

# Diseño e implementación de un módulo de trauma hemorrágico para simulación clínica

B. Martín Calpena<sup>1</sup>, J. Rubio Bolívar<sup>2</sup>, B. Larraga García<sup>1</sup>, M. Quintana Díaz<sup>2</sup>, A. Gutiérrez Martín<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Departamento de Fotónica y Bioingeniería, ETSI de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. España, {beamcalpena}@gmail.com, {blanca.larraga, a.gutierrez}@upm.es

<sup>2</sup> Instituto de Investigación IdiPAZ, Hospital Universitario La Paz, Madrid. España {javier84.rubio, mqintanadiaz}@gmail.com

## Resumen

*El trauma hemorrágico es una de las mayores causas de muerte en el mundo, por lo que la práctica de protocolos de actuación frente a estas situaciones por parte de los equipos médicos es de gran importancia. El control del trauma hemorrágico es esencial no solo para los equipos médicos, sino también para aquellas personas que necesitan realizar una primera atención médica fuera de los hospitales. Es por ello por lo que, un módulo de sangrado para la simulación clínica puede ser un complemento útil para la asimilación de los protocolos de actuación frente a casos en los que el paciente sufra un traumatismo hemorrágico. En este trabajo se ha desarrollado un simulador capaz de reproducir diferentes escenarios de traumas hemorrágicos dependiendo del tipo de vaso afectado y la localización del mismo. Además, para el control y manejo del simulador, se ha creado una interfaz gráfica que permite la configuración de este tipo de escenarios de forma automática.*

## 1. Introducción

La simulación clínica es una nueva forma de aprendizaje que está evolucionando de forma significativa en el sector salud. Esta simulación requiere incorporar no solo conceptos teóricos, sino también habilidades de comunicación proporcionando un proceso de aprendizaje más completo. El uso de ejercicios de simulación como parte de la formación de los equipos médicos es uno de los objetivos principales de la simulación clínica [1].

Un módulo de trauma hemorrágico para simulación clínica consiste en un dispositivo electromecánico basado en la estructura y funciones que realiza el sistema cardiovascular. Se diseña para apoyar la creación de diferentes escenarios de trauma hemorrágico y así, ayudar a los clínicos a tener una visión lo más realista posible de casos a los que deberán hacer frente.

Los simuladores de trauma hemorrágico se pueden clasificar dependiendo de la realimentación que se requiera por parte del paciente y las habilidades a practicar. Hay dos tipos de simuladores: de baja, media y alta fidelidad. La principal diferencia es que los simuladores de alta fidelidad proporcionan respuesta por parte del paciente mientras que los de baja fidelidad no [2].

De esta manera, los clínicos reciben formación con respecto al trauma hemorrágico, reproduciendo situaciones reales que se dan en el hospital y asimilando de una manera más efectiva los protocolos de actuación. Esta práctica les ayuda a reducir el tiempo de reacción cuando un paciente sufre un daño en el sistema cardiovascular. No obstante, para cuando estas situaciones se dan fuera del hospital,

donde los primeros cuidados médicos son clave, incluso el personal que no es clínico debería tener conocimiento sobre el control de hemorragias. Por esta razón, los ejercicios de simulación son esenciales para formar a diferentes perfiles y así poder reducir daños en los pacientes. Además, permite entrenar diferentes técnicas de tratamiento de hemorragias mediante torniquetes, tipos de vendajes u otros dispositivos.

Según el Instituto Nacional de Trauma de Texas (EE. UU), el daño por trauma es una de las mayores causas de muerte en el mundo (47% de las muertes) siendo un número que incrementa anualmente [3]. En consecuencia, el desarrollo de un simulador puede favorecer en la respuesta frente a estas situaciones.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la Sección 2 se presenta un resumen del trauma hemorrágico. La Sección 3 explica el diseño hardware realizado y la Sección 4 el diseño software para el correcto funcionamiento del simulador. En la Sección 5 se presentan los resultados y la validación clínica del simulador. Por último, la Sección 6 presenta las conclusiones.

## 2. Trauma hemorrágico

El trauma se define como un daño corporal causado por un agente externo que produce no solo daños en la superficie dérmica y en los tejidos inferiores, sino también daños secundarios que pueden poner en riesgo la vida de los pacientes tales como shock, paro respiratorio y muerte. [4]

Puesto que un trauma puede afectar a varios órganos y tejidos, existen varias clasificaciones que se utilizan como guía para establecer protocolos de actuación. La Escala Abreviada de Lesiones creada por la Asociación para el Avance de la Medicina Automotriz proporciona una clasificación con un código de siete números [5]. El primer número hace referencia a la región del cuerpo afectada, el segundo al tipo de estructura anatómica, los dos siguientes especifican más detalladamente la estructura anatómica que sufre la lesión, el quinto y sexto número hacen referencia al nivel de daño sufrido y el último número hace referencia a la severidad.

En cualquier trauma, el sistema cardiovascular se ve casi siempre afectado produciéndose hemorragias. Es por esto por lo que se pueden derivar daños mayores en órganos y tejidos. Además, si ocurre un sangrado masivo puede originar lo que se llama un shock hemorrágico que afecta a la estabilidad hemodinámica del cuerpo, además de que

ocasiona daños a órganos, que en el peor de los casos puede llevar a un fallo multiorgánico [6]. Durante un shock hemorrágico, el ritmo cardíaco aumenta por el bajo nivel de oxígeno en sangre, la frecuencia respiratoria aumenta y esa falta de oxígeno provoca cambios que afectan al sistema nervioso central (SNC). El shock hemorrágico se puede clasificar en cuatro niveles, tal y como se muestra en la Tabla 1 [7].

Parámetros	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Pérdida de sangre (mL)	750	750-1500	1500-2000	>2000
% sangre perdida	15%	15-30%	30-40%	>40%
Ritmo cardíaco (latidos/min)	<100	100-120	120-140	>140
Frecuencia respiratoria (respiraciones/min)	14-20	20-30	30-40	>40
Síntomas del SNC	Normal	Ansiedad	Confusión	Letargo

**Tabla 1.** Niveles de shock hemorrágico.

Es muy importante identificar estos niveles para poder responder de forma adecuada y controlar la hemorragia. El tiempo de reacción en estos casos es decisivo para el paciente. Además, dependiendo del tipo de vaso afectado (vena y/o arteria) y de la localización del mismo (central o periférico) la recuperación del daño será más o menos complicada.

Está demostrado que la simulación clínica contribuye al desarrollo del personal clínico, aportando la integración de diferentes habilidades, técnicas y ganando confianza a la hora de hacer frente a diferentes escenarios [8]. Es por ello por lo que se plantea desarrollar un módulo de simulador de trauma portátil que simule diferentes sangrados según el tipo y la ubicación del vaso afectado y que se pueda controlar de forma automática a través de una interfaz gráfica.

### 3. Diseño hardware

Para cumplir con el objetivo de este trabajo, el simulador de trauma a diseñar debe ser portátil, fácilmente incorporado a otros simuladores del mercado, flexible, robusto y de tamaño reducido.

#### Diseño mecánico

El diseño mecánico tiene que cumplir, entre otros, con el requisito de que el simulador sea lo más parecido a la realidad posible. Por esto los materiales usados son (ver Figura 1):

- Piel: se va a fabricar una banda de piel, que está hecha de tres capas de siliconas de diferentes densidades. Estas tres capas simulan la capa muscular, la capa grasa y la superficial de la piel.

- Tubos flexibles: la sangre simulada circulará a través de dos conductos flexibles que representan los vasos sanguíneos. Se insertarán entre las capas de la piel fabricada y tienen una longitud suficiente para alcanzar a cualquier parte del cuerpo.
- Tanque de líquido: se precisan dos tanques de líquido donde almacenar la sangre a bombear, uno para sangre arterial y otro para sangre venosa.



**Figura 1.** Módulo de trauma.

#### Diseño electrónico

Para el desarrollo de este diseño se ha decidido utilizar las siguientes plataformas:

- Raspberry Pi 3 Modelo B+: es un ordenador de bajo coste que se ha seleccionado para ser el servidor web con conexión wifi. Es el encargado de comunicar a los usuarios (profesores y alumnos con el Arduino Due).
- Arduino Due: recibe la información de la Raspberry Pi para ejecutar los escenarios de simulación introducidos en la interfaz gráfica. Conecta con los sensores y actuadores existentes en el simulador.

Este diseño se compone de dos secciones importantes, una que proporciona información acerca de cómo se está controlando la hemorragia (acción del alumno) y otra que es la que gestiona la información para reproducir el escenario de trauma hemorrágico (acción del profesor).

Las dos secciones son:

- Control de la hemorragia: se realizará usando sensores de presión (ver Figura 2) que darán información acerca de si el alumno está realizando la presión suficiente para cortar la hemorragia o no. Además, se tendrá en cuenta los diferentes tipos de vasos sanguíneos y sus ubicaciones para determinar si la actuación es la correcta. El sensor de presión actúa como una resistencia variable en función de la presión, se ha alimentado a 5 V y conectado a la electrónica de control a través de un ADC de 10 bits.



Figura 2. Sensor de presión.

- Trauma hemorrágico: para poder generar diferentes tipos de hemorragias se ha diseñado un circuito de control con dos relés y dos bombas de agua (ver Figura 3). En el caso de que el sangrado sea arterial, la activación del relé se hará de forma pulsátil mientras que si es venoso, la activación será continua. Para activar el relé es preciso incluir un transistor BJT bipolar y así regular la corriente para conseguir los 5 V que activan el relé, partiendo de los 3,3 V que proporciona el pin digital de la placa Arduino Due.



(a)



(b)

Figura 3. (a) Relé de 5 V. y (b) Bomba de agua.

#### 4. Diseño software

El diseño software ha sido desarrollado siguiendo el esquema de la Figura 4. Se han tenido en cuenta los siguientes requisitos:

- El simulador debe ser capaz de reproducir diferentes escenarios de trauma hemorrágico diferenciando entre sangre arterial y venosa y entre vasos centrales y periféricos.
- El simulador tiene que ser controlado por una interfaz gráfica intuitiva y proporcionar una conexión en tiempo real.

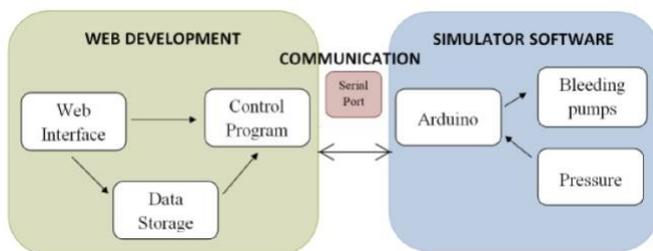


Figura 4. Esquema del software.

##### Desarrollo de la interfaz gráfica

Se desarrolla una interfaz gráfica que proporciona acceso a la configuración de diferentes escenarios de trauma hemorrágico. Esta interfaz ofrece dos opciones (ver Figura 5): una opción manual en la que el profesor puede

configurar el caso libremente y otra opción automática en la que existen casos preestablecidos con parámetros ya definidos.

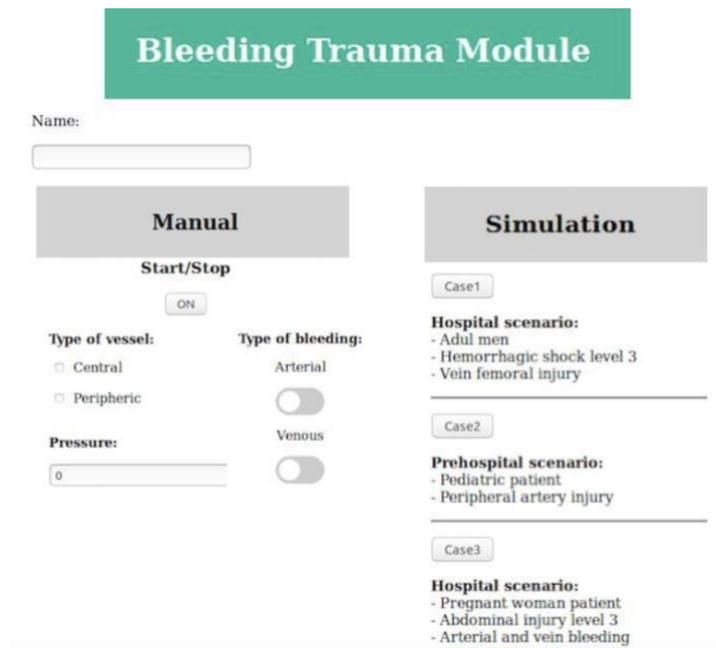


Figura 5. Interfaz gráfica.

#### Comunicación

El servidor web guarda los datos en dos archivos de texto: uno de ellos graba el estado de simulación y en el otro se graba la información del alumno, el tipo de vaso y el tipo de sangrado. Posteriormente un script de Python lee esta información y la envía al Arduino Due mediante un bus serie.

#### Software del simulador

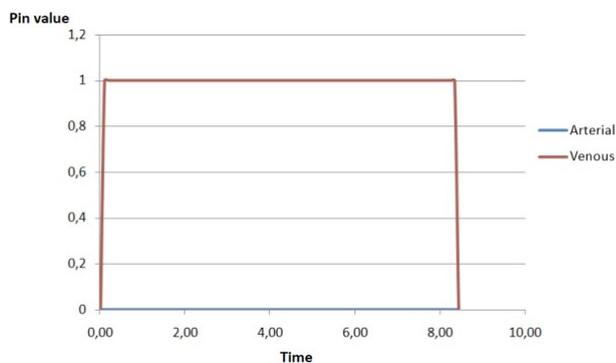
El software desarrollado en el Arduino Due es el encargado de activar el trauma hemorrágico tras recibir la información del servidor web. Éste envía señales a las bombas para su activación y recibe la señal del sensor de presión. La señal que se envía a las bombas se realiza activando el sangrado arterial cada 200 milisegundos y el venoso de forma continua. Por otro lado, se establece un temporizador que permite obtener la información del sensor de presión cada 200 milisegundos, permitiendo ver la evolución del control de la hemorragia que está realizando el alumno.

#### 5. Resultados y validación clínica

##### Resultados

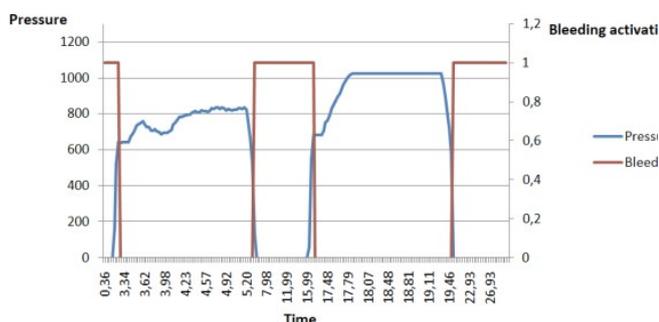
Se llevan a cabo dos pruebas diferentes: una para comprobar el funcionamiento del simulador con respecto al tipo de sangrado y otra para monitorizar la presión ejercida en el control de la hemorragia.

Con respecto al tipo de sangrado, se puede obtener el valor de activación de las bombas: sangrado arterial, venoso o arterial y venoso. En la Figura 6 se muestra como ejemplo el resultado de activar en el simulador un sangrado venoso, donde éste es continuo en el tiempo y el arterial se muestra desactivado.



**Figura 6.** Funcionamiento del sangrado venoso.

Con respecto a la presión ejercida, la localización del vaso juega un papel importante. Si el vaso es central, la presión necesaria para controlar la hemorragia será mayor que para el caso de un vaso periférico. En este sentido se realizan diversas pruebas con médicos especialistas para obtener la presión de referencia para poder controlar la hemorragia de vasos centrales y periféricos siendo esos valores 5V y 2,93V respectivamente (en el ADC 600 y 1023 respectivamente). La Figura 7 muestra el resultado de la evolución del sangrado en un vaso periférico cuando se ejerce presión para el control del mismo. Se observa que cuando se alcanza el valor de 600 en el sensor de presión, el sangrado para. Si se deja de ejercer esa presión, la hemorragia continúa.



**Figura 7.** Sangrado de un vaso periférico.

### Validación clínica

Se ha realizado una validación con clínicos de diferentes hospitales y unidades clínicas, evaluando tanto el simulador como la interfaz gráfica. Para ello, se les ha proporcionado a cada uno un cuestionario con once preguntas en las que deben evaluar (de 1 a 5) ambos aspectos (simulador e interfaz) tras realizar pruebas con el simulador. El personal clínico encontró el simulador muy útil para practicar un posible escenario de trauma hemorrágico (puntuación 5) y que la interfaz era muy fácil de usar e intuitiva (puntuación 4,5); además, la piel fabricada aporta realidad al simulador (puntuación 4,3). No obstante, esta validación también sirvió para recibir sugerencias de aspectos a mejorar como la inclusión del tiempo en el escenario como otra variable. Actualmente se está trabajando en incluir este aspecto en el simulador.

## 6. Conclusiones

El principal objetivo de este proyecto ha sido el diseño e implementación de un simulador de trauma hemorrágico para simulación clínica. Con este simulador se ha demostrado que los clínicos pueden practicar diferentes protocolos de actuación adquiriendo habilidades necesarias y reduciendo el tiempo de actuación frente a este tipo de traumas.

Este módulo de simulación no solo proporciona diferentes escenarios de sangrado, sino que también simula una herida consecuencia de un trauma de forma bastante real. Además, proporciona información en tiempo real de la actuación del alumno durante el control de la hemorragia.

Teniendo en cuenta los simuladores existentes en el mercado y los más usados en centros de simulación de hospitales, este módulo ofrece escenarios automáticos controlados que permiten a los equipos médicos practicar escenarios reales.

### Agradecimientos

Agradecer al Hospital Universitario de La Paz y al Departamento de Tecnología Fotónica y Bioingeniería de la Universidad Politécnica de Madrid por todo el apoyo recibido durante este trabajo. Finalmente, gracias a todas las personas que participaron en las pruebas de validación clínica por su tiempo y disposición.

### Referencias

- [1] Lamé G, Dixon-Woods M. Using clinical simulation to study how to improve quality and safety in healthcare. *BMJ Simulation and Technology Enhanced Learning*. (ISSN: 2056-6697).
- [2] Munshi F, Lababidi H, Alyousef S. Low- versus high-fidelity simulations in teaching and assessing clinical skills. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, vol 10, sup 1, 2015, pp 12-15 (ISSN:1658-3612).
- [3] National Trauma Institute. Trauma Statistics and Facts. <https://www.nattrauma.org/what-is-trauma/trauma-statistics-facts/>, 2015. [Online; accessed 24/04/2019].
- [4] Association for the Advancement of Automotive Medicine. ABBREVIATED INJURY SCALE (AIS). <https://www.aaam.org/abbreviated-injury-scale-ais/>, 2008. [Online; accessed 04/06/2019].
- [5] Greaves I, Porter K M, Ryan J M. (2007). Trauma critical care. Informa Healthcare USA, New York, USA. (ISBN: 978-0-8247 2920 2).
- [6] Víctor Parra M. Shock Hemorrágico. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 22(3):255-264, 2011.
- [7] Jeremy W. Cannon, M.D. Hemorrhagic Shock. *The New England Journal of Medicine*, 378(4):370-379, 2018.
- [8] David DeKunder. USAISR pilot program provides training on burn care to deploying servicemembers. <https://www.jbsa.mil/News/News/Article/1665571/usaisr-pilot-program-provides-training-on-burn-care-to-eploying-servicemembers/>, 2018. [Online; accessed 24/05/2019].