



Simulación biomédica para la educación

**Universidad Autónoma de
Occidente**

**Andrés Mauricio González Vargas
David Alejandro Castro Benavides**

Resumen

La bioinstrumentación es una de las líneas fundamentales de la ingeniería biomédica, y se enfoca en conocer los fundamentos necesarios para comprender el funcionamiento de los equipos biomédicos. Por esta razón, el aprendizaje a través de la práctica es de gran importancia, pues permite contextualizar adecuadamente los conocimientos adquiridos.

En su gran mayoría, estas experiencias son desarrolladas de manera presencial, pero muchas de ellas pueden ser trasladadas a ambientes online en que simuladores tanto de la actividad biológica como de los equipos que la miden permitan al estudiante practicar el uso de estos dispositivos y conocer sus principios de diseño.

En este capítulo presentaremos dos plataformas web: UAOSIMS y V-ESU, que sirven como laboratorio para el aprendizaje online de temas clave en el área de bioinstrumentación, y en donde los estudiantes pueden encontrar un conjunto de herramientas informáticas que brindan la posibilidad de efectuar simulaciones computacionales de varias señales fisiológicas e interactuar con módulos simulados que cumplan con las funciones fundamentales de diversos equipos biomédicos. Además, permite llevar a cabo actividades de entrenamiento en el manejo de estos equipos a través de videos educativos.

El uso de herramientas de simulación puede potenciar el aprendizaje en modalidad bi-learning o e-learning, facilitando el acceso, y motivando a estudiantes de regiones donde no existan programas de ingeniería biomédica para que puedan tomar cursos online. Por otra parte, estas herramientas permiten aligerar la carga en el uso de instalaciones y equipos. Actualmente, al menos

en el área de ingeniería biomédica, son muy pocas las herramientas similares que se encuentran disponibles a nivel internacional, y es por esto por lo que este capítulo puede contribuir a que surjan más iniciativas de este tipo en un futuro próximo.

Palabras clave: bioinstrumentación, ingeniería biomédica, simulación, educación

La problemática

Los equipos de bioinstrumentación son de gran importancia en la medicina, ya que permiten la medición de señales fisiológicas, o la aplicación de distintos tipos de energía con fines terapéuticos. Existen dispositivos de diagnóstico (como el electrocardiógrafo y el monitor de presión arterial), de soporte vital (como los ventiladores mecánicos, y las incubadoras), de terapia (como los electroestimuladores y equipos de rehabilitación) y de cirugía (como el electrobisturí y la máquina de anestesia)

Los estudiantes en los cursos de bioinstrumentación construyen prototipos funcionales de dispositivos biomédicos, pero necesitan la interacción con dispositivos ya existentes para identificar adecuadamente los requerimientos de su construcción y prever las variables que afectan el diseño. Por esto, en el Grupo de Investigación de Ingeniería Biomédica (G-Bio) de la Universidad Autónoma de Occidente (UAO) se han desarrollado durante los últimos dos años varias herramientas de simulación que se han ido incorporando paulatinamente en las clases de bioinstrumentación (Machado-Gamboa & Gonzalez-Vargas, 2018, Varela Guzman et al., 2021, Vergara Gil & Gonzalez-Vargas, 2021, Ramirez Diaz et al., 2021) El fin de la plataforma de simulación online UAOSIMS (UAOSIMS, 2021) y de la plataforma V-ESU (V-ESU, 2022) es proveer un entorno integrado en que se pueda acceder a versiones virtuales de estos desarrollos, adaptándolos para

que puedan ser usados fácilmente sin necesidad de instalar paquetes y librerías específicos en el computador personal de los estudiantes. Estas herramientas de simulación online tienen un costo de desarrollo significativamente bajo en comparación con el desarrollo de herramientas de hardware. Además, los simuladores online tienen la ventaja de poder utilizarse simultáneamente por un gran número de usuarios. Este concepto de laboratorio simulado ha sido aplicado con éxito en otras áreas (p. ej. Valiente et al., 2019), y existen algunos ejemplos en biomédica (p. ej. Singh et al., 2020), aunque, para el caso particular de equipos como el electrocardiógrafo, el monitor de presión arterial, el pulsioxímetro, y el electrobisturí, las opciones disponibles actualmente son limitadas en sus prestaciones o valor educativo. Teniendo esto en cuenta, el propósito de la plataforma UAOSIMS y la plataforma V-ESU es integrar de manera adecuada simuladores y material audiovisual para ofrecer una experiencia de aprendizaje significativo a los estudiantes de ingeniería biomédica en la línea de bioinstrumentación.

Marco teórico

A continuación, haremos una breve descripción algunos de los equipos y señales que son simulados en nuestras plataformas.

Electrocardiografía (ECG)

El corazón funciona gracias a la actividad coordinada de las distintas cámaras que lo componen, mediante la generación de impulsos eléctricos espontáneos en el nodo sinuauricular, y su posterior transmisión a las aurículas y ventrículos. Con el fin de medir la activación eléctrica del corazón se utiliza un electrocardiógrafo, cuyo fin es captar la diferencia de potencial entre electrodos ubicados en diferentes partes del tórax, y permitir al especialista realizar un diagnóstico del estado del corazón. Un simulador de electrocardiografía permite simular las señales eléctricas del corazón en condiciones normales y anormales por medio de la variación de la frecuencia, amplitud, forma de la

señal, y adición de ruidos o artefactos. Esto permite la calibración y validación de electrocardiógrafos. La Imagen 1 (parte superior) nos muestra la forma en que los electrodos son colocados en el pecho de un paciente (izquierda), las tres derivaciones bipolares de un ECG (centro) y un ejemplo de simulador de ECG comercial (derecha)

Monitoreo no invasivo de presión arterial (NIBP)

Los profesionales de la salud expresan la presión arterial en milímetros de mercurio (mm Hg) Cuando un profesional de la salud toma la presión de manera no invasiva (NIBP, por sus siglas en inglés), obtiene dos números: la primera lectura es la presión arterial sistólica y el segundo la presión arterial diastólica. En una persona sana estos números suelen estar alrededor de 120mmHg (sistólica) y 80mmHg (diastólica) La NIBP se puede medir de forma manual (método auscultatorio) o de manera automática (con el método oscilométrico) en un monitor de presión. El método oscilométrico mide la amplitud de las oscilaciones que aparecen en un sensor de presión en el brazalete. La señal de presión medida en el brazalete aumenta en la región de presión sistólica, alcanzando un máximo cuando la presión del manguito es igual a la presión arterial media. A medida que la presión por debajo de este punto, la intensidad de la señal disminuye proporcionalmente. La función principal de un simulador NIBP de forma de onda es simular los pulsos de presión oscilométricos correspondientes a los pulsos fisiológicos de un paciente real, y alimentarlos en el monitor de NIBP bajo prueba. La Imagen 1 (parte central) nos muestra algunos dispositivos para medición y simulación de presión arterial.

Medición de la saturación de oxígeno (SpO2)

Debido a que el oxígeno no es soluble en sangre, se requiere de un método de transporte secundario para llevarlo a todo el cuerpo. Esto se hace por medio de la hemoglobina. La medición de saturación de oxígeno (SpO2), también conocida como pulsioximetría, nos permite calcular el porcentaje de SpO2, el cual es una aproximación de la cantidad de oxígeno transportado por

la hemoglobina. Un factor clave que utilizan los pulsioxímetros es el cambio de color que esta presenta, ya que una molécula de hemoglobina oxigenada (HbO₂) presenta un color rojo brillante, mientras que una hemoglobina desoxigenada (Hb) presenta un color rojo oscuro. El pulsioxímetro utiliza dos tipos de luces con diferente longitud de onda: rojo e infrarrojo. Los espectros de absorción para cada longitud de onda son diferentes en la Hb y la HbO₂, y este aspecto es aprovechado por el pulsioxímetro para calcular el %SPO₂. Existen distintos tipos de simuladores de SPO₂. Algunos de los más comunes usan el mismo principio que el sensor de SPO₂, pero invertido, usando un fotodiodo para captar las señales de luz que salen del sensor, y luego, de acuerdo con la SPO₂ que se pretende simular, varían la señal de otros dos leds emisores que son los que excitarán al fotodiodo presente en el sensor. La Imagen 1 (parte inferior) muestra un tipo común de sensor de SPO₂, la onda PPG y un simulador comercial.

Unidad de Electrocirugía (ESU)

Una ESU (por sus siglas en inglés Electro-Surgical Unit) suministra corriente eléctrica de alta frecuencia para producir efectos de corte y coagulación en los tejidos. Es utilizada ampliamente en dermatología, ginecología, y gran variedad de procedimientos quirúrgicos (cardíacos, plásticos, oculares, ortopédicos, neurológicos, etc.) Las ESU también son utilizadas en endoscopia para realizar ablación, desecación, cauterización y eliminación de tejidos. Dependiendo del efecto que se quiera lograr, las ESU utilizan distintos tipos de onda (continua o intermitente), modos de conexión (monopolar o bipolar), tipos de electrodos (de punta plana, de aguja, de bola, etc.) y unos rangos de salida que pueden alcanzar valores de 250 Vatios, 7000 Voltios y 10 amperios. En la actualidad, existen equipos que sirven para analizar el desempeño de las ESU y verificar su calibración, pero no conocemos ningún simulador que provea una experiencia realista de manejo de una ESU.



Imagen 1. Superior: Conexión, señal y simulación de un ECG. Parte central: equipos para medición y simulación de NIBP. Inferior: Conexión, señal y simulación de un pulsioxímetro.

Fuente. Adaptación a partir de Wikimedia Commons (2019) y Rawpixel (2022)

Plataforma UAOSIMS

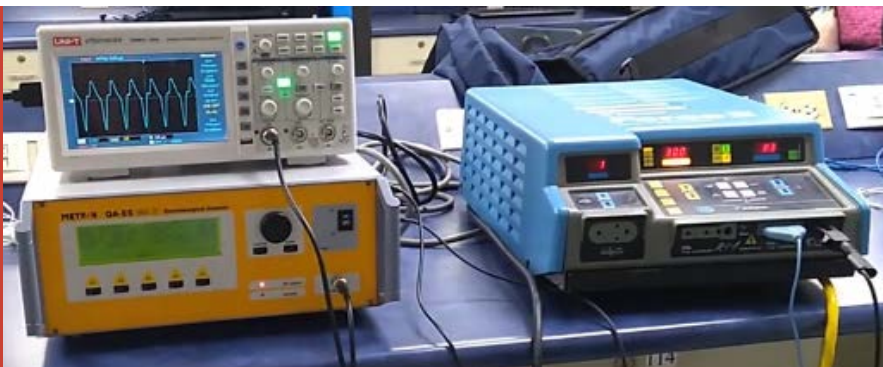
El núcleo de esta plataforma son los simuladores de ECG, NIBP y SPO2 (Imagen 3) Para complementar estos módulos se decidió incluir los módulos de circuitos biomédicos (Imagen 4), videos educativos y enlaces externos. A continuación, describiremos sus funciones:

ECG

Este módulo permite al estudiante simular señales de electrocardiografía visualizándolas en 12 derivaciones. Se puede variar la frecuencia y amplitud, así como simular arritmias, añadir distintos tipos de ruido y observar la señal tanto en el dominio del tiempo como en el de frecuencia.

Imagen 2. Unidad Electrocirugía conectada a un analizador y un osciloscopio para analizar su forma de onda de salida.

Fuente. Elaboración propia



NIBP

Este módulo permite simular una toma de presión arterial no invasiva, seleccionado diferentes valores de presión sistólica y diastólica, y visualizar el comportamiento de la señal de presión en el sensor del equipo durante las fases de inflado y desinflado del brazalete, además de identificar los cambios generados por las pulsaciones y los puntos que permiten caracterizar la presión arterial simulada.

SPO2

En este módulo se pueden visualizar diferentes valores de saturación de oxígeno y de frecuencia cardíaca, y visualizar cuatro diferentes gráficas que permiten entender aspectos como: el comportamiento de la onda pletismográfica, la relación entre la longitud de onda y su absorción en la hemoglobina, la relación entre el valor de SPO2 y el valor R, y la relación entre las amplitudes de las señales roja e infrarroja en el sensor.

Circuitos biomédicos

En este módulo se encuentran disponibles tres paquetes que permiten simular mediante el software Proteus los circuitos básicos correspondientes a un electrocardiógrafo, una incubadora y un analizador de incubadoras. Mediante unos videos explicativos se detalla la estructura funcionamiento de dichos circuitos para que el estudiante pueda descargarlos y ejecutarlos en su PC.

Videos educativos

Este módulo consta de diversos videos elaborados con ayuda de estudiantes, en los cuales explican varias funciones comunes en los distintos equipos disponibles en el laboratorio de bioinstrumentación, como el monitor de signos vitales, el electrocardiógrafo, la incubadora, la bomba de infusión y el electrobisturí.

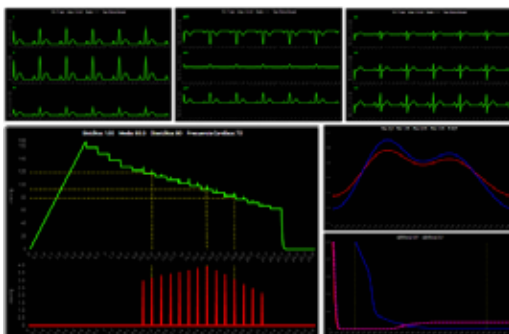


Imagen 3.
Superior:
Simulador de ECG.
Inferior izquierda:
Simulador de NIBP.
Inferior derecha:
Simulador de SPO2
Fuente.
Elaboración propia.

Enlaces externos

Este módulo recopila diferentes simuladores disponibles en la red que han sido desarrollados por otras instituciones. Varios de ellos están implementados para ser usados con el plugin de Flash, así que se incluyen explicaciones de cómo poder utilizarlos en los exploradores actuales que no soportan este plugin.

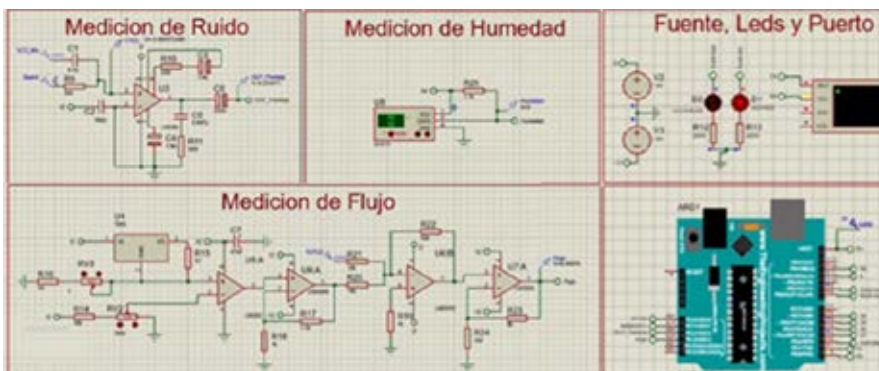


Imagen 4.
Superior: Página
de acceso a
los circuitos
biomédicos.
Inferior: detalle
de un circuito de
una incubadora.
Fuente.
Elaboración propia.

Plataforma V-ESU

El simulador de V-ESU (Imagen 5) está diseñado para mostrar un entorno virtual con la intención de enseñar información básica de la unidad de electrocirugía, y permitir la interacción con el equipo y la manipulación de este sobre un sujeto de prueba para conocer los diferentes modos de uso del equipo dentro de un espacio educativo seguro, creado para estudiantes, al cual pueden acceder a cualquier hora del día para que puedan conocer, reforzar y practicar sus conocimientos en torno al electrobisturí sin temor a riesgos contra su salud o de daño físico del equipo. El equipo que se muestra en el entorno virtual corresponde a un electrobisturí con funciones genéricas cuyo nombre es V-ESU.

El simulador cuenta con diferentes momentos: en el de *Conexiones* puede conocer los cables principales y su conexión para encender una ESU. En el escenario de *Parámetros* puede conocer e interactuar con los botones del panel frontal de la ESU, y conectar electrodos activos tanto monopolares como bipolares. En el de *Corte* puede explorar los modos de uso de la ESU con un sujeto de prueba simulado que se encuentra en una sala de operaciones. En el escenario de *Profundidad de corte* puede observar la profundidad de corte en el entorno virtual y el ciclo de trabajo de cada modo a partir de imágenes. En la *Situación problema* se presentan situaciones de la vida real y el usuario podrá poner a prueba sus conocimientos a través de un video interactivo que en ciertos puntos le hará preguntas con varias opciones de respuesta y, dependiendo de la respuesta del usuario, desarrollará la historia de diferentes maneras.

Las herramientas de simulación son ampliamente utilizadas en todas las ramas de la ingeniería. Sin embargo, aunque es bien sabido que estas proporcionan una gran ventaja a la hora de realizar prototipados y pruebas computacionales, otros aspectos sobre su potencial educativo no han sido tan estudiados. Esto puede deberse en parte a que hay cierto nivel de desconexión entre los intereses investigativos en las áreas de ingeniería y

de educación. Una revisión de las publicaciones de los últimos años muestra que hay muchas oportunidades de innovación e investigación desde la combinación educación-ingeniería. El uso de herramientas similares a UAOSIMS y V-ESU es un complemento muy útil para el aprendizaje teórico en el aula y el aprendizaje práctico realizado en el laboratorio. Además, dentro de los proyectos actuales hay aún mucho espacio para mejorar, con el fin de que sea una herramienta educativa óptima no solo para ingenieros biomédicos sino para el personal de la salud. A futuro, se planea que estas plataformas se integren para ofrecer una experiencia completa de laboratorio simulado en ingeniería biomédica.

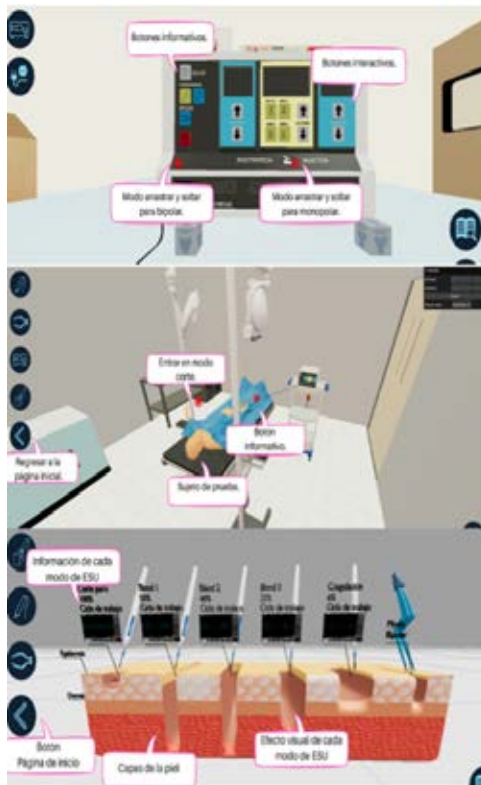


Imagen 5.
Superior: Página
de acceso a
los circuitos
biomédicos.
Inferior: detalle
de un circuito de
una incubadora.

Fuente.
Elaboración propia.

¿Quieres conocer más de este proyecto?



Visita nuestro canal de YouTube:

<https://www.youtube.com/c/iniciacioncientifica>

Agradecimientos y reconocimientos

Este proyecto ha sido posible gracias al trabajo de nuestros estudiantes y demás participantes a través de semilleros, proyectos de grado y pasantías de investigación.

Queremos agradecer especialmente a **Isabella González Barona, Michelle Ortiz Guarín, Kevin Machado Gamboa, Juan Camilo Vergara, Julián Camilo Varela, Soren Acevedo, Yamil Lima, y Ali Valentina Mera**, quienes desarrollaron los módulos principales de simulación de las plataformas aquí presentadas.

Igualmente agradecemos a **Kimberly Caicedo, Daniela Sanclemente, Nelly Burbano, Cindy Arroyave, Angela Yepes, Gilber Corrales, María José Bastidas, Juan José Prado, Isabella Torres, James Bello, Mariana Mejía, María José Hurtado, Julián Loaiza, Sebastián Ramírez, Ana Torres, John Cardona** y demás participantes que contribuyeron con diferentes módulos del proyecto general.

Queremos también agradecer especialmente a la **Universidad Autónoma de Occidente**, que a través de los proyectos 20INTER-367 y 17INTER-285 financió gran parte del desarrollo de estas plataformas.

Referencias

- Machado-Gamboa, K., & González-Vargas, A. (2018, August) Development of a Low-Cost Pulse Oximeter Simulator for Educational Purposes. 2018 IEEE ANDESCON. <https://doi.org/10.1109/andescon.2018.8564698>
- Ortiz Guarín, M., González Barona, I., Castro Benavides, D. A., & González-Vargas, A. M. (2022, October 24) V-ESU: Online virtual environment for an electrosurgical unit simulator. IX Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2022, Florianópolis, SC – Brasil.
- Publicdomainpictures (2007) Retrieved October 5,2022, from <https://www.publicdomainpictures.net/pictures/180000/velka/ecg-electrodes-attached-to-torso.jpg+>
- Ramírez Díaz, S., Bustos Rodríguez, D., & González-Vargas, A. M. (2021, October 13) Low-cost, open-source defibrillation analyzer for educational purposes. 2021 IEEE 2nd International Congress of Biomedical Engineering and Bioengineering (CI-IB&B) <https://doi.org/10.1109/ci-ibbi54220.2021.9626084>
- Rawpixel (2022) Blood Pressure Images | Free Photos, PNG Stickers, Wallpapers & Backgrounds. Rawpixel. Retrieved October 5,2022, from https://www.rawpixel.com/search/blood%20pressure?page=1&sort=curated&topic_group=_topics
- Singh, A., Ferry, D., Ramakrishnan, A., & Balasubramanian, S. (2020, September 11) Using Virtual Reality in Biomedical Engineering Education. Journal of Biomechanical Engineering, 142 (11) <https://doi.org/10.1115/1.4048005>
- UAOSIMS. (2021) Retrieved October 5,2022, from <https://uaosims.uao.edu.co/>
- V-ESU. (2022) Retrieved October 5,2022, from <https://v-esu.herokuapp.com/vistas/inicio.html>

- Valiente, D., Payá, L., Fernández de Ávila, S., Ferrer, J., Cebollada, S., & Reinoso, O. (2019) Active Learning Program Supported by Online Simulation Applet in Engineering Education. Proceedings of the 9th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies, and Applications.
- Varela Guzmán, J. C., González-Vargas, A. M., & Cabrera, J. J. (2021, October 13) UAOSIM-NIBP: An open-source, low-cost, blood pressure simulator. 2021 IEEE 2nd International Congress of Biomedical Engineering and Bioengineering (CI-IB&BI) <https://doi.org/10.1109/ci-ibbi54220.2021.9626118>
- Vergara Gil, J. C., & González-Vargas, A. M. (2021, October 13) UAOSIM-ECG: An open-source 12-lead electrocardiography simulator. 2021 IEEE 2nd International Congress of Biomedical Engineering and Bioengineering (CI-IB&BI) <https://doi.org/10.1109/ci-ibbi54220.2021.9626054>
- Wikimedia Commons. (2019, April 6) Retrieved October 5, 2022, from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Normal_12_lead_EKG.jpg