



Tecnura

ISSN: 0123-921X

tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co

Universidad Distrital Francisco José de  
Caldas  
Colombia

Ramos Ballesteros, Edward Julián; Varón Durán, Gloria Margarita; Méndez Córdoba, Luis  
Carlos

Diseño e implementación de una red de emuladores para recrear escenarios clínicos del  
sistema respiratorio de pacientes neonatales

Tecnura, vol. 20, núm. 48, abril-junio, 2016, pp. 53-68

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257046835005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



## Diseño e implementación de una red de emuladores para recrear escenarios clínicos del sistema respiratorio de pacientes neonatales

### Design and implementation of a network of emulators to recreate clinical scenarios of the respiratory system in neonatal patients

Edward Julián Ramos Ballesteros<sup>1</sup>, Gloria Margarita Varón Durán<sup>2</sup>,  
Luis Carlos Méndez Córdoba<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 1 de abril de 2015

**Fecha de aceptación:** 15 de febrero de 2016

**Cómo citar:** Ramos Ballesteros, E. J., Varón Durán, G. M., & Méndez Córdoba, L. C. (2016). Diseño e implementación de una red de emuladores para recrear escenarios clínicos del sistema respiratorio de pacientes neonatales. *Revista Tecnura*, 20(48), 53-67. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a04

#### RESUMEN

**Contexto/Objetivo:** El objetivo es diseñar e implementar una red de emuladores para realizar a futuro un taller práctico con los estudiantes del área de la salud, para que ellos coloquen a prueba sus conocimientos y aprendan de lo vivenciado antes de su vida profesional.

**Método:** La red está compuesta por un Módulo de Control Central (MC), que permite al docente crear escenarios clínicos, y tres Emuladores para los estudiantes. Una vez creados los escenarios, son transmitidos hasta un Emulador que es escogido mediante una interfaz gráfica, con el fin de que el estudiante en práctica observe los valores y señales de los signos vitales tanto en la parte física (ME: Maniquí del Emulador) como en la parte gráfica (IE: Interfaz del Emulador), y realice acciones dependiendo de los

conocimientos adquiridos en sus estudios. Luego se genera un proceso de respuesta que le muestra al docente los resultados de las acciones. Finalmente el docente evalúa a los estudiantes comparando el escenario clínico con la respuesta y así también estimula el aprendizaje de los mismos.

**Resultados:** Las características de implementación después de realizar un conjunto de pruebas son las siguientes: la distancia máxima de los componentes con respecto al MC, sin perder el óptimo funcionamiento de la red, es de 8 metros para el IE y 12 metros para el ME. Además con las técnicas implementadas se reduce en 13.28% el tiempo de ejecución cuando se programa el escenario clínico y en 21.78% el tiempo de ejecución del proceso de respuesta, estableciéndolos en 8,42 y 4,99 segundos respectivamente.

- 1 Ingeniero Electrónico, Estudiante de Maestría en Ingeniería Electrónica. Miembro del grupo CMUN de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Contacto: [ejramosb@unal.edu.co](mailto:ejramosb@unal.edu.co)
- 2 Ingeniera Electrónica, Master en Comunicaciones Ópticas y Tecnologías Fotónicas, Doctora en Optoelectrónica, Directora del grupo CMUN, Profesora asociada de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Contacto: [gmvarond@unal.edu.co](mailto:gmvarond@unal.edu.co)
- 3 Médico General y Cirujano, Especialista en Pediatría, Especialista en Pediatría Perinatal, Perinatología y Neonatología. Miembro del grupo CMUN, Profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Contacto: [lcmenendezc@unal.edu.co](mailto:lcmenendezc@unal.edu.co)

**Conclusiones:** Teniendo en cuenta la distancia máxima y los tiempos de ejecución, se construye una red de emuladores con las características necesarias para implementar a futuro el taller práctico teniendo en cuenta las especificaciones técnicas, condiciones de tráfico, dimensiones de los salones, los usuarios en paralelo y la periodicidad con que se va a utilizar.

**Palabras claves:** Emulador Neonatal, Escenarios Clínicos, Neonato, Radio Frecuencia (RF), Red de Comunicación, Sistema Respiratorio.

## ABSTRACT

**Context/Objectives:** The objective is to design and implement a network of emulators in order to develop make a practical workshop in the future with students in the area of health, testing their knowledge and learn from the experienced before exercising their professional life.

**Method:** The network is composed of a Central Control Module (CM), which allows teachers to create clinical scenarios, and three Emulators for students. Once created the scenarios, they are transmitted to a emulator that was chosen through a graphical interface, allowing the student to observe the values and signals of vital signs in both the physical part (ME: Dummy Emulator) and the graphic part (IE:

Interface Emulator), and take action depending on the knowledge acquired in their studies. Then a response process is generated showing the results of actions to the teachers. Finally, the teacher makes a comparison of the clinical scenarios with the response, to evaluate the students and thus he also stimulates learning in them.

**Results:** Implementation features after performing a series of tests are as follows: the maximum distances of the components with respect to MC, without losing optimum performance of network, is 8 meters for IE and 12 meters for the ME. In addition with techniques implemented, it is reduced by 13.28% runtime when programming the clinical scenario, and it is reduced by 21.78% runtime of response process, settling in 8.42 and 4.99 seconds respectively.

**Conclusions:** Given the maximum distance and runtimes, the network of emulators is built with features necessary to implement a practical workshop in the future taking into account the technical specifications, traffic conditions, size of the classrooms, users in parallel and the frequency of used

**Keywords:** Neonatal Emulator, Clinical Scenario, Neonate, Radio Frequency (RF), Communication Network, Respiratory System.

## INTRODUCCIÓN

El Objetivo de Desarrollo del Milenio número 4 (ODM 4) establece la meta de reducir en dos terceras partes la mortalidad de niños menores de cinco años para el año 2015 con respecto a las que ocurrieron en 1990 (Naciones Unidas, 2014). Se han presentado resultados en el informe de seguimiento a los Objetivos de Desarrollo del Milenio de 2013, los cuales indican que cerca de 6,6 millones de niños menores de cinco años murieron en 2012. Esto se traduce en que 18.000 niños mueren cada día en todo el mundo; además cerca del 40 % de las muertes de esta población específica ocurren en el periodo neonatal. Entre

una cuarta parte y la mitad de estos fallecimientos tiene lugar en las primeras 24 horas de vida y un 75 % durante la primera semana. Las primeras 48 horas posteriores al nacimiento es el periodo más importante para la supervivencia del recién nacido (OMS, 2014a). Se considera que la mayoría de estas muertes se pueden evitar si se tienen en cuenta algunas consideraciones prácticas (OMS, 2014b), entre ellas, la atención especializada después del parto. Como su nombre lo indica, generar atención especializada requiere que los profesionales del área de la salud que intervienen directamente durante y después del nacimiento tengan la experiencia necesaria; es decir, deben tener el conocimiento, la experiencia y las

capacidades necesarias para realizar los procedimientos normales de manera óptima y responder de la mejor manera en caso de que el neonato presente algún tipo de problema o complicación.

En ese sentido se ha generado un número de avances importantes para construir una serie de emuladores neonatales que puedan representar diferentes signos e incorporarlos en el aprendizaje de estudiantes del área de la salud (Cooper y Taqueti, 2004; Good, 2003; Cobbe *et al.*, 2000; Masuzawa, Takashina y Fukui, 1990). En este momento, el más importante que se tiene para la simulación de condiciones y signos vitales de un neonato ha sido presentado por la compañía Laerdal® y sus productos *SimBaby* (*lactante menor*) y *SimNewBaby™* (*neonato*) (Laerdal medical, s.f.). Estos productos permiten a los estudiantes del área de la salud, realizar diversas prácticas y procedimientos clínicos que brindan la posibilidad de perfeccionar las habilidades en un entorno libre de riesgos. Este prototipo cuenta con un *software* sencillo que permite recrear diversos escenarios y que a su vez le entrega la información necesaria para que los estudiantes del área de la salud puedan reaccionar dependiendo de la situación que se presente.

Sin embargo, los emuladores comerciales que se ofrecen en la actualidad están diseñados para la interacción uno a uno; es decir, que el docente está dedicado de manera exclusiva a un escenario clínico y un solo estudiante en práctica, lo cual no es acorde a la realidad de la academia en el país. Además, los maniqués existentes en el mercado global son costosos (Laerdal Medical Corp, 2014) y han sido diseñados para otras metodologías; por esta razón, poseen otros métodos de enseñanza. Esto implica dificultades en el aprendizaje para los estudiantes en Colombia, con las alteraciones de correspondencia entre lo estudiado, lo experimentado y lo aprendido.

En consecuencia, es importante ampliar los mecanismos para que cada vez más estudiantes puedan practicar de forma individual y

simultánea en sus respectivos emuladores de entrenamiento, con el fin de poner a prueba sus conocimientos y así aprender de lo vivenciado y de la experiencia del docente, independientemente de que solo un docente enseñe a un grupo numeroso de estudiantes (la realidad de la academia). Así mismo, es importante tener una red de comunicación que conecte un *módulo de control central* dirigido por el docente, con varios *emuladores neonatales* a los cuales tendrán accesos cada uno de los estudiantes en práctica. Por tanto, la red le brindará la posibilidad de diseñar múltiples escenarios clínicos, manipulando el *módulo de control central* para un conjunto de estudiantes en práctica. Así, cada uno de ellos puede adquirir la experiencia requerida, aprendiendo del escenario programado y realizando acciones en los emuladores que él considere pertinentes dependiendo de sus conocimientos.

La red se apoya en seis trabajos realizados localmente (Estepa *et al.*, 2013). El primer proyecto permitió la simulación de varios escenarios clínicos que se relacionaban con la variación de la frecuencia cardíaca a causa de patologías, o por el suministro de medicamentos, además puede representar algunas manifestaciones cutáneas secundarias (Arrighi *et al.*, 2011). El segundo proyecto emula algunas patologías y sintomatologías del sistema respiratorio, determina la buena ejecución del masaje torácico, brinda la posibilidad de imitar la respiración del paciente por medio de una bomba manual e introduce una interfaz para que el practicante pueda ver los diferentes signos vitales del neonato (Estepa *et al.*, 2012a, 2012b). El siguiente proyecto recrea sintomatologías y patologías que presentan los neonatos en presiones arteriales o venosas, con la diferencia de que las medicinas se suministran por medio de catéteres. Posteriormente se integran los dos primeros trabajos en un solo emulador, cambiando la tecnología usada y brindando la posibilidad de tener escenarios clínicos de dos sistemas diferentes (cardiovascular y respiratorio). También se

desarrolló una herramienta (fonendo) para simular sonidos cardiacos y respiratorios en uno de los emuladores anteriormente expuestos (Ruiz, Estepa, Méndez y Bacca, 2014). Además, como resultado del quinto trabajo se desarrolló un ambiente virtual de un simulador neonatal que permite a los docentes del área de la salud generar diferentes escenarios en un monitor simulado, lo que facilita la práctica del diagnóstico clínico y toma de decisiones por parte de los estudiantes (Arrighi *et al.*, 2011).

Cabe resaltar que los emuladores locales responden a técnicas, filosofías y metodologías propias de la Escuela de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, y el Instituto Materno Infantil, lo cual genera un valor agregado ya que están diseñados para las condiciones propias del país (Currea, 2005; Estepa, Méndez y Bacca, 2014).

A partir de lo anterior, la investigación se enfoca en el diseño e implementación de una red

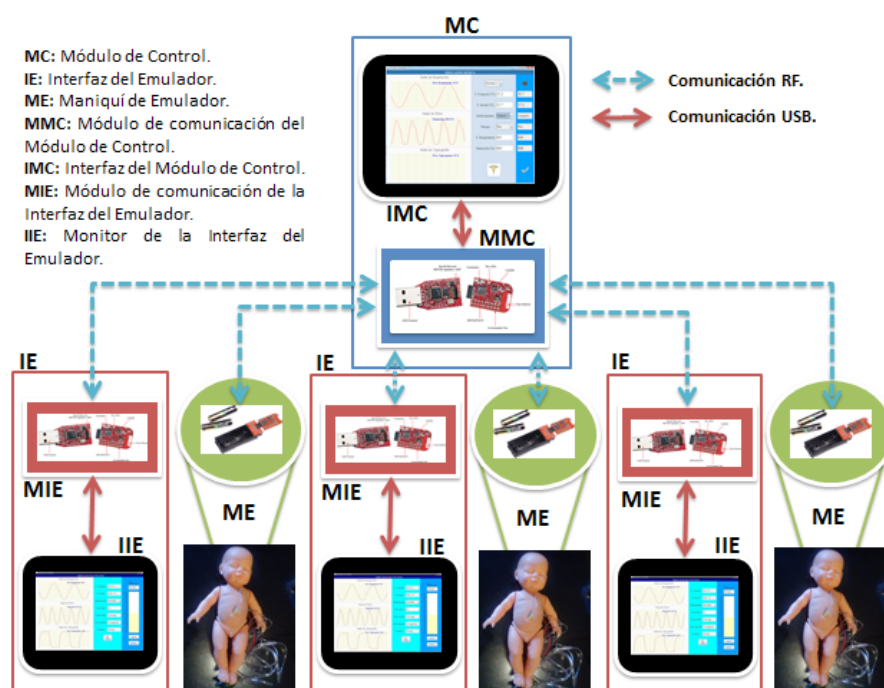
para emuladores de entrenamiento que permita recrear escenarios clínicos del sistema respiratorio de pacientes neonatales, teniendo en cuenta todos los aspectos necesarios para representar de forma óptima dichos escenarios.

## METODOLOGÍA: RED DE EMULADORES

A continuación se presentan cada uno de los componentes necesarios que en conjunto y con las interacciones debidas forman la red de comunicaciones, además se exponen las consideraciones y pasos necesarios para realizar el diseño e implementación de la red.

### Componentes de la red

Con la categorización de la figura 1, la interfaz del emulador (IE) y el maniquí del emulador (ME) se conectan al módulo de control (MC), el cual



**Figura 1.** Topología y elementos que conforman la red de comunicaciones

**Fuente:** elaboración propia.

tiene la función de árbitro y se compone por una interfaz gráfica (IMC) y un módulo de comunicación (MMC). Además la IE estará compuesta por un módulo de comunicación (MIE) y una interfaz propiamente dicha (IIE). Se implementa una red con topología tipo árbol con el fin de que el MC pueda acceder a cada uno de los componentes del emulador (IE+ME), adquiriendo algunos beneficios como: mejor detección de errores y mejor manejo de la información. Además cabe notar que cada uno de los componentes de la red tiene asociado un módulo de comunicación MSP430-CC2500 (MSPCC).

Debido a que los emuladores deben ser inalámbricos para aportar el realismo necesario a los estudiantes en práctica, toda la alimentación es proporcionada por baterías. El microcontrolador de bajo consumo que tiene el módulo de comunicación MSP430-CC2500 influye en el incremento de la duración de las baterías, por tanto aumenta el tiempo de uso de cada emulador antes de tenerlos que recargar. También el módulo de comunicación MSP430-CC2500 cuenta con una interfaz USB que puede comunicar el módulo con la respectiva interfaz gráfica y un transceptor RF que permite tener en el mismo dispositivo la transmisión y recepción de datos de los diferentes componentes de la red. Además las tarjetas del módulo de comunicación tienen un tamaño reducido facilitando su ubicación en el maniquí, ya que el espacio en el interior es limitado y con geometrías complicadas. Adicionalmente, en los módulos se puede utilizar el protocolo SimpliciTI (Friedman, 2007) donde están desarrolladas algunas funciones de transmisión y recepción de datos por medio de USB y RF, lo cual proporciona ventajas en pro de alcanzar los objetivos de la implementación.

Las características anteriormente expuestas permitirán configurar los módulos de comunicación MSP430-CC2500 como de árbitro de la red y llevar a cabo la comunicación entre interfaz gráficas/módulo y módulo/módulo. Por tal

motivo se eligió el módulo de comunicación MSP430-CC2500 para desarrollar el proyecto.

## Tramas

### *Bytes de información y de control*

Los signos vitales escogidos para representar los escenarios clínicos del sistema respiratorio son: frecuencia respiratoria, señal de pulso, saturación de la hemoglobina por el oxígeno (pulso saturometría), temperatura corporal y temperatura rectal. Por tanto, los bytes de información son los encargados de representar los escenarios clínicos.

Los escenarios clínicos también contemplan la posibilidad de seleccionar algunas medicinas para simular que fueron aplicadas a la madre antes o durante el parto, para facilitar algún procedimiento o para estabilizarla, pero por sus propiedades, las medicinas serán las encargadas de generar dificultades a los neonatos. Además se puede programar cierta cantidad de masajes torácicos que deberá realizar el estudiante en práctica. A veces por las condiciones del parto, por lo general cuando es por cesárea, el neonato no realiza la primera respiración, entonces por medio de los masajes torácicos se estimula el tórax del neonato para que la realice y así conseguir que él siga respirando por sí mismo (Medline Plus, s.f.).

Los bytes de control, como su nombre lo indica, son los encargados de controlar y validar las tramas. La tabla 1 muestra las características de los bytes utilizados para representar los escenarios clínicos.

Cabe notar que la codificación utilizada permite ampliar la cantidad de procedimientos y medicinas a ser usadas en futuros proyectos.

### *Trama total y sub-tramas*

Como se observa en tabla 1, la trama está compuesta de 20 bytes, repartidos en 6 bytes de control (en negrita de las figura 2 y figura 3) y 14

**Tabla 1.** Características y tipos de bytes utilizados

No. de bytes	Tipo de byte	Descripción
3	Información	Frecuencia respiratoria.
3	Información	Saturación de la hemoglobina por el oxígeno.
3	Información	Temperatura corporal.
3	Información	Temperatura rectal.
1	Información	Medicinas aplicadas.
1	Información	Masaje torácico.
1	Control	Inicio: la trama será válida si el byte contiene una jota mayúscula (J).
4	Control	Dirección: establecido por protocolo SimpliciTI.
1	Control	Operación: determina el proceso que se llevará a cabo con la trama.

**Fuente:** elaboración propia.

<b>Ini</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>T</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>Tc1</b>	<b>Tc2</b>	<b>Tc3</b>	<b>Tr1</b>	<b>Tr2</b>	<b>Tr3</b>
------------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

**Figura 2.** Trama total

**Fuente:** elaboración propia.

sub-trama 1	<b>Ini</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>T</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>
sub-trama 2	<b>A1</b>	<b>F3</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>Tc1</b>	<b>Tc2</b>	<b>Tc3</b>	<b>Tr1</b>	<b>Tr2</b>
sub-trama 3	<b>A2</b>	<b>Tr3</b>	-	-	-	-	-	-	-	-

**Figura 3.** Las 3 subtramas necesarias para enviar toda la trama total

**Fuente:** elaboración propia.

bytes de información. Esta trama se utiliza para comunicar de forma bidireccional al MC con cada uno de los componentes del emulador (IE y ME), tal como se puede ilustra en la figura 1, donde las flechas punteadas representan la comunicación por radiofrecuencia.

Las siglas de la figura 2 significan lo siguiente: *Ini*: byte de inicio; *D*: dirección; *T*: tipo de operación; *C*: escenario clínico; *F*: frecuencia respiratoria; *Tc*: temperatura corporal, y *Tr*: temperatura rectal.

Por características del protocolo SimpliciTI (Friedman, 2007), solo se pueden enviar 10 bytes

en cada proceso de transmisión. Por esta razón, la trama total se divide en 3 subtramas y se agrega un nuevo byte de armado, este ocupa la primera posición de cada subtrama y su función es guardar un consecutivo para armar la trama total en el receptor.

La letra *A* representa los bytes de armado. El byte de inicio se utiliza como el primer byte de armado (*A0*). En la figura 3 se observa que en la última subtrama quedan 8 bytes libres, estos pueden ser utilizados para enviar información de otros signos vitales.



### Tramas hardware/software y software/hardware

Estas tramas son las encargadas de comunicar la interfaz gráfica (IMC o IIE) con los MSPCC (MMC o MIE) de forma bidireccional, tal como se muestra en la figura 1, donde las flechas continuas representan la comunicación por medio de USB. El byte SH (Figura 4) y el byte HS (figura 5) se utilizan para validar y controlar las tramas. Las IIE

e IMC requieren un byte de dirección absoluta (DA) para acceder a los MSPCC. La DA depende del orden en que los MSPCC se conecten a la red. Se determina, entonces, que los IE tienen una dirección DA par, mientras que los ME tendrán las direcciones DA impares. Para conformar el emulador se asocian los componentes IE y ME con direcciones DA consecutivas.

SH	DA	T	C1	C2	F1	F2	F3	S1	S2	S3	Tc1	Tc2	Tc3	Tr1	Tr2	Tr3
----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

**Figura 4.** Trama de comunicación software/hardware

**Fuente:** elaboración propia.

HS	DA	R	-	-	-	-	-	-	-
----	----	---	---	---	---	---	---	---	---

**Figura 5.** Trama de comunicación hardware/software

**Fuente:** elaboración propia.

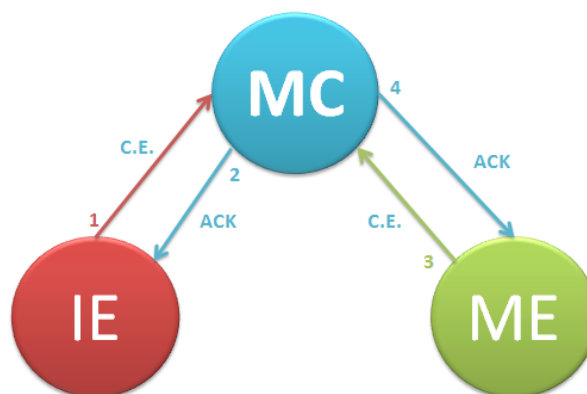
Dentro del módulo del MSPCC asociado al MC (MMC), se realiza la conversión de la DA a la direcciones de 4 bytes, dependiendo del proceso de comunicación que se realice.

El tercer byte de la trama *hardware/software* indica si la respuesta del estudiante en práctica fue acertada o no.

### Procesos de comunicación

Los procesos de comunicación son el conjunto de transmisiones ordenadas que se deben realizar para conectar de manera correcta un emulador a la red (CE), validar la programación del escenario clínico (CC) y generar la respuesta (Rta.) dependiendo del caso. Los diagramas de los procesos presentados a continuación solo incluyen la transmisión y recepción entre los MSPCC.

### Proceso de conexión de los emuladores (CE)



**Figura 6.** Comunicaciones que se deben efectuar para lograr la conexión exitosa de un emulador (C.E).

**Fuente:** elaboración propia.

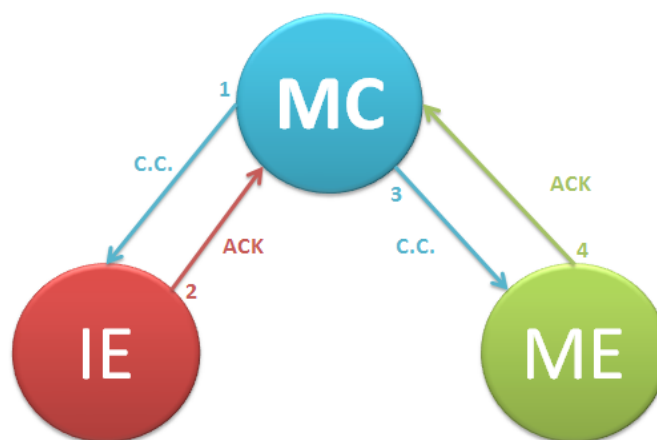


En primera instancia se debe conectar el MMC al PC, cuando este reconozca el MMC se podrá ejecutar la interfaz gráfica del MC (IMC), en ese momento se hace una conexión entre los dos componentes del MC (IMC+MMC) y se consigue tener el módulo de control funcional.

La conexión de un emulador comienza conectando el MIE a un PC, cuando esto sucede el MIE envía una trama de conexión hacia el MC con la dirección que tiene el MIE. El MC recibe la trama de conexión guardando la dirección del MIE en una matriz y le asigna a la DA un valor de cero por ser el primer MSPCC que se conecta

a la red. Después de esto se ejecuta la IIE desde el pc donde se conectó el MIE, en ese momento se completa la conexión del IE (MIE+IIE). El segundo paso de la fase de conexión es conectar el ME del primer emulador a la red. Al igual que el MIE, al momento de conectar las baterías el ME envía una trama de conexión con la dirección que tiene, el MC guarda la dirección y le asigna a la DA el valor de 1. Cuando se conecta la IE y el ME en ese orden, se considera que el primer emulador se conectó a la red. Para conectar los otros dos emuladores se debe realizar el mismo el proceso.

### Proceso del escenario clínico



**Figura 7.** Comunicaciones que se deben efectuar para programar un escenario clínico (CC) exitosamente

**Fuente:** elaboración propia.

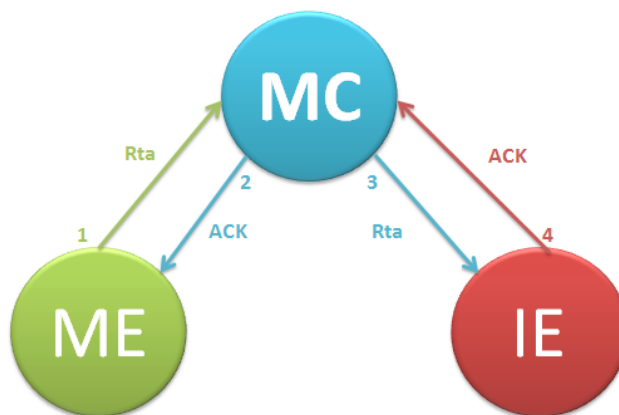
El proceso del escenario está constituido de los siguientes 4 pasos (figura 7):

1. Transmisión de la trama completa por parte del MC teniendo toda la información del escenario clínico y los bytes de control para ser recibido en primera instancia por el IE.
2. Transmisión de una confirmación (ACK) por parte del IE hacia el MC, esta confirmación

certifica que los datos del escenario clínico llegaron al MSPCC de destino.

3. Una vez MC recibe la confirmación del IE, este procede a enviar la información necesaria para representar el escenario clínico en el ME.
4. Por último el MC recibe la confirmación por parte del ME y así el MC puede garantizar que todo el proceso de escenario clínico se realizó satisfactoriamente.

## Proceso de respuesta



**Figura 8.** Comunicaciones que se deben efectuar para tener una proceso de respuesta (Rta.) exitoso

**Fuente:** elaboración propia.

El proceso de respuesta está constituido de los siguientes cuatro pasos (figura 8):

1. Se transmite una trama desde el ME hasta el MC notificando que existe la Respuesta del estudiante en práctica.
2. Se envía una confirmación (ACK) al ME.
3. El MC envía la respuesta que se obtuvo hacia el IE. El MC genera todos los valores de los signos vitales dentro del rango normal para un neonato si las acciones del estudiante en práctica fueron las adecuadas. De lo contrario, el escenario se seguirá desarrollando.
4. Por último el MC recibe la confirmación por parte del IE y así el MC puede garantizar que todo el proceso de respuesta se realizó satisfactoriamente.

## PRUEBAS Y RESULTADOS

### Pruebas de la duración de los procesos de comunicación

Las pruebas consisten en cambiar el tiempo de *refresh* que tiene el microcontrolador. Para cada prueba se realizaron diez repeticiones de cada proceso de comunicación y se calculó el promedio de los tiempos de ejecución. Los tiempos fueron obtenidos programando un algoritmo en la IMC y garantizando la confiabilidad de la red.

Tras observar la tabla 2 se obtiene la configuración que genera un mínimo (cuarta columna). El mínimo disminuye el tiempo de ejecución de la programación del Escenario Clínico en 1,3s y

**Tabla 2.** Principales resultados de las pruebas de duración de los procesos de comunicación.

Parámetro	Tiempos (s)									
Tiempo de <i>refresh</i> del MC	1	0,7	0,8	0,6	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Tiempo de <i>refresh</i> del IE	1	1	1	1	1	1	0,75	0,6	0,6	0,6
Tiempo de <i>refresh</i> del ME	1	1	1	1	1	0,75	1	1	0,6	0,6
Tiempo de ejecución del escenario	9,71	9,15	9,31	8,43	8,42	8,77	8,32	8,34	8,55	8,55
Tiempo de ejecución de respuesta	6,38	5,63	6,08	5,25	4,99	5,45	5,16	5,42	5,17	5,17

**Fuente:** elaboración propia.

el tiempo de ejecución de Respuesta en 1,4 s en comparación a la prueba base (primera columna). Los tiempos finales de los procesos se ajustan a las necesidades del proyecto garantizando la confiabilidad, además los tiempos propios de la red no intervienen de manera significativa en el proceso de evaluación.

## Pruebas de distancia

Otro parámetro importante es la distancia máxima en que se pueden situar los elementos de la red sin perder su óptimo funcionamiento. Para obtener dicha distancia se realizan una serie de pruebas cambiando la ubicación de los MSPCC de cada componente del emulador hasta llegar al punto donde no se puede finalizar con éxito los procesos de comunicación.

Con la información consignada en la tabla 3 se puede determinar que la distancia máxima de operación es de 8 m para el IE y 12 m para ME con respecto al MC. Estas distancias se pueden considerar apropiadas, teniendo en cuenta que las dimensiones del salón de simulación donde estará situada la red no superan las distancias máximas de operación, además no existen obstáculos en el salón que impida la transmisión de las señales. Por último se puede determinar que el tiempo que tardan los procesos de comunicación aumenta a medida que la distancia entre los componentes del emulador y el MC son mayores.

Como resultado de la investigación se obtienen los siguientes elementos que con la

interacción adecuada conforman la red de comunicaciones. A continuación se presenta cada una de las partes que componen las interfaces gráficas y se mencionará las consideraciones que se tuvieron en cuenta para construirlas.

## Interfaz gráfica del módulo central (IMC)

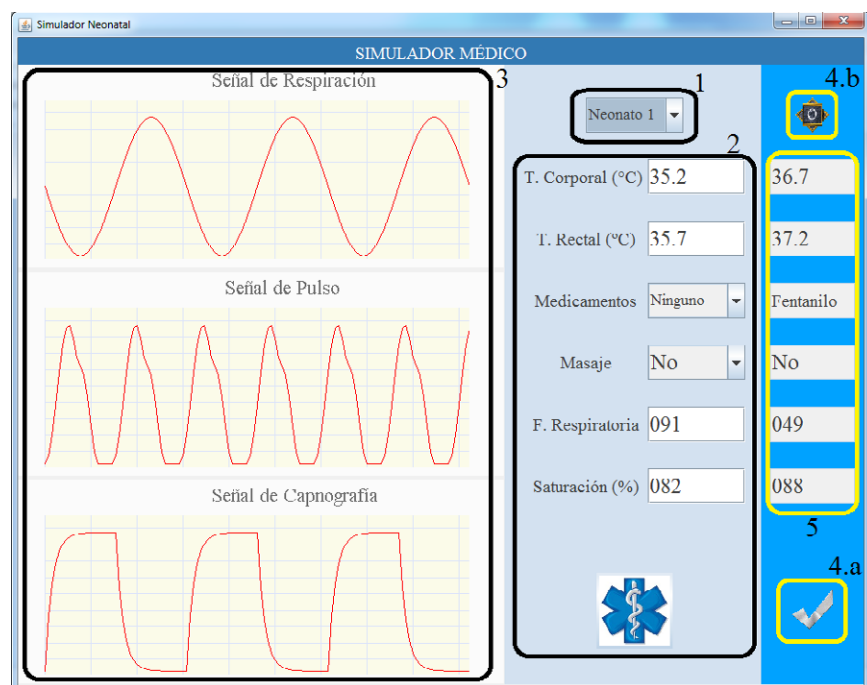
Las interfaces gráficas se programan por medio del lenguaje Java utilizando Netbeans. A continuación se explican las partes de la IMC y como están ubicadas (figura 9).

1. *Selector de emuladores*: Brinda la posibilidad de escoger el emulador para programarle el escenario clínico u observar los resultados obtenidos. Debido a que el médico tendrá que observar o programar diferentes escenarios clínicos simultáneamente, este componente ayuda a que se enfoque en un solo escenario pero con la alternativa de cambiar el emulador las veces que lo considere necesario y así evaluar cómo transcurre cada uno de los escenarios sin perder el detalle.
2. *Programación del escenario clínico*: Cuenta con un botón y varias casillas que, con el respectivo diligenciamiento, recoge la información del paciente. Las casillas serán:  
Cuatro cuadros en los que es posible escribir los valores de frecuencia respiratoria, saturación de la hemoglobina por el oxígeno, y las temperaturas rectal y corporal.

**Tabla 3.** Aspectos más importantes de la prueba de distancia

Prueba	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3		Prueba 4	
Parte emulador	IE	ME	IE	ME	IE	ME	IE	ME
Distancia (m)	6	6	6	9	6	12	8	12
Clínico (s)	10,04		10,97		11,06		11,64	
Respuesta (s)	4,66		4,78		4,85		6,15	

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 9.** Interfaz gráfica del módulo central y las partes de las cuales se compone

**Fuente:** elaboración propia

Dos selectores: en el primero se podrá escoger una medicina y el segundo brinda la posibilidad de programar una cantidad aleatoria de masajes torácicos.

Estos cuadros y selectores almacenan los datos que componen todo el escenario clínico; la cantidad y funcionalidad de las casillas están acorde a los signos vitales, medicinas y masajes que se plantearon inicialmente.

3. *Seguimiento del escenario clínico:* El seguimiento se realiza por medio de tres gráficas (señal de respiración, señal de pulso y señal de capnografía). Estas muestran cómo aumenta o disminuye la frecuencia y la amplitud de la respiración según el caso y están, en cierto grado, sincronizadas con las gráficas de la IIE. El seguimiento es importante para el médico debido a que visualiza las acciones realizadas por el estudiante en práctica casi en tiempo real y puede determinar si se demora o apresura en

realizar dichas acciones, ya que en el quehacer profesional el factor tiempo es crítico.

4. *Indicadores de procesos:* Los indicadores llaman la atención de la persona encargada de manejar IMC cuando se recibe información relevante. Estos indicadores están programados para facilitar al médico el manejo del módulo de control, ya que al realizar el seguimiento a varios escenarios clínicos simultáneamente es importante que el médico pueda observar eventos, como la respuesta generada por el estudiante en práctica, de cada escenario en el momento que suceden, independientemente que esté haciendo el seguimiento a un emulador en particular. Los indicadores son:
  - a. *Indicador de escenarios clínicos y resultados:* Refleja el estado del escenario clínico. El indicador tiene tres estados: el primero será *en proceso* y se mantendrá el tiempo que tarda la programación del escenario clínico; el

segundo se activa cuando el escenario clínico ya se programó satisfactoriamente, y el tercero cuando se recibió la respuesta por parte del estudiante en práctica.

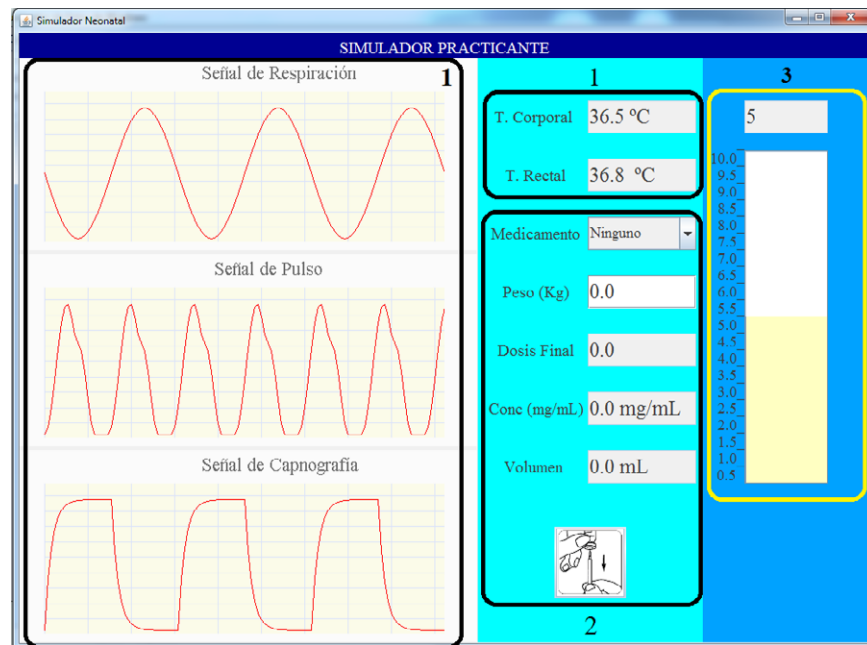
- b. *Cantidad de solicitudes:* Muestra el número de respuestas recibidas y en el selector de emuladores señala al emulador que originó cada una de las respuestas.
5. *Resultados de los escenarios clínicos:* Se puede evidenciar la forma de proceder de los estudiantes en práctica mediante seis cuadros que muestran los valores de los signos vitales planteados inicialmente, la medicina que el practicante aplicó, y cuántos masajes torácicos realizó; estos dos últimos si fueran necesarios. Además, las gráficas que siguen el escenario clínico también brindan información del estado final del neonato. Estos resultados son importantes porque reflejan las reacciones que el neonato manifestó partiendo de las acciones realizadas por el estudiante en práctica, además se sitúa al frente de los datos del escenario clínico para que se pueda realizar la comparación directamente.

## Interfaz gráfica propia del emulador (IEE)

A continuación se explican las partes de la IIE y cómo están ubicadas (figura 10).

1. *Representación del escenario clínico programado:* La forma como el estudiante en práctica visualiza los signos que presenta el neonato es muy importante y se debe acercar a la presentación que tiene los monitores utilizados en el quehacer profesional, por este motivo se programan gráficas y cuadros donde se pueden observar de manera continua el valor de los signos vitales considerados para este proyecto; estos son el punto de partida para que los estudiantes en práctica realicen las acciones que crean convenientes dependiendo de sus conocimientos. El estudiante en práctica podrá observar información del escenario clínico por medio de las siguientes herramientas:

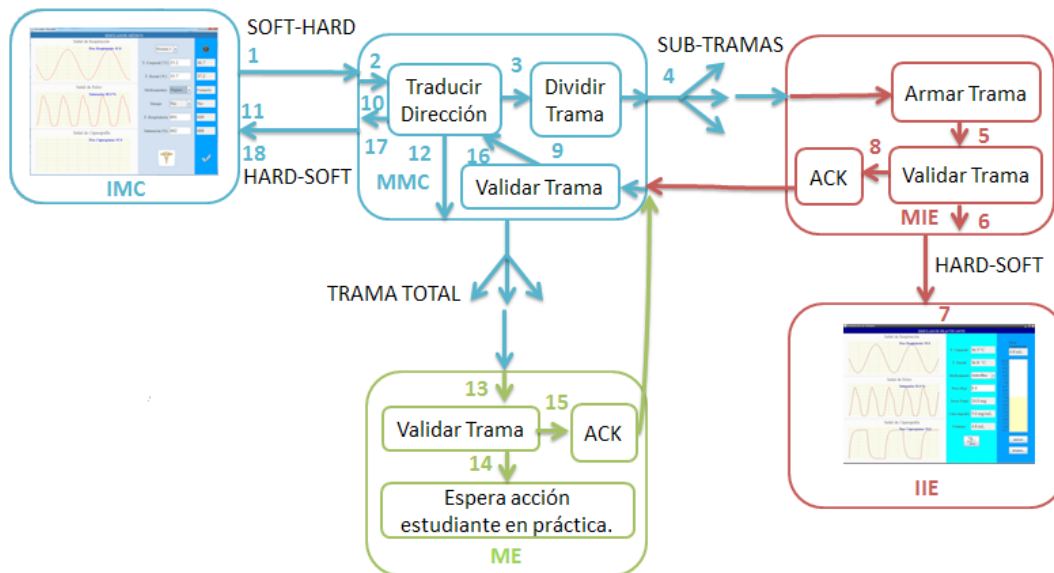
- a. Tres gráficas (señal de respiración, señal de pulso y señal de capnografía) que muestran la forma y el valor que tienen las señales cuando disminuye o aumenta la amplitud y la frecuencia respiratoria según el caso. Además se visualizan los valores de saturación de la hemoglobina por el oxígeno. Las gráficas estarán en cierto grado sincronizadas con las gráficas que se muestran en la IMC.
  - b. Dos cuadros donde se visualizan las temperaturas rectal y corporal.
2. *Herramientas de decisión de acuerdo con el escenario clínico:* Es fundamental para llevar a cabo las acciones que el estudiante en práctica considere con el fin de revertir los efectos negativos del escenario clínico. Debido a que dichos escenarios son propios del sistema respiratorio, la herramienta se centra en la aplicación de medicinas que traten este tipo de escenarios y la buena ejecución del masaje torácico. Además, la herramienta calcula la dosis a suministrar, generando un valor agregado en el sentido que también se está adquiriendo experiencia en el cálculo de la dosis adecuada y su respectiva aplicación. En la herramienta se podrá elegir una de las medicinas consideradas previamente para simular su aplicación al neonato. Además se puede ingresar el peso del neonato para calcular el volumen final de la medicina a aplicar, a partir de los valores comerciales de concentración del medicamento.
3. *Cargar dosis:* Es importante que los estudiantes en práctica apliquen las dosis recomendadas, ya que una sobre dosis puede tener graves consecuencias, incluso la muerte del recién nacido; por este motivo, la interfaz gráfica calcula el volumen del medicamento dependiendo de su concentración y del peso del neonato. Además, se tendrá un mímico para que el volumen que sea cargado en la jeringa coincida con el calculado y así tener la certeza de que se aplicará la dosis apropiada.



**Figura 10.** Partes de la interfaz gráfica del emulador

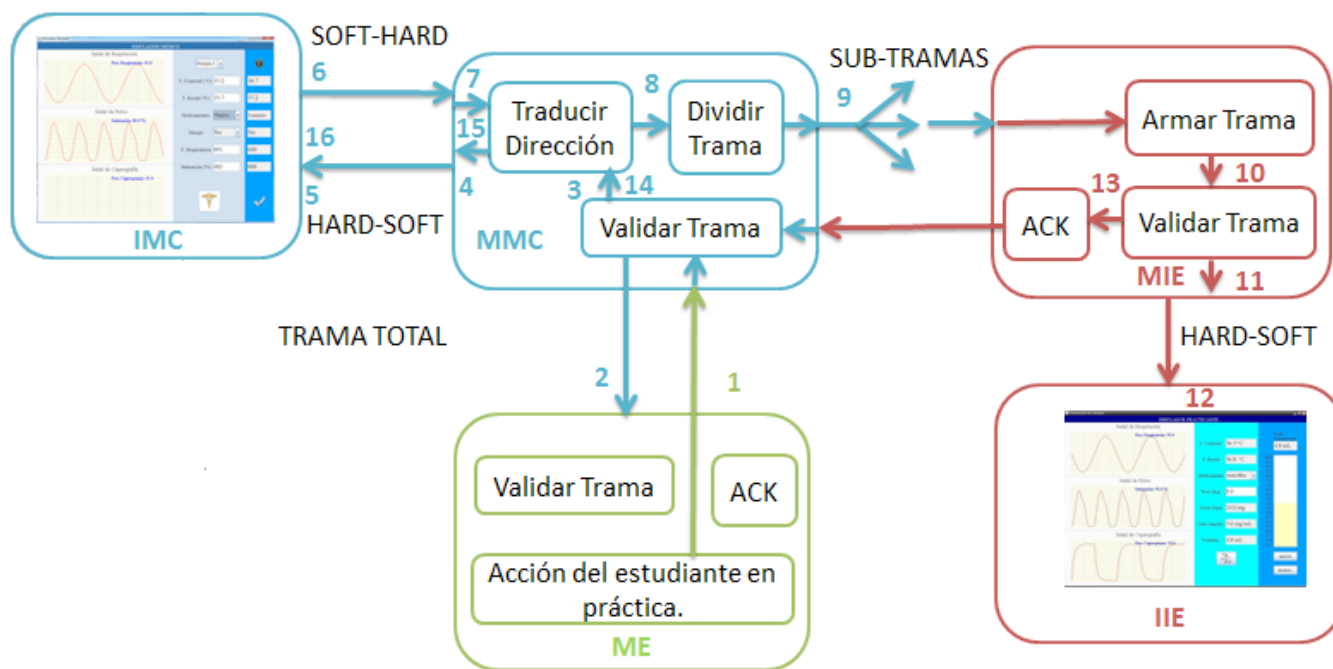
**Fuente:** elaboración propia.

## Proceso detallado de la red



**Figura 11.** Proceso de programación del escenario clínico detallado

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 12.** Proceso de respuesta detallado

**Fuente:** elaboración propia.

Tras una recopilación, en las figuras 11 y 12 se muestran los procesos de comunicación de manera detallada incluyendo todos los aspectos anteriormente mencionados. En las figuras se enumeran los pasos que se deben realizar para completar satisfactoriamente cada proceso.

## CONCLUSIONES

A partir de los campos que componen las tramas y los procesos de comunicación implementados, se establece un lineamiento para que se puedan implementar más sistemas y escenarios clínicos, sin sufrir cambios radicales.

Mediante las pruebas realizadas, donde se modifican los tiempo de *refresh* de los dispositivos que interviene en la red, se obtuvo una reducción de 1,3 s en el tiempo de ejecución cuando se programa el escenario clínico, lo que

equivale a una disminución del 13,28 %. Asimismo se reduce el tiempo de ejecución del proceso de respuesta en 1,4 s, lo que equivale a una disminución del 21,78 %. Adicionalmente las pruebas de distancia máxima arrojan como resultado que se puede ubicar el IE a 8 m y el ME a 12 m, ambos con respecto al MC, sin perder el óptimo funcionamiento de la red. Estos resultados son suficientes para cumplir el objetivo del proyecto, sin embargo se puede seguir implementando tecnologías o métodos para mejorar estos parámetros.

Debido al bajo consumo de potencia por parte de los módulos eZ430-RF2500, hay una frecuencia menor en los cambios de baterías. Esta característica, sumada al hecho de que son dispositivos inalámbricos, genera el realismo que se pretende.



## TRABAJOS FUTUROS

El actual trabajo genera las primeras herramientas para lograr la meta de implementar una red de comunicaciones que sea el eje tecnológico para crear un taller práctico con los estudiantes del área de la salud, los trabajos futuros que apuntan a la meta son:

- Diseñar o agregar técnicas y tecnologías que puedan aumentar la distancia máxima de operación y disminuir los tiempos que tardan los procesos de comunicación, con lo cual se garantiza el óptimo funcionamiento de la red.
- Realizar las pruebas del funcionamiento de la red integrando la parte física del emulador (carcasa, alimentación, RFID y sensores). Con la integración se podrá probar la simulación de la aplicación de la medicina y la ejecución del masaje torácico.
- Realizar talleres prácticos con los estudiantes y así realizar los ajustes necesarios. Adicionalmente se debe validar la red por parte de expertos en el área de la salud.

## FINANCIAMIENTO

Para el desarrollo de esta investigación se contó con el apoyo económico de Colciencias y la Universidad Nacional de Colombia por medio de la “Convocatoria 566: Jóvenes Investigadores e Innovadores–2012”.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a Colciencias y la Universidad Nacional de Colombia por medio de la “Convocatoria 566: Jóvenes Investigadores e Innovadores–2012”.

## REFERENCIAS

- Arrighi L., F.D.; Cifuentes, J.; Prieto, F.; Mendez, L. y Ramírez, J. (2011). Development of a neonatal interactive simulator by using an RFID module for healthcare professionals training Deploying RFID. *Challenges, Solutions, And Open Issues*, 28-51.
- Cobbe, S.; Reeve, W.; Swann, I.; Clark, L.; Watson, J. y MacFarlane, P. (2000). Cpr 98: a practical multimedia computer-based guide to cardiopulmonary resuscitation for medical students. *Resuscitation*.
- Cooper, J. y Taqueti, V. (2004). A brief history of the development of mannequin simulators for clinical education and training. *Qual Saf Health Care*, 13(1), 11-18.
- Currea G., S. (2005). *La adaptación neonatal inmediata, le reanimación neonatal*. Bogotá: Unibiblos.
- Estepa, Y.; Ramos, E.; Méndez, L.; Bacca, J. y Varón, M. (2012a). *Diseño e implementación de un sistema electromecánico para emular escenarios médicos del sistema respiratorio de pacientes neonatales*. Lima: Intercon.
- Estepa, Y.; Ramos, E.; Méndez, L.; Bacca, J. y Varón, M. (2012b). *Patients, Design and Implementation of an Electro-Mechanical System for the Simulation of Medical Scenarios of the Respiratory System of Neonatal*. Galápagos: CITIC 2012.
- Estepa, Y., R.F.; Ramos, E.; Cuervo, N.; Méndez, L.; Bacca, J. y Varón, M. (2013). *RFID Technologies applied to the Design and Implementation of Electro-Mechanical Systems for the Simulation of Medical Scenarios in Neonatal Patients*. Orlando, Florida: IEEE RFID.
- Estepa, Y., D.P., P.; Méndez, L. y Bacca, J. (2014). *Neonatal patients Simulators as a learning tools for Health Sciences students*. I Congreso Internacional de Ingeniería Clínica y Bioingeniería. Mayo. Bogotá, Colombia.

- Good, M. (2003). Patient simulation for training of basic and advanced clinical skills. *Med Educ*.
- Friedman, L. (2007). *SimpliciTI: Simple Modular RF Network Developer Notes*, Versión 1.10. Texas: Texas Instruments.
- Laerdal Medical Corp (s.f.).: Lista de precios julio 2014: [http://www.ogs.state.ny.us/purchase/spg/pdfdocs/3823219745PL\\_Laerdal.pdf](http://www.ogs.state.ny.us/purchase/spg/pdfdocs/3823219745PL_Laerdal.pdf)
- Laerdal Medical (s.f.). *Especificaciones del simulador neonatal SIMNewBaby*. Recuperado de: <http://www.laerdal.com/la/doc/88/SimNewB#/specs>
- Masuzawa, T.; Takashina, T. y Fukui, Y. (1990). A new cardiac auscultation simulator. *Clin Cardiol*.
- Medline Plus (s.f.). *Taquipnea transitoria en recién nacidos*. Recuperado de: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/007233.htm>
- Naciones Unidas (2014). *Objetivos de Desarrollo del Milenio: Informe 2013*. Recuperado de: <http://www.undp.org/content/dam/undp/library/MDG/spanish/mdg-report-2013-spanish.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2014a). *ODM 4: reducir la mortalidad infantil*. Recuperado de: [http://www.who.int/topics/millennium\\_development\\_goals/child\\_mortality/es/](http://www.who.int/topics/millennium_development_goals/child_mortality/es/)
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2014b). *Las muertes infantiles en el mundo se han reducido casi a la mitad desde 1990, dice la ONU*. Recuperado de: [http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/child\\_mortality\\_causes\\_20130913/es/](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/child_mortality_causes_20130913/es/)
- Ruiz, C.; Estepa, Y.; D.P., P.; Méndez, L. y Bacca, J. (2014). *Evaluación de un sistema de emulación de sonidos cardíacos y respiratorios en un maniquí de entrenamiento desarrollado en la Universidad Nacional de Colombia*. México: Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Neonatología (SIBEN).

