicas con el objetivo de lograr el desarrollo de una competencia. Por ejemplo, dispositivos para el entrenamiento de reanimación cardiopulmonar.

- Simulación de alta fidelidad: Integra múltiples variables fisiológicas para la creación de escenarios clínicos realistas con maniqués de tamaño real. El fin es entrenar competencias técnicas avanzadas y competencias en el manejo de crisis.⁸

El termino fidelidad también ha sido usado para definir complejidad o tecnología; sin embargo la fidelidad no es siempre proporcional a la tecnología utilizada. Por ejemplo, cuando se realiza la entrevista médica a un paciente simulado, en el que además se le tiene que examinar el rojo pupilar, se trata de una simulación de muy alta fidelidad ya que se acerca mucho a la realidad, sin embargo, es un escenario de baja complejidad y escasa tecnología. ^{8,11}.

3.2 Recuento histórico del desarrollo de la simulación

La simulación tiene sus orígenes en la aviación. En 1929 y a raíz de la necesidad de entrenar a los pilotos y a las altas tasas de accidentes aéreos atribuidos a error humano, el estadounidense Edwin Link inventa y patenta el primer simulador de vuelo, “la caja azul de entrenamiento de vuelo”, siendo para la época una forma fácil, segura y menos costosa para enseñar a volar. En 1930 abre su propia escuela de aviación y demuestra el valor educacional de su simulador. El despliegue militar de la Segunda Guerra Mundial incrementa la necesidad de entrenamiento y Link desarrolla el Celestial Navigation Trainer, un simulador para entrenamiento en bombardeo aéreo y el primer modelo específico de un aeroplano. En 1955 la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos exigió que los pilotos se recertificaran por medio de la simulación para mantener las licencias a pilotos comerciales.¹⁰

Los primeros avances relacionados con la simulación en medicina, se dieron en la década de los sesenta. El origen de varios maniqués que se utilizan en la actualidad en todo el mundo es Resusci-Anne, desarrollado en los años 60 por el empresario noruego dedicado a la creación de juguetes de plástico Asmund Laerdal motivado por el anesthesiólogo Bjorn Lind y el Dr. Peter Safar, con la finalidad de ayudar a los médicos a comprender y practicar la respiración de boca a boca. Este simulador podía obstruir su vía aérea y era necesario realizar hiperextensión del cuello para realizar ventilaciones exitosas, posteriormente con la evidencia del masaje cardíaco se le agregó un resorte

interno en el tórax para que se pudieran practicar las compresiones en el mismo, así nació la posibilidad de entrenar el «ABC» de la reanimación cardiorespiratoria.¹²

También a mediados de los años 60, el ingeniero de la Universidad del Sur de California, el Dr. Stephen Abrahamson y un médico de la misma institución, el Dr. Judson Denson desarrollaron a Sim One. Éste era un simulador altamente realista, controlado por una computadora híbrida, ya que era digital y análoga y que mantenía características de alta fidelidad como movimientos torácicos con cada ventilación, la capacidad de parpadear, las pupilas se dilataban o contraían y la mandíbula se abría y cerraba. Los creadores argumentaban que su utilidad era para enseñar a los residentes a realizar inducciones anestésicas sin poner en riesgo a un paciente. Pero Sim One no tuvo aceptación, y lamentablemente de Sim One sólo queda el registro en video, al parecer la tecnología era muy cara en ese momento para su comercialización. 12, 13, 14, 15, 16,17.

En 1968, se presentó en una sesión científica de la American Heart Association el simulador conocido como Harvey, que fue desarrollado por el Dr. Michael Gordon, inspirado en su maestro el Dr. Proctor Harvey de la Universidad de Georgetown y con la colaboración del Centro para la Investigación en Educación Médica (CRME). Este simulador también presentaba características de alta fidelidad como poder obtener la presión arterial por auscultación, pulsos, ruidos cardíacos en cuatro focos sincronizados con el pulso y que varían con la respiración. También podía simular diferentes enfermedades cardíacas al poder modificarse su presión, respiración y recreación de ruidos cardíacos patológicos.

En 1987, el Dr. David Gaba y sus colegas de la Universidad de Stanford fabricaron el primer prototipo de maniquí utilizado para estudiar el comportamiento humano en anestesia llamado C.A.S.E. 1.2 (*Comprehensive Anesthesia Simulation Environment*). Éste utilizaba diferentes herramientas como generadores de ondas con un monitor de presión no invasiva unido a una computadora y a un maniquí donde se podían manipular los signos vitales para simular eventos críticos. Posteriormente, se desarrolló el C.A.S.E. 2.0 que incluía un microprocesador de parámetros fisiológicos y que se integró en una sala de operaciones real, con una máquina de anestesia real y con el resto del equipo de una sala de operaciones real hicieron de éste, el primer simulador de alta fidelidad en un ambiente realista.

El sistema C.A.S.E. fue llevado a Boston en 1992, el objetivo evaluar el modelo educativo con el simulador, durante 10 semanas de sesiones participaron especialistas, residentes y enfermero(as) anesthesiólogos de los hospitales afiliados a la Universidad de Harvard. El éxito del mismo llevó a la creación del Centro para la Simulación en Anestesia, que posteriormente cambió su nombre por el Centro para la Simulación Médica (*Center for Medical Simulation*) y que fue el primero en adoptar estas tecnologías fuera de los centros donde se desarrollaban. A partir de ese momento, diversas empresas de forma independiente comenzaron a producir diferentes maniqués y simuladores para capacitar médicos en diferentes especialidades. 10,12,15,17.

En la década de los 90 la compañía Gaumard Scientific se interesó en los eventos críticos perinatales y desarrolló un simulador de parto que incluía un maniquí de un recién nacido capaz de simular cianosis central y periférica, incursionando así la simulación neonatal en ámbito educativo a través del programa de entrenamiento de la Universidad de Stanford. Para el final de esta década, la simulación de pacientes humanos y del manejo de crisis se extrapola de la anestesiología a otras especialidades como la medicina de guerra, cuidado intensivo, pediatría, emergenciológica, cirugía, traumatología e incluso a la odontología usando múltiples maniqués de simulación.10,18.

En el 2000, se comienzan a fabricar simuladores de fidelidad intermedia a la mitad del costo de los de alta fidelidad. Laerdal introdujo el primer maniquí SimMan, creado para el entrenamiento de habilidades relacionadas con la resucitación. Este maniquí generaba sonidos cardiovasculares y respiratorios y le ofrecía al docente la posibilidad de desarrollar escenarios o usar algunos predeterminados en el sistema. A su vez Medical Education Technologies Inc lanzó su maniquí de simulación. En el 2005 llegan al mercado los maniqués pediátricos informatizados y la compañía SIMA introduce un monitor, 8 escenarios de entrenamiento y el software necesario para el proceso de reanimación neonatal.10,17.

Es posible resumir la historia de la simulación en tres períodos históricos: 1) Los precursores, desde 1929 hasta la década de los sesenta, marcada por los simuladores de vuelo aunque también se cita otras aplicaciones en el ámbito militar y de la medicina; 2) Los pioneros, desde los sesenta a fines de los ochenta, partiendo con Laerdal,

Abrahamson, Gravenstein y Gaba, quienes desarrollaron simuladores complejos, capaces de replicar características anatómicas y eventos fisiológicos; 3) La consolidación, en las dos últimas décadas, con la aceptación creciente de la simulación como un complemento y a veces como sustituto ventajoso de la formación clínica. Se desarrollan maniqués de mayor sofisticación y a precios más accesibles, surgen también un gran número de simuladores de tareas específicas quirúrgicas, diagnósticas y de procedimientos. Paralelamente, se desarrolla la investigación sobre la utilidad de la simulación clínica en el desarrollo de competencias clínicas 8.

3.3 Maniqués de entrenamiento y simuladores pediátricos y neonatales

Actualmente en el mercado existen varios maniqués pediátricos y neonatales de entrenamiento. Tellyes Scientific, empresa China del sector de la salud, desarrollo a **Victor ICU Newborn** (EMI0300001ASC) que simula a un lactante de 6 meses se ilustra en la Figura 3.1. Tiene componentes que le dan alto realismo como piel suave y flexible, pupilas que cambian de tamaño automáticamente de acuerdo a la condición incluyendo miosis, midriasis y pupilas normales, un software integrado permite examinar el reflejo pupilar, generar cianosis, sonidos guturales y llanto.

Figura 3.1: Victor ICU Newborn.



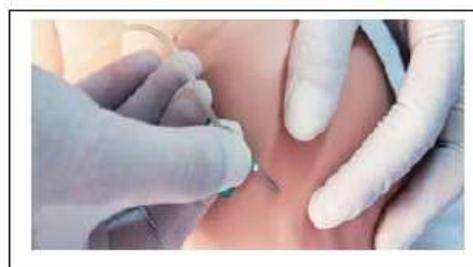
Se puede entrenar el manejo de la vía aérea: máscara de ventilación, máscara laríngea, intubación nasal y orotraqueal, simular laringoespasma y broncoobstrucción, auscultar sonidos respiratorios normales y patológicos, medir Co_2 al final de la espiración y saturación de oxihemoglobina en tiempo real mostrando cambios dinámicos. El tórax

presenta movimiento espontaneo con la respiración, se puede conectar a un equipo de monitoreo cardiovascular, responde a maniobras de desfibrilación y reanimación cardiopulmonar, se pueden auscultar los sonidos intestinales y escuchar las flatulencias. Permite realizar punciones venosas, palpar pulsos, realizar punción intraósea, punción transfontanelar y monitorear en tiempo real la temperatura, además de interactuar con equipos de monitoreo invasivo, bombas de infusión de medicamentos, cardio desfibriladores (Figura 3.2). El costo actual en el mercado es de 50.000 dólares. 2.

Figura 3.2: Procedimientos que permite practicar Victor ICU Newborn



OPERACIÓN RCP



PUNCION IV EN LA CABEZA



APLICACIÓN DEEA



MANEJO VIA AEREA

Gaumard, Simulators for Health Care Education, desarrollo **Newborn HAL S3010**, el modelo estándar incluye simulación de cianosis, movimientos respiratorios y permite realizar la escala de Apgar (Figura 3.3). Está disponible en diferentes tonos de piel para simular recién nacidos caucásicos, mestizos y de raza negra, una batería interna recargable con autonomía de 4 horas, conexión por wireless a tabletas o computadoras personales, entrenamiento automático, usa escenarios programados y permite crear nuevos. La vía aérea permite ventilación con dispositivo bolsa-mascara, maniobra de Sellick y visualización de cuerdas vocales, intubación nasal y orotraqueal, cuenta con sensores para detectar intubación, controlar la frecuencia y profundidad de la respiración

y los movimientos del tórax, un detector de las compresiones torácicas, se auscultan los sonidos respiratorios y cardiacos, palpación de onda de pulso, medida de presión arterial por método palpatorio o auscultatorio, simulación de los ruidos de Korotkoff, conexión a electrocardiógrafo de 12 canales, palpación de pulsos umbilical, braquial. Emite sonidos de llanto, se puede simular convulsiones, tono y postura muscular cambiando los ángulos de las extremidades. Inserción de sondas de alimentación, auscultación de ruidos intestinales, cateterización de vasos umbilicales. El color y los signos vitales responden a eventos hipóxicos, tiene genitales intercambiables y se puede practicar cateterización vesical. Los signos vitales se grafican en un monitor y tiene programados 20 escenarios clínicos basados en el esquema S.T.A.B.L.E. 19. El costo del simulador es de 59.119,93 dólares sin incluir el CD de soporte de los casos clínicos con un valor de 5.995 dólares 20,21.

Figura 3.3: Newborn HAL S3010.



Sim Baby TM, es un simulador manufacturado por Laerdal Corporation, representa un lactante de 18-24 meses el cual se puede intubar y que se conecta a una interfaz grafica.(Figura 3.4). Cuenta con una vía aérea que presenta cierta dificultad para la intubación simulando una vía aérea difícil, el tórax se mueve con las respiraciones, se pueden auscultar los sonidos respiratorios, los pulsos son palpables, emite sonidos como quejido, llanto y tos y permite la canalización de de vasos periféricos y punción intraósea 22.

Figura 3.4: Sim Baby TM



Con el fin de mejorar el modelo anterior, Laerdal junto con la Academia Estadounidense de Pediatría (AAP) diseñó a **SimNewB**, representa de manera precisa a un recién nacido a término, femenino, en el percentilo 50, que mide 21 pulgadas (53,3 cm) y pesa 7 lbs. (3,170 kg), en versión estándar y una avanzada (Figura 3.5). Se pueden simular una amplia variedad de condiciones del paciente, que varían desde un recién nacido cianótico sin signos vitales, flácido hasta un recién nacido vigoroso y llorando. La vía aérea está diseñada para permitir la capacitación en el uso de dispositivos de presión positiva, tubos endotraqueales y mascarillas laríngeas. El cordón umbilical patentado tiene pulso como el de la vida real, que puede evaluarse, cortarse y cateterizarse para acceso IV.

Es un simulador interactivo que responde a los escenarios de capacitación del Programa de Resucitación Neonatal (NRP). Los escenarios pre programados brindan capacitación estandarizada mientras que los escenarios personalizados y el instructor en tiempo real controlan la adaptación del escenario a las necesidades del estudiante individual.

Figura 3.5: SimNewB

Al tener características realistas y respuestas clínicas de un recién nacido como en la vida real, SimNewB ayuda a los profesionales de la atención de la salud neonatal a mejorar la dinámica del equipo, construir confianza y practicar en un ambiente libre de riesgos, para su funcionamiento se requiere de SimPad™ System, software que se vende por separado. Dentro de las ventajas de este simulador se encuentran: ayuda a optimizar el entorno educativo al brindar experiencias de capacitación con simulación de pacientes altamente realistas para la práctica del trabajo en equipo, liderazgo y habilidades de comunicación, SimNewB está diseñado para integrarse fácilmente en todos los programas de capacitación neonatales, al estar disponible en las versiones Estándar y Avanzada, la capacitación escalable con SimNewB le permite a los instructores variar las simulaciones desde la sala de partos hasta la sala de terapia intensiva neonatal, el diseño innovador de la interfaz de usuario y los escenarios le permite a los instructores controlar las respuestas del simulador a través de la sesión de capacitación con sólo pulsar un botón en un control remoto portátil o una PC laptop, los materiales de soporte de simulación del Programa de Resucitación Neonatal (incluidos con la compra de SimNewB) se relacionan directamente con los materiales del curso del NRP, facilitando el brindar simulaciones consistentes, reforzando los contenidos del NRP, y permitiéndole a los instructores integrar fácilmente la simulación en el NRP y otros programas de capacitación neonatal.

Su costo en el 2013 era de 31.303 dólares, precio que no incluye los kit de accesorios (pupilas intercambiables, kid de anomalías congénitas), consumibles (cordón umbilical, panel de cianosis, simulador de sangre, lubricante de vía aérea y piernas de reemplazo con un precio aproximado de 1.000 dólares), monitores (Tablet PC Instructor 2.100 dólares, monitor SimPad portátil 3.000 dólares) ni licencias de software, por ejemplo la

licencia del Neonatal Resuscitation Program Scenarios for SimNewB tiene un valor de 1.925 dólares, en total su precio puede oscilar como mínimo en 40.000 dólares. 3,25.

NeoNatalie de Laerdal Medical, es un simulador inflable diseñado para el aprendizaje de las técnicas básicas de la resucitación neonatal (Figura 3.6). Desarrollado para responder a los principales requerimientos de formación en los pasos iniciales de la resucitación, durante los 10 primeros minutos de la vida del neonato, NeoNatalie es una herramienta eficaz para optimizar la formación con la mejor relación calidad-precio. Tiene un tamaño y apariencia realista, se puede rellenar con agua tibia (2 litros) para darle un peso y una textura que se acerque a la realidad.

Incorpora características como la respiración espontánea, la posibilidad de palpación umbilical y llanto, se puede utilizar en escenarios de aprendizaje (juego de roles), de técnicas de cuidado post-parto normal, resucitación estándar y técnicas de resucitación incluida ventilación con presión positiva y compresiones torácicas, el pecho solo se levanta si la ventilación se efectúa correctamente. Una pera le permite simular el primer grito del neonato, la respiración espontánea y el pulso umbilical.

Figura 3.6: NeoNatalie



NeoNatalie ha sido desarrollada para ayudar en el entrenamiento de millones de personas que atienden partos en los países en vías de desarrollo en cursos de resucitación neonatal como [Helping Babies Breathe](#). Es un simulador neonatal de baja tecnología y bajo costo, su costo en Europa es de 590 euros 23.

3.4 Desarrollos propios

Desde el año 2009 y como resultado del trabajo interdisciplinario entre el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y la División de Perinatología y Neonatología y dentro de la línea de investigación de implementación de la Tecnología de Identificación por Radio Frecuencia y de Simulación y Emulación de Sistemas Biológicos para Entrenamiento en Áreas de las Ciencias de la Salud, se han creado emuladores neonatales con el objetivo de crear a futuro emuladores de paciente completo que se adapten en costos, interactividad y pedagogía a la visión de la escuela de Perinatología y Neonatología de la Universidad Nacional de Colombia.

Se han desarrollado cuatro tesis de grado y una de maestría. En diferentes etapas el grupo ha trabajado de forma separada diferentes elementos del nuevo emulador: un simulador de pantalla virtual que recrea frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, presión arterial sistémica y pulmonar, señal de pulso, temperatura cutánea y rectal y registro electro cardiográfico de capnografía; sistema hidráulico para estimación de presión venosa central, simulador de masaje inductor ventilatorio e interfaz de administración de medicamentos y sistema hidráulico para estimación de presión venosa central un emulador de sonidos cardiacos y respiratorios 17, 26, 27, 28, 29, 30,31.

El primer sistema desarrollado permitió emular condiciones relacionadas con el sistema cardiovascular: frecuencia cardíaca y pulso; así como de algunas patologías y respuestas del neonato frente a un procedimiento y/o la aplicación de un medicamento, entre las cuales se encuentran: taquicardia, bradicardia, cianosis y fiebre. (Figura 3.7).

Figura 3.7: Primer emulador desarrollado por Grupo CMUN



Este fue el primer acercamiento a la emulación de escenarios clínicos usando herramientas de comunicación inalámbrica para favorecer el aprendizaje de los estudiantes de las áreas de la salud. El objetivo principal era determinar los efectos de aplicar un medicamento a un paciente neonatal, para un determinado escenario clínico, teniendo una lista de medicinas predeterminada, el peso del paciente y la dosis suministrada.

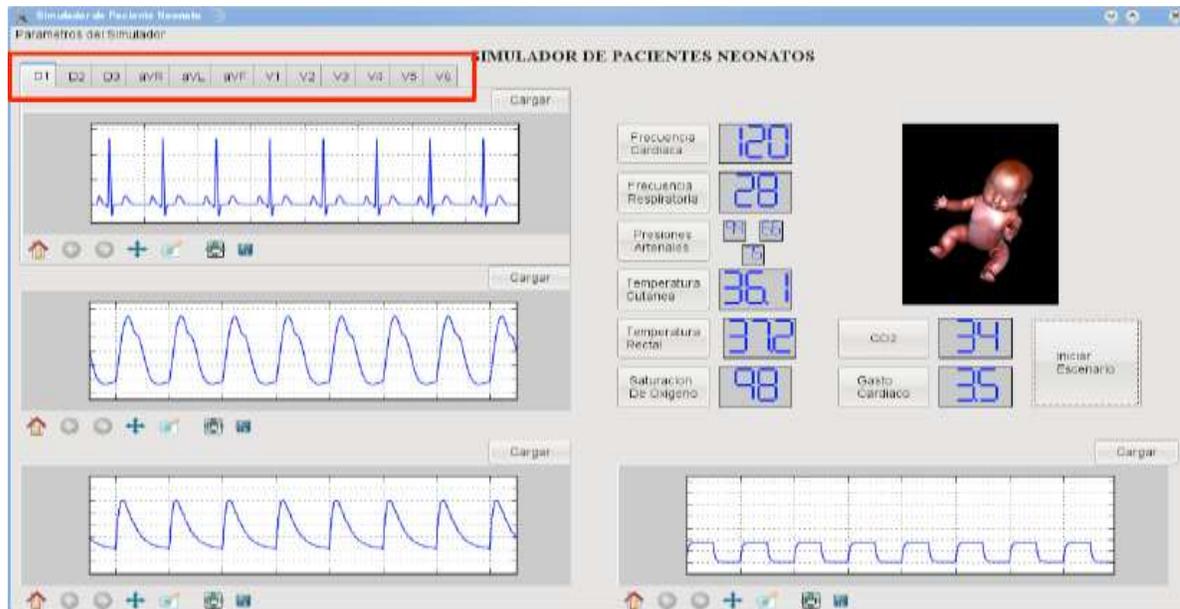
El sistema posee dos interfaces: interfaz docente e interfaz estudiante en práctica. (Figura 3.8). La primera brinda la posibilidad de generar escenarios clínicos como taquicardia, bradicardia, fiebre; modificando variables como frecuencia cardíaca, temperatura, etc.

Figura 3.8: Interfaz gráfica del programador de medicamentos



La segunda interfaz le permite al estudiante en práctica ver señales gráficas de la frecuencia cardíaca y del pulso, temperatura y elegir entre un listado de medicamentos, la que considere adecuada para los síntomas que presenta 27,31.

Por otro lado, en el año 2010 se implementó un sistema de simulación interactivo de un paciente neonato para entrenamiento médico, que contó con la representación de las señales ECG, de pulso y de niveles de O₂ (Saturación) y concentración de CO₂ (Capnografía). (Figura 3.9). Este simulador genera estas señales, de forma muy aproximada, usando ecuaciones diferenciales para representar los trazos y las relaciones entre ellos 30,31.

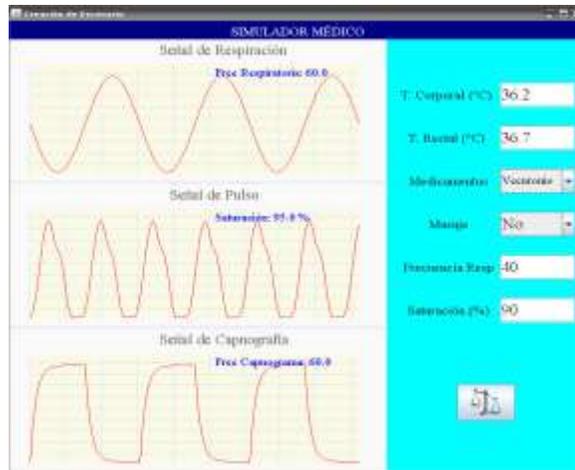
Figura 3.9: Interfaz gráfica de Neosim

Los siguientes dos proyectos desarrollados seguirían la estructura del emulador cardiovascular, aplicada a otros sistemas del recién nacido. A partir de entonces se ha empleado como maniquí un modelo comercial de recién nacido elaborado por la Fábrica de Muñecos Infantiles de Colombia, elaborado en PVC referencia “Dormilón”.

En el año 2012, se trabajó en la representación de tres escenarios clínicos relacionados con el sistema respiratorio a través de un maniquí de entrenamiento que permitiera la aplicación de medicamentos para tratar patologías respiratorias como apnea o bradipnea y taquipnea; la representación de signos vitales como temperatura, frecuencia respiratoria, señal de pulso y de capnografía, y la aplicación del llamado Masaje Inductor Respiratorio, técnica propia de la Escuela de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia. 28, 32,33.

Este trabajo también usó dos interfaces: interfaz docente y estudiante en práctica para su manejo independiente. (Figura 3.10). A través de la primera se puede programar un escenario clínico teniendo en cuenta los efectos de la aplicación de algún tipo de medicamento a la madre (Relajante, Anestésico) en la respiración neonatal, y otras variables como las temperaturas corporal y rectal, frecuencias respiratorias y saturación de oxígeno por hemoglobina. Los cambios en las señales se realizan de forma gradual dependiendo del escenario clínico presentado y de la medicina aplicada.

Figura 3.10: Interfaz docente del simulador



Ese mismo año, se desarrolló un emulador de entrenamiento que permitiera el aprendizaje relacionado con el sistema hemodinámico (Figura 3.11). El sistema permite la representación de señales como la frecuencia cardíaca y la presión arterial, el manejo de temperaturas y pesos corporales, a través de dos interfaces gráficas para docente y estudiante. Así mismo, este sistema incluye el uso de bolsas con soluciones hidro electrolíticas o hidro glucosadas para suministro de medicamentos y un sistema de capacitancia y medición de volumen llamado buretrol.

Figura 3.11: Maniquí de entrenamiento sistema hemodinámico



Estos dos últimos emuladores, recrearon los escenarios usando comunicación inalámbrica, para que brindara un mayor realismo al ambiente de simulación y aprendizaje al que se ve sometido el estudiante.

En el año 2013 se realizó una adecuación para unificar los sistemas cardiovascular y respiratorio en un solo maniquí de entrenamiento, con el fin de brindar una herramienta más versátil en el aprendizaje de los estudiantes de las áreas de la salud. A finales de ese mismo año, se desarrolló un fonendoscopio que permite auscultar sonidos cardíacos, vasculares y respiratorios, generados al interior del maniquí de entrenamiento, utilizando seis puntos de auscultación (ampliados a ocho). Este último proyecto se integró a los emuladores neonatales que se han elaborado en el grupo de investigación. 31.

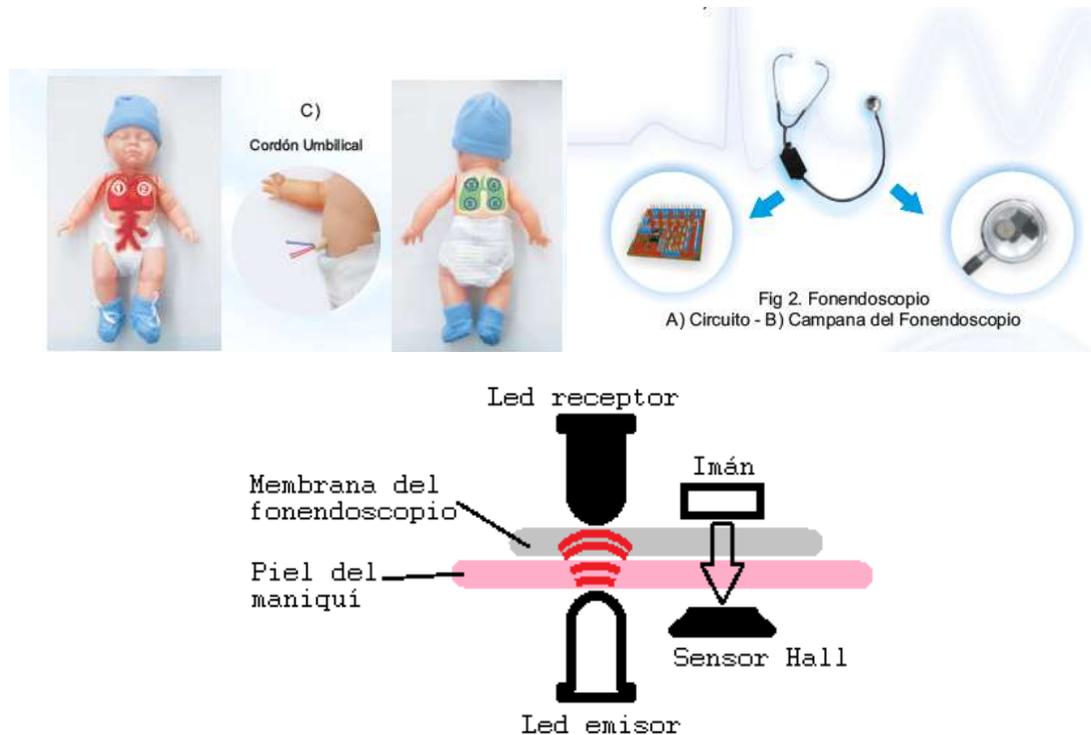
Actualmente se está trabajando en optimizar desde el punto de vista tecnológico estos desarrollos, hacerlos más robustos y reproducibles para posteriormente evaluarlos por separado, realizar mejoras y unirlos en un solo maniquí conectado a la interfaz gráfica.

3.5 Descripción del sistema de emulación de sonidos cardíacos y respiratorios

El emulador consta de dos partes: el maniquí y los elementos electrónicos que se encuentran en su interior, y la otra el fonendoscopio como tal (Figura 3.12).

El maniquí representa a un recién nacido a término de aproximadamente 40 semanas de edad gestacional con un peso de 3800 gramos, longitud 49 cm y perímetro cefálico de 36 cm, referencia “Dormilón” elaborado en PVC por la Fabrica de Muñecos Infantiles de Colombia en Bogotá, el cual se ha modificado con los componentes electrónicos necesarios para el funcionamiento del emulador.

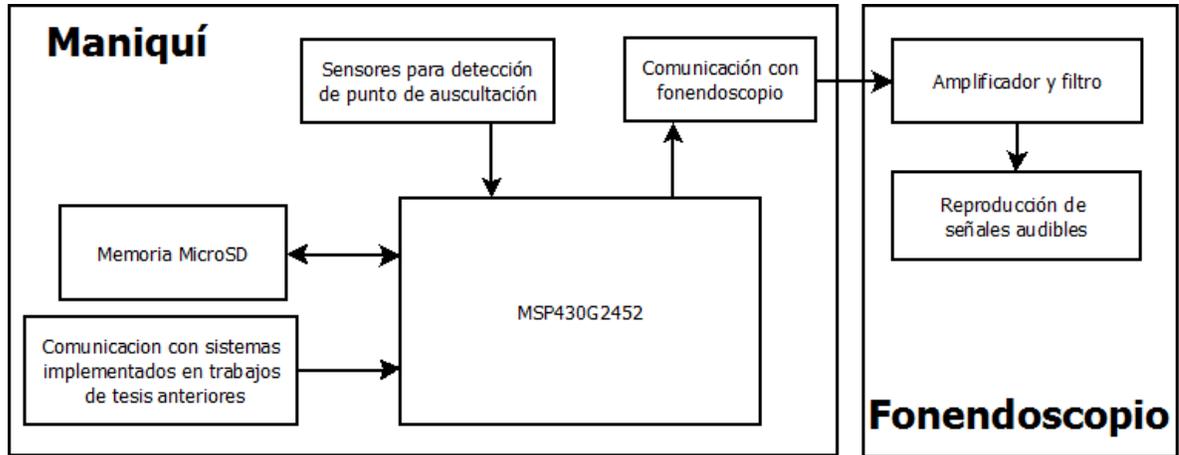
Figura 3.12: Componentes del sistema de emulación de sonidos cardiacos y respiratorios



El fonendoscopio es un modelo pediátrico que tiene un imán en el diafragma y un diodo receptor de infrarrojos, que está adaptado para interactuar con el maniquí en puntos específicos del tórax anterior y posterior para reproducir los sonidos cardiacos y respiratorios, los puntos de auscultación por temas técnicos deben estar marcados o previamente localizados al evaluador antes de la prueba ya que la localización debe ser precisa para lograrse la emisión de los sonidos.

En la figura 3.13 se puede esquematizar su funcionamiento. El fonendoscopio activa la comunicación por medio de infrarrojos al estar en contacto con puntos establecidos en el maniquí, de esta manera la señal solo debe atravesar la piel del maniquí y la membrana del estetoscopio asegurando la línea de vista entre estos y excluyendo los demás puntos. Para este fin se pone un led emisor junto a un sensor hall en cada punto de auscultación. Según el punto de contacto, se escuchan los signos vitales correspondientes a los sistemas cardiovascular y respiratorio.

Figura 3.13: Diagrama de bloques que esquematiza al funcionamiento del emulador



Según el punto de auscultación escogido, se debe escuchar uno de los dos con mayor intensidad. El microcontrolador se comunica con los sistemas que se implementaron en trabajos anteriores, con esto se obtiene el caso clínico a emular, con este dato, se selecciona un archivo de audio en formato WAV en la memoria SD. Dicho archivo contiene los sonidos respiratorios y cardiacos diferenciados. Los sensores de contacto, se activan con la cercanía de un imán y se encargan de detectar el punto de auscultación. Con este dato el micro controlador procesa y mezcla los sonidos y luego los envía mediante un infrarrojo modulado en PWM al fonendoscopio.

Las señales de audio fueron grabadas con la ayuda del Doctor Luis Carlos Méndez Córdoba, de pacientes neonatos en el Hospital de Engativa usando un fonendoscopio Littmann 4300 que ofrece una calidad de 4000 muestras por segundo y permite exportar al formato WAV. Estos sonidos se modificaron usando software libre Audacity 29.

La velocidad de reproducción se varía según los escenarios clínicos que se implementaron en trabajos previos, son 8 casos que se pueden ver en la siguiente tabla.

Tabla 3.1: Escenarios clínicos programados

Identificador (Comunicación)	Frecuencia cardíaca	Frecuencia respiratoria	Comentarios acerca del escenario
000	0	0	Paro cardiovascular absoluto
001	40	18	Paro cardiovascular relativo
010	40	50	Bradycardia inducida con medicamentos
011	100	50	Paciente durmiendo
100	140	80	Paciente respirando agitado
101	140	50	Paciente normal
110	200	50	Taquicardia
111	190	75	Fiebre

Los proyectos realizados se han validado desde el punto de vista técnico, reconociendo el cumplimiento de sus especificaciones de diseño y operación.

En una evaluación inicial el doctor Luis Carlos Méndez Córdoba realizada el 27 de enero de 2014, probó los seis puntos de auscultación existentes y recomendó ajustar las mezclas de sonidos cardiacos y respiratorios (Figura 3.14). Entre sus comentarios afirmó que se logro una fidelidad en el sonido que él no había escuchado en ningun otro emulador. Sin embargo, un componente fundamental del desarrollo de este proyecto es la evaluación y validación del sistema emulador por expertos de las áreas de las Ciencias de la Salud.

Figura 3.14: Primera evaluación clínica

3.6 Estudios de verificación y validación en simulación

El proceso de verificación en simulación consiste en comprobar que el modelo simulado cumple con los requisitos de diseño para los que se elaboró. Se trata de evaluar que el modelo se comporta de acuerdo a su diseño, este proceso de verificación de los desarrollos propios en emulación realizados en la universidad ha sido superado en cada uno de los modelos en la evaluación a que se han sometido desde el punto de vista de la ingeniería.

La validación de sistemas se refiere a la etapa en la que se valoran las diferencias entre el funcionamiento del simulador y el sistema real que se está tratando de simular. Una de las formas más comunes de validar un modelo es la opinión de expertos, otros recursos tiene en cuenta la exactitud con la que se predicen los datos, la exactitud en la predicción del futuro, la comparación de falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar el sistema real, la aceptación y confianza en el modelo de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento de la simulación 35.

Luego de una búsqueda en la base de datos Medline, con los términos MeSH Neonatal Simulation and Validation, de un total de 30 artículos relacionados solo uno describe un estudio en el que expertos validan un simulador neonatal. Se trata de un trabajo realizado en el Centro de Educación en Medicina de la Escuela de Medicina Feineberg en la Universidad de Northwstem en Estados Unidos publicado en Journal of Pediatric Surgery en marzo del 2013, él se describe el desarrollo y la validación de un simulador de alta fidelidad que anatómicamente se correlaciona con un modelo real de tejidos bovinos para el entrenamiento de la corrección por vía toracoscópica de la atresia esofágica/fistula traqueoseofágica en neonatos diseñado para el entrenamiento de cirujanos pediatras.³⁷ La validación se realiza por opinión de expertos que evalúan atributos físicos, realismo de materiales, realismo de la experiencia, habilidad para usar el simulador; estableciendo una escala de calificación de 1 a 5.

El instrumento de recolección de datos de este estudio se ha adaptado en un nuevo formato que tiene en cuenta el nivel de entrenamiento del evaluador, los años de experiencia y experiencias previas en simulación, consta de 16 preguntas de selección múltiple o de completar y de 20 ítems, cada uno puede ser evaluado en una escala de 1 a 4. Estos 20 ítems califican en el maniquí: características físicas y realismo de los materiales; en el fonendoscopio: características físicas y realismo de los materiales; en los sonidos cardiacos y respiratorios: realismo de los sonidos; realismo de la experiencia. En una escala de 1 a 4 que evalúa cualitativamente las características: 1) No es en absoluto realista, 2) Carece de características importantes para ser útil, 3) Realismo adecuado, pero se podría mejorar, 4) Muy realista, no es necesario realizar cambios. Se calificara la relevancia para la enseñanza y la práctica clínica del emulador, la escala cualitativa a usar incluye: 1) No la conoce; 2) No tiene valor; 3) Tiene algún valor; 4) Tiene poco valor; 5) Tiene alto valor (Ver anexo B).

Con una escala similar se evalúa el realismo de la experiencia, para ello se adecuará en la Unidad de Adaptación Neonatal del Hospital de la Victoria Sede Materno Infantil y en el Hospital de Engativa una lámpara de calor radiante con el maniquí donde se recrearán las situaciones clínicas y se evaluarán también las características físicas y el realismo de los materiales del maniquí y del fonendoscopio. Para evaluar la validez de las respuestas que se obtendrán en el test se aplicara la teoría del modelo de Rasch.

Esta segunda fase está actualmente en desarrollo, los cambios tecnológicos que surgieron luego del estudio piloto incluyen hacer más robusto el sistema para garantizar un óptimo funcionamiento de todos los elementos electrónicos necesarios así como realizar cambios en el aspecto externo.

4. Metodología

neonatal, así como de las tesis de grado sobre el tema realizadas en la Universidad Nacional de Colombia.

Durante un año se trabajó de forma interdisciplinaria con los estudiantes de pregrado y maestría de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el desarrollo de los emuladores. Como resultado de este trabajo se realizó una compilación de los desarrollos propios en el área de simulación neonatal, decidiéndose evaluar el modelo de emulación de sonidos cardiacos y respiratorios.

Para la evaluación del modelo de emulación de ruidos cardiacos y respiratorios se realizó una prueba piloto en el Hospital de la Victoria Sede Materno Infantil, se trata de un estudio cualitativo de evaluación por criterio de expertos.

La hipótesis a probar es que el sistema de emulación de sonidos cardiacos y respiratorios emula de forma adecuada situaciones clínicas básicas en el contexto de la adaptación neonatal inmediata siendo muy similar a la realidad y puede constituirse en una herramienta de entrenamiento y aprendizaje.

Se diseñó un instrumento de recolección de datos donde las variables a evaluar en los expertos fueron el nivel de entrenamiento y los años de experiencia; en el emulador el aspecto general, la textura, el color, las proporciones corporales, el cordón umbilical y la calidad de los sonidos cardiacos y respiratorios al momento de la auscultación. Se establecieron las categorías: muy similar, similar y poco similar a la realidad para realizar la evaluación del maniquí de entrenamiento y del emulador de los sonidos cardiacos y respiratorios.

Con un código binario se programaron en el emulador cinco estados clínicos a identificar mediante la auscultación: bradicardia, apnea, paro cardiorespiratorio, taquicardia, bradipnea, polipnea y normal. Inicialmente el maniquí se programó en situación de normalidad y se indico al experto el momento en el que comenzaría la variación de los sonidos, se dispuso de 20 segundos para identificar la situación clínica.

Aunque no era un objetivo del trabajo se evaluó la interfaz gráfica del sistema respiratorio y del modulo de administración de medicamentos diseñado por el Grupo CMUN, se realizaron preguntas abiertas para que el evaluador pudiera opinar de forma libre y dar sugerencias que ayuden a mejorar el desarrollo de la misma.

Posteriormente se realizó la retroalimentación con los ingenieros para realizar las mejoras técnicas y conceptuales del emulador.

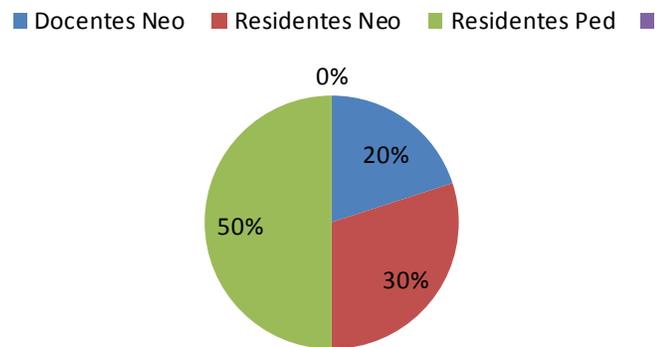
Se considera que este estudio no tiene limitaciones éticas, se trata de una investigación sin riesgo, según el Artículo 10 párrafo A de la Resolución No. 008430 del 4 de octubre de 1993 por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud 36.

5.Resultados y discusión

5.1. Resultados

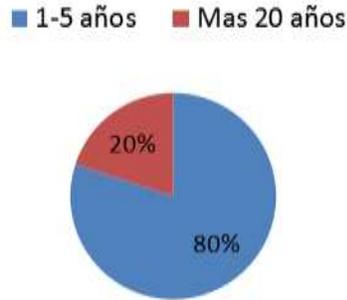
La prueba piloto fue aplicada a 10 profesionales de la salud: 2 Profesores de Neonatología, 3 médicos pediatras cursando Especialización en Perinatología y Neonatología y 5 residentes de Pediatría (Figura 5.1). Un 20 % de los evaluadores fueron Docentes de Perinatología y Neonatología, 30 % pediatras residentes de Perinatología y Neonatología y un 50 % residentes de Pediatría, todos de la Universidad Nacional de Colombia.

Figura 5.1: Características de los evaluadores



En cuanto al nivel de experiencia (Figura 5.2.), el 80% tiene 1-5 años y un 20 % más de 20 años de experiencia.

Figura 5.2: Experiencia de los evaluadores



La tabla 5.1 resume los resultados de la evaluación de las características del maniquí. Cerca de tres cuartas partes (70%) de los evaluadores consideran que el maniquí es similar a un recién nacido de las características descritas. En cuanto a la textura y el color un poco más de la mitad (60 %) evaluó este ítem como similar a la realidad, y la mayoría (80 %) aseguro que las características del cordón umbilical son poco similares a la realidad y que se deben hacer mejoras en cuanto a la apariencia.

Tabla 5.1: Evaluación de las características del maniquí

	Muy similar	Similar	Poco similar
Aspecto General	0%	70%	30%
Textura	0%	60%	40%
Color	10%	60%	30%
Cordón umbilical	0%	20%	80%

Al evaluar la calidad de los sonidos cardiacos y respiratorios (Tabla 5.2), la mayoría de los expertos (80%) considera que los sonidos son muy similares a la realidad.

Tabla 5.2: Evaluación de la calidad de los sonidos

	Muy similar	Similar	Poco similar
Sonidos cardíacos	80%	20%	0%
Sonidos respiratorios	80%	10%	10%

Casi todos los evaluadores (97%) coincidieron a la hora de reconocer por medio de la auscultación las situaciones clínicas planteadas como se ilustra en la tabla 5.3.

Tabla 5.3: Acierto inter evaluador en las situaciones clínicas planteadas

	Bradicardia	Taquicardia	Paro Cardiorespiratorio	Normal	Bradipnea	Polipnea
E1	✓	✓	✓	✓	✓	✓
E2	✓	✓	✓	✓	✓	✓
E3	✓	X	✓	✓	✓	✓
E4	✓	✓	✓	✓	✓	✓
E5	X	✓	✓	✓	✓	✓
E6	✓	✓	✓	✓	✓	✓
E7	✓	✓	✓	✓	✓	✓
E8	✓	✓	✓	✓	✓	✓
E9	✓	✓	✓	✓	✓	✓
E10	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Dentro de las observaciones realizadas en la prueba de auscultación, uno de los evaluadores considero que el sitio de la auscultación marcado no es el utilizado en la práctica clínica, además que los sonidos respiratorios en el contexto de la adaptación neonatal no se auscultan en el dorso dado que usualmente el recién nacido está en posición supina y que no existía libertad para la ubicación del fonendoscopio lo que le resta realismo al emulador.

Al evaluar la interfaz grafica del modulo de administración de medicamentos el 50 % piensa que esta interfaz es amigable. Las observaciones que se realizaron incluyen mejorar el color de los signos vitales y diferenciar el modulo de administración de

medicamentos neonatal y crear otro modulo que represente la administración de medicamentos a la madre. Además se sugirió agregar registro de pulso oximetría, derivación DII de electrocardiograma e incluir medicamentos como dextrosa, solución salina y bicarbonato.

5.2. Conclusiones

La simulación tuvo sus orígenes en la aviación y se extendió a la medicina con el desarrollo de maniqués para el entrenamiento del ABC de la reanimación cardiorespiratoria, para posteriormente incursionar en la simulación de eventos perinatales, neonatales y pediátricos en la década de los 90's. Actualmente existe suficiente evidencia que soporta su uso como una herramienta de aprendizaje imprescindible para mejorar la atención de los recién nacidos, y así contribuir a disminuir la mortalidad neonatal y mejorar los resultados a largo plazo.

En la prueba piloto realizada con expertos, entre ellos dos con más de veinte años de experiencia, la mayoría de las características evaluadas fueron calificadas como similares o muy similares a la realidad y el porcentaje de acierto en el reconocimiento de las situaciones clínicas fue de casi el 100 %. También se concluyó que el emulador necesita modificaciones tecnológicas para mejorar el aspecto especialmente del cordón umbilical, miniaturizar los componentes electrónicos, reacomodar los puntos de auscultación de los sonidos respiratorios y dar autonomía al evaluador a la hora de la auscultación. Se realizó la retroalimentación a los ingenieros desarrolladores y actualmente se están realizando los cambios tecnológicos necesarios antes de una nueva evaluación por expertos, la validez de estas respuestas se evaluará con el Modelo de Rash.

El emulador de sonidos cardíacos y respiratorios desarrollado, puede complementar las prácticas del Taller de Simulación Neonatal integrándose a los maniqués ya existentes que permiten practicar intubación orotraqueal y compresiones cardiacas pero no auscultación, respondiendo en costos e interactividad a la filosofía de la Universidad Nacional de Colombia además de contribuir a la investigación y el desarrollo de tecnologías propias que den respuesta a problemas locales estimulando el trabajo en equipo e interfacultades.

A.Anexo: Formato I de evaluación

SISTEMA DE EMULACIÓN DE SONIDOS CARDÍACOS Y RESPIRATORIOS EN EL CONTEXTO DE LA ADAPTACIÓN NEONATAL INMEDIATA Y EN ESCENARIOS CLÍNICOS

El maniquí de entrenamiento representa a un recién nacido a término de aproximadamente cuarenta (40) semanas, con peso de 3800 gramos.

A. CARACTERÍSTICAS DEL MANIQUÍ

En la primera parte, se solicita marcar con una equis (X) la categoría que usted considere para cada una de las siete variables relacionadas en la tabla siguiente:

	MUY SIMILAR	SIMILAR	POCO SIMILAR
ASPECTO GENERAL			
TEXTURA			
COLOR			
PROPORCIONES CORPORALES			
CORDÓN UMBILICAL			
SONIDOS CARDÍACOS			
SONIDOS RESPIRATORIOS			

Tabla 1. Evaluación Cualitativa Maniquí de Entrenamiento Neonatal

INTERFAZ GRÁFICA

A continuación se presentaran una serie de preguntas. Responda **SI** o **NO**. Justifique su respuesta.

1. ¿La interfaz gráfica es amigable (colores, distribución de módulos)?
2. ¿La interfaz gráfica representa adecuadamente las variables del sistema respiratorio?
3. ¿Cree usted que la información presentada en la Interfaz Gráfica está completa? En caso contrario, indique lo que agregaría.
4. ¿Le parece pertinente el módulo de administración de medicamentos implementado en la Interfaz Gráfica?

B. ESCENARIOS CLÍNICOS

A continuación, usted deberá determinar el estado clínico en el que se encuentra el maniquí de entrenamiento, luego de auscultar tras 20 segundos los ruidos respiratorios y cardíacos.

Para esto se programará una frecuencia cardíaca y respiratoria determinada. Al comienzo la frecuencia cardíaca y respiratoria del recién nacido estarán en una situación clínica de normalidad y se indicará el momento en el que comienza la variación de los sonidos.

1. ¿En qué estado se encuentra el neonato luego de su valoración clínica? Marque con una equis (X), la opción correcta:

- a) Bradicardia
- b) Apnea
- c) Paro cardiorespiratorio
- d) Taquicardia
- e) Normal

2. ¿En qué estado se encuentra el neonato luego de su valoración clínica? Marque con una equis (X), la opción correcta:

- a) Bradicardia
- b) Apnea
- c) Paro cardiorespiratorio
- d) Taquicardia
- e) Normal

3. ¿En qué estado se encuentra el neonato luego de su valoración clínica? Marque con una equis (X), la opción correcta:

- a) Bradicardia
- b) Apnea
- c) Paro cardiorespiratorio
- d) Taquicardia
- e) Normal

4. ¿En qué estado se encuentra el neonato luego de su valoración clínica?
Marque con una equis (X), la opción correcta:

- a) Bradicardia
- b) Apnea
- c) Paro cardiorespiratorio
- d) Taquicardia
- e) Normal

B.Anexo: Formato II de evaluación

EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE EMULACIÓN DE SONIDOS CARDÍACOS Y RESPIRATORIOS EN EL CONTEXTO DE LA ADAPTACIÓN NEONATAL Y ESCENARIOS CLÍNICOS BÁSICOS EN LA ATENCIÓN DEL RECIÉN NACIDO

Necesitamos su ayuda para el desarrollo y validación de un nuevo emulador neonatal de sonidos cardiacos y respiratorios. Por favor tome el tiempo necesario para responder las siguientes preguntas:

1. NIVEL DE ENTRENAMIENTO:

Profesor de: Pediatría ____ Neonatología ____

Pediatra ____ Neonatólogo ____

Residente de neonatología: Primer año ____ Segundo año ____

Residente de pediatría: Primer año ____ Segundo año ____ Tercer año ____

Enfermera Jefe en unidad neonatal ____

Interno especial de neonatología ____

Estudiante de octavo semestre rotando por Neonatología ____

2. AÑOS DE EXPERIENCIA:

<1 año ____ 1-5 años ____ 6-10 años ____ >10-<15 años ____ ≥15 años ____ Desconocida ____

3. HA REALIZADO ALGUNA VEZ PRÁCTICAS DE SIMULACIÓN NEONATAL?

Sí ____ No ____

4. CONOCE EL NOMBRE DE ALGÚN MANIQUÍ DE SIMULACIÓN NEONATAL?

Sí ____ No ____

Nombre _____

5. EN EL CONTEXTO DE SU PRÁCTICA CLÍNICA DURANTE LA ADAPTACIÓN NEONATAL HA AUSCULTADO A UN RECIÉN NACIDO EN SITUACIÓN DE INESTABILIDAD?

Sí ____ No ____

6. CARACTERÍSTICAS DEL MANIQUÍ:

El maniquí representa a un recién nacido a término de 38-40 semanas con peso aproximado de 3500 gramos; por favor complete la siguiente tabla

	No es en absoluto realista (1)	Carece de características importantes para ser útil (2)	Realismo adecuado, pero se podría mejorar (3)	Muy realista, no es necesario realizar cambios (4)
--	-----------------------------------	---	---	--

42 Evaluación de un sistema de emulación de sonidos cardiacos y respiratorios en el contexto de la adaptación neonatal y escenarios clínicos básicos en la atención del recién nacido

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS				
Aspecto general				
Color				
Peso corporal				
Longitud corporal				
Perímetro cefálico				
Perímetro torácico				
Perímetro abdominal				
Proporciones corporales				
Cordón umbilical				
REALISMO DE LOS MATERIALES	No es en absoluto realista (1)	Carece de características importantes para ser útil (2)	Realismo adecuado, pero se podría mejorar (3)	Muy realista, no es necesario realizar cambios (4)
Impresión general del simulador				
Piel				
Cordón umbilical				
Comentarios: Por favor deje sus comentarios o sugerencias para mejorar las características físicas del maniquí y de los materiales.				

7. CARACTERÍSTICAS DEL FONENDOSCOPIO:

El fonendoscopio representa un modelo neonatal; por favor complete la siguiente tabla

	No es en absoluto realista (1)	Carece de características importantes para ser útil (2)	Realismo adecuado, pero se podría mejorar (3)	Muy realista, no es necesario realizar cambios (4)
CARACTERÍSTICAS				

FÍSICAS				
Aspecto y realismo de los materiales				
Tamaño de la campana				
Comodidad al usarlo				
Comentarios: Por favor deje sus comentarios o sugerencias para mejorar las características físicas fonendoscopio.				

8. PRUEBA DE AUSCULTACIÓN Y RECONOCIMIENTO DE ESCENARIOS CLÍNICOS:

A continuación, usted deberá determinar el estado clínico en el que se encuentra el maniquí de entrenamiento por medio de la auscultación. Cuando se le pida reconocer ruidos cardiacos el fonendoscopio debe estar ubicado en las marcas rojas, cuando se le pida reconocer los ruidos respiratorios el fonendoscopio debe estar ubicado en las marcas azules. Inicialmente la frecuencia cardíaca y respiratoria del recién nacido estarán en una situación clínica de normalidad y se indicará el momento en el que comienza la variación de los sonidos.

Reconocimiento de situación clínica al auscultar sonidos cardiacos:

Escenario 1:

Apnea___ Bradicardia___ Paro cardiorespiratorio ___ Taquicardia___ Normal ___

Código: 010

Escenario 2:

Apnea ___ Bradicardia ___ Paro cardiorespiratorio ___ Taquicardia ___ Normal ___

Código: 100

Escenario 3:

Apnea ___ Bradicardia ___ Paro cardiorespiratorio ___ Taquicardia___ Normal ___

Código: 111

Escenario 4:

Apnea ___ Bradicardia___ Paro cardiorespiratorio ___ Taquicardia ___ Normal___

Código: 101

Reconocimiento de situación clínica al auscultar sonidos respiratorios

Escenario 1:

Normal ___ Taquipnea___ Paro cardiorespiratorio ___ Bradipnea ___

Código a determinar

Escenario 2:

Normal ___ Taquipnea___ Paro cardiorespiratorio ___ Bradipnea ___

Código a determinar

9. REALISMO DE LOS SONIDOS

44 Evaluación de un sistema de emulación de sonidos cardiacos y respiratorios en el contexto de la adaptación neonatal y escenarios clínicos básicos en la atención del recién nacido

	No es en absoluto realista (1)	Carece de características importantes para ser útil (2)	Realismo adecuado, pero se podría mejorar (3)	Muy realista, no es necesario realizar cambios (4)
REALISMO DE LOS SONIDOS CARDIACOS				
Comentarios: Por favor deje sus comentarios o sugerencias sobre el realismo de los sonidos cardiacos				
REALISMO DE LOS SONIDOS RESPIRATORIOS				
Comentarios: Por favor deje su comentarios o sugerencias sobre el realismo de los sonidos respiratorios				

10. REALISMO DE LA EXPERIENCIA

	No la conoce (1)	No es en absoluto realista (2)	Carece de características muy importantes para ser real (3)	Realismo adecuado, pero se podría mejorar (4)	Muy realista, no es necesario realizar cambios (5)
REALISMO DE LA EXPERIENCIA					
Comentarios: Por favor deje sus comentarios y o sugerencias para mejorar el realismo de la experiencia con el emulador					

11. RELEVANCIA DEL EMULADOR PARA LA ENSEÑANZA Y LA PRÁCTICA CLÍNICA:

	No la conoce (1)	No tiene valor (2)	Tiene algún valor (3)	Tiene poco valor (4)	Tiene alto valor (5)
VALOR DEL EMULADOR COMO HERRAMIENTA					

EDUCATIVA					
VALOR DEL EMULADOR COMO HERRAMIETA DE PRUEBA DE HABILIDADES					

12. POR FAVOR MARQUE LA O LAS AFIRMACIONES CON LAS QUE ESTÉ DE ACUERDO:

Este emulador necesita muchas modificaciones antes de ser considerado una herramienta de entrenamiento.

Este emulador necesita pocas modificaciones antes de ser considerado una herramienta de entrenamiento clínico.

Este emulador puede ser considerado como una herramienta de entrenamiento para reconocer situaciones clínicas básicas en la adaptación neonatal pero necesita algunas modificaciones.

Este emulador puede ser considerado con una herramienta de entrenamiento para reconocer situaciones clínicas básicas en la adaptación neonatal y no necesita modificaciones.

13. ¿QUE CAMBIOS CREE QUE SON NECESARIOS PARA MEJORAR EL EMULADOR NEONATAL? Por favor descríbalos en el espacio

GRACIAS POR SU TIEMPO Y SU DISPOSICIÓN. ESPERAMOS CONTARLE PRONTO ACERCA DE NUESTROS AVANCES...

ANEXO SOLO PARA EL EVALUADOR

Uso o no de reloj para determinar los escenarios clínicos según el nivel de entrenamiento

Profesor de Pediatría: Si No
 Profesor de neonatología : Si No
 Pediatra: Si No
 Neonatólogo: Si No
 Residente de neonatología:

46 Evaluación de un sistema de emulación de sonidos cardiacos y respiratorios
en el contexto de la adaptación neonatal y escenarios clínicos básicos
en la atención del recién nacido

Primer año: Si____ No____

Segundo año: Si____ No____

Residente de pediatría:

Primer año: Si____ No____

Segundo año: Si____ No____

Tercer año: Si____ No____

Enfermera Jefe en unidad neonatal: Si____ No____

Interno especial de neonatología: Si____ No____

Estudiante de octavo semestre rotando por Neonatología: Si____ No____

Bibliografía

1. Anderson JD, Warren JB. Using simulation to enhance the acquisition and retention of clinical skills in neonatology. *Seminars in Perinatology*. 2011.
2. Teylles Scientific. Victor ICU New born. [En línea]. Disponible en: <http://en.tellyes.com/product/4fa1041bde2a9.html> Fecha de consulta: 25/10/2014
3. Laerdal Medical, Especificaciones del emulador neonatal SimNewB. [En línea]. Disponible en: <http://ftp.heartbeatinc.ca/pdf/Laerdal%20Price%20List%202013.pdf> Fecha de consulta: 25/10/2014
4. World Health Organization, global health observatory- Neonatal mortality. [En Línea] Disponible en http://www.who.int/gho/child_health/mortality/neonatal_text/en/ Fecha de consulta: 27/10/2014
5. Análisis de la situación de salud. Colombia, 2013. [En Línea]. Disponible en www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/.../RIDE/.../ASIS%2024022014.pdf Fecha de consulta: 15/11/2014
6. U Samarasekera, U Horton. The Word we want for every newborn child. *Lancet* 2014. . [En Línea] Mayo 20. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60837-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60837-0)
7. Simular y emular. [En Línea] disponible en <http://www.wordreference.com> Fecha de consulta: 27/10/2014
8. M Corveto et al. Simulación en educación médica: una sinopsis. Universidad Católica de Chile. En *Rev Med Chile* 2013; 141: 70-79.
9. A Ruíz-Parra, E Ángel-Muller, O Guevara. La simulación clínica y el aprendizaje virtual. Tecnologías complementarias para la educación médica. *Rev.Fac.Med.* 2009; 57: 67-79.
10. KR Rosen. The history of medical simulation. *Journal of Critical care* 2008; 23, 157-166.

11. NJ Maran, RJ Glavin. Low-to high-fidelity simulation – a continuum of medical education?. *Medical Education*. 2003; 37(Suppl. 1): 22-28
12. R Rubio Martínez. Pasado, presente y futuro de la simulación en anestesiología. *Revista Mexicana de Anestesiología*. 2012; 35: 186-191.
13. S. Abrahamson, J. S. Denson, and R. M. Wolf, “Effectiveness of a simulator in training anesthesiology residents. 1969,” *Qual Saf. Health Care*, vol. 13, no. 5, pp. 395–397, Oct. 2004.
14. R. Arne, F. Stale, K. Ragna, and L. Petter, “PatSim - simulator for practising anaesthesia and intensive care,” *PatSim - Ein bungssimulator Für Anästh. Intensiv.*, no. 3, p. 147, 1996.
15. J. Cooper and V. Taqueti, “A brief history of the development of mannequin simulators for clinical education and training,” *Qual. Saf. Health Care*, vol. 13, no. Suppl 1, pp. i11–i18, Oct. 2004.
16. M. L. Good, “Patient simulation for training basic and advanced clinical skills,” *Med. Educ.*, vol. 37, pp. 14–21, Nov. 2003.
17. J Cifuentes, F Prieto, LC Méndez LC. Simulation of a neonatal monitor for medical training purposes. *Rev.eia.esc.ing.antioq* [online]. 2011, n.16 [cited 2013-10-01], pp. 9-27
18. L. P. Halamek, D. M. Kaegi, D. M. Gaba, Y. A. Sowb, B. C. Smith, B. E. Smith, and S. K. Howard, “Time for a new paradigm in pediatric medical education: teaching neonatal resuscitation in a simulated delivery room environment,” *Pediatrics*, vol. 106, no. 4, pp. E45–E45, Oct. 2000.
19. Newborn HAL S3010. [En Línea] Disponible en <http://www.gaumard.com/newborn-hal-s3010> Fecha de consulta 20/10/2014
20. Precio de Newborn HAL S3010. [En Línea] Disponible en http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CD0QFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.myclay.org%2Fdocs%2F2013%2FBUDG%2F20130506_809%2F5957_1213-21BFHS050613.pdf&ei=fvJzVO- Fecha de consulta 20/10/2014
21. Neonatal Stabilization Scenarios. Based on the S.T.A.B.L.E. Program curriculum [En Línea] Disponible en <http://www.gaumard.com/neonatal-stabilization-scenarios-guidebook-cd101/> Fecha de consulta 20/10/2014

22. SimBaby TM. [En Línea] Disponible en <http://www.carolinashealthcare.org/simbaby-and-simnewb-simulation-equipment> Fecha de consulta 20/10/2014
23. Neonatalie. [En Línea] Disponible en <http://www.laerdal.com/es/neonatalie> Fecha de consulta 20/10/2014
24. Neonatal Resuscitation Program Scenarios for SimNewB. [En Línea] Disponible en <http://www.mysimcenter.com/Product/neonatal-resuscitation-program-scenarios-for-simnewb-sms3867.aspx> Fecha de consulta 20/10/2014
25. Laerdal List Prices. [En Línea] Disponible en www.laerdal.com/la/doc/88/SimNew#/s Fecha de consulta 20/10/2014
26. Flechas R. S. Méndez C. L. C. Bacca R. J. Blood pressures emulation system in neonatal patients using umbilical catheterization. Presented at the Intercon 2012.
27. Estepa Avellaneda YJ, Ramos Ballesteros EJ. Diseño e implementación de un sistema electromecánica para emular escenarios médicos del sistema respiratorio de pacientes neonatales. CMUN. Tesis de grado. 2012.
28. Cuervo Benavidez N. Adecuación de sistemas electromecánicos para emular escenarios médicos en pacientes neonatales. CMUN. Tesis de grado. 2013.
29. Ruiz Beltrán CA. Sistema de emulación de sonidos cardiacos y respiratorios para los emuladores neonatales del grupo CMUN. Tesis de grado. 2013.
30. L. Arrighi, J. Cifuentes, D. Fonseca, L. Méndez, F. Prieto, and J. Development of a Neonatal Interactive Simulator by Using an RFID Module for Healthcare Professionals Training. in Deploying RFID - Challenges, Solutions, and Open Issues, C. Turcu, Ed. InTech, 2011.
31. Estepa Y, Pedraza DP, Méndez LC, Bacca R. Simuladores de pacientes neonatales como herramienta educativa para estudiantes de las áreas de la salud. Presentado en el Congreso Internacional de Ingeniería Clínica y Bioingeniería Universidad Manuela Beltrán 2014.
32. Y. Estepa, E. J. Ramos, M. Varon, J. Bacca, and L. C. Méndez. Design and Implementation of an Electro-Mechanical System for the Simulation of Medical Scenarios of the Respiratory System of Neonatal Patients. In Andean Region International Conference (ANDESCON), 2012 VI, 2012, pp. 209–209.
33. Y. E. Avellaneda, E. J. R. Ballesteros, N. C. Benavides, R. S. F. Lozano, L. C. M. Cordoba, G. M. V. Duran, and J. B. Rodríguez. RFID technologies applied to the design and implementation of electro-mechanical systems for the simulation of medical

- scenarios in neonatal patients. In 2013 IEEE International Conference on RFID (RFID), 2013, pp. 23–29.
34. Flechas R. S, Méndez C. L, Bacca R. J. Blood pressures emulation system in neonatal patients using umbilical catheterization. Presented at the Intercon 2012, 2012.
35. Simulacion. [En Línea] Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Simulaci%C3%B3n> Fecha de consulta 20/10/2014.
36. Ministerio de Salud de Colombia. Resolución N0 008430 de 1993. [En Línea] Disponible en http://www.minsalud.gov.co/Paginas/Norm_Resoluciones.aspx Fecha de consulta 20/10/2014
37. Barsness KA, Rooney DM, Davis LM. Collaboration in simulation: The development and initial validation of a novel thoracoscopic neonatal simulator. J Pediatr Surg. 2013 Jun;48(6):1232-8.
38. Halamek IP. The simulated delivery-room environment as the future modality for acquiring and maintaining skills in fetal and neonatal resuscitation. Seminars in fetal & neonatal medicine 2008; 13, 44e453.