

PLATAFORMA PARA EL ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE BIOSEÑALES

BIOSIGNALS ANALYSIS AND PROCESSING PLATFORM

D. Torres Guzmán¹
E. Barbará Morales²

RESUMEN

Debido a las restricciones impuestas por la pandemia relacionada con el CoVID-19, se ha hecho indispensable buscar alternativas que permitan la continuidad del proceso de enseñanza-aprendizaje de manera eficiente; sin limitar las opciones de los estudiantes y complementando las cuestiones teóricas abordadas con acciones prácticas realizadas durante las sesiones de laboratorios. Debido a lo anterior, se propone el diseño de una plataforma software destinada a la adquisición, el análisis y procesamiento de señales biológicas. Para el diseño se utilizó la herramienta computacional MATLAB y para la implementación y puesta a punto se utilizaron señales reales disponibles en la base de datos internacional Physionet. El uso de la plataforma permitirá mitigar los inconvenientes acarreados por la educación en línea, integrando y sincronizando los conocimientos teóricos con escenarios prácticos reales; permitiendo, así, fortalecer el proceso enseñanza-aprendizaje en las materias relacionadas y contribuyendo a mejorar la formación directa de los estudiantes.

ABSTRACT

Due to the restrictions imposed by the pandemic related to CoVID-19, it has become essential to looking for alternatives that allow the continuity of the teaching-learning process in an efficient way; without limiting the options of the students and complementing the theoretical issues addressed with practical actions carried out during the laboratory sessions. Due to, the design of a software platform for the acquisition, analysis and processing of biological signals is proposed. For the design, the MATLAB computational tool was used and for the implementation and fine-tuning, real signals, available in the Physionet international database, were used. The use of the platform will mitigate the inconveniences caused by online education, integrating, and synchronizing theoretical knowledge with real practical scenarios; allowing, thus, to strengthen the teaching-learning process in related subjects and contributing to improve the direct training of students.

ANTECEDENTES

Problema

El análisis y procesamiento de bioseñales es una de las disciplinas que más importancia ha ganado dentro de las ciencias médicas y que más repercusión positiva tiene en el cuidado de la salud de las personas. Las técnicas y métodos que dicha disciplina engloba permiten emitir diagnósticos más precisos a partir de la realización de una caracterización eficiente de las señales provenientes del cuerpo humano y la estimación segura de parámetros fisiológicos.

Debido a la impartición de clases en línea (modelo educativo virtual), como resultado de las restricciones impuestas por la pandemia relacionada con el coronavirus SARS-CoV-2, se ha detectado la necesidad de correlacionar los conocimientos teóricos abordados con labores prácticas, que tributen a una mejor formación de los estudiantes. Sin embargo, una de las principales dificultades radica en la ausencia de sistemas (hardware y/o software) que puedan ser utilizados para el análisis y procesamiento de señales biológicas. Debido a esto, el conocimiento teórico, adquirido por los alumnos, no se encuentra debidamente

¹ Profesor Asociado C de Tiempo Completo. Universidad Nacional Autónoma de México. didier.torres@unam.mx.

² Profesor de Tiempo Completo Universidad Anáhuac Mayab. eduardo.barbara@anahuac.mx.

complementado con acciones prácticas. Por tanto, se hace imprescindible encontrar variantes que permitan enriquecer y dar continuidad al proceso de enseñanza-aprendizaje de manera eficiente; sin limitar las opciones de los estudiantes y complementando las cuestiones teóricas con las correspondientes sesiones de laboratorios.

Debido a lo anterior, nace la necesidad de desarrollar una plataforma software que contribuya a la sincronización de los conocimientos teóricos con experiencias prácticas, y que permita el procesamiento digital de las señales relacionadas con variables fisiológicas, en un entorno confiable, gratuito y con un mínimo de recursos. Adicionalmente, esto permitirá reforzar y fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje en las asignaturas relacionadas, y servirá, también, de soporte al quehacer del personal médico especializado permitiendo la emisión de diagnósticos precisos.

Pregunta de investigación

¿Favorecerá el desarrollo de una plataforma software, destinada al análisis y procesamiento digital de señales biológicas, la continuidad del proceso de enseñanza-aprendizaje de manera eficiente?

Objetivo general

Desarrollar e implementar una plataforma software que permita la adquisición, el análisis y el procesamiento digital de señales biológicas y que pueda ser utilizada, tanto en modelos de educación/formación presenciales, virtuales y mixtos.

Justificación

La plataforma podrá ser utilizada de manera gratuita por estudiantes de diferentes ingenierías o estudiantes de posgrados, tanto en las asignaturas asociadas en los respectivos planes de estudio, como en actividades de investigación y trabajos de tesis. Se espera que el impacto en el proceso de enseñanza-aprendizaje sea elevado; fortaleciendo los conocimientos teóricos adquiridos y reforzándolos con actividades prácticas basadas en escenarios reales. En estas situaciones, los alumnos podrán poner en práctica las habilidades adquiridas en el análisis y procesamiento digital de dichas señales, permitiendo la extracción de la información clínicamente útil contenida en ellas. Lo anterior, generará un impacto positivo en la enseñanza de las materias relacionadas, permitiéndole a los docentes poner a prueba el intelecto estudiantil utilizando situaciones reales, desde simples hasta complejas.

Adicionalmente, la plataforma desarrollada es de gran utilidad en situaciones como las que actualmente se vive debido a la pandemia originada por el coronavirus SARS-CoV-2. La contingencia ha dejado grandes retos para una educación a distancia de calidad y, en muchos casos, la formación de los estudiantes se ha visto limitada al no poder asistir a los laboratorios y salones de cómputo destinados a la realización de sus prácticas.

En tal sentido, la plataforma ayudará a continuar con el proceso de enseñanza-aprendizaje, mediante la propuesta de un ambiente virtual con la finalidad de que los estudiantes realicen sus prácticas de laboratorio sin limitar su aprendizaje y posibilitando, de este modo, la continuidad del proceso. Además, la plataforma posee la ventaja de poder ser utilizada en salas especializadas de cómputo, tanto en situaciones de educación/formación presencial

como en situaciones en las que las herramientas virtuales forman parte del centro del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Además, la plataforma podrá ser utilizada por profesionales, investigadores y profesores relacionados con el sector salud. Desde el punto de vista social esto tendrá un impacto muy positivo en el cuidado de las personas, ya que, mediante su utilización será posible analizar bioseñales desde el punto de vista temporal y frecuencial, con el objetivo de estimar parámetros fisiológicos y biomarcadores que, aunado a la experiencia del personal médico, permitirán emitir diagnósticos más precisos.

Contexto

Para el diseño e implementación de la plataforma software que se propone en este trabajo se utilizó el asistente GUIDE (*Graphical User Interface Development Environment*), el cual viene incluido en la herramienta computacional MATLAB® (con licencia 40816183). Con el objetivo de poner a punto la plataforma y lograr un correcto funcionamiento de esta, se utilizaron señales biológicas reales, disponibles en la base de datos internacional PhysioBank Databases (Goldberger, *et al.*, 2000).

METODOLOGÍA

Ante los sucesos acaecidos por la CoVID-19, la Ingeniería Biomédica se ha convertido en una de las disciplinas ingenieriles de mayor relevancia a nivel mundial. Según Wellock (2020), los ingenieros biomédicos ayudan a las sociedades a prepararse para enfrentar crisis graves de salud; apoyando en la prevención de la propagación de enfermedades infecciosas, en el tratamiento de pacientes mediante el diseño y fabricación de instrumentación relacionada en el desarrollo de tecnologías para la detección e identificación de bacterias y virus, así como, para el diagnóstico de enfermedades.

Debido a lo anterior, se hace imprescindible proporcionar a los futuros ingenieros biomédicos una formación integral donde se sincronicen los conceptos teóricos con actividades prácticas, ya sea, utilizando plataformas hardware o software. Sin embargo, la contingencia actual ha dejado grandes retos para una educación a distancia de calidad (Banco Mundial [BM], 2020) y, como señala Ruiz (2020), la formación de los estudiantes se ha visto limitada al no poder asistir, a los laboratorios y salones de cómputo destinados a la realización de sus prácticas donde complementan los aspectos teóricos. En tal sentido, está orientado el presente trabajo, cuya finalidad es proponer un ambiente virtual, con el que los estudiantes puedan realizar sus prácticas de laboratorio sin ver limitado su aprendizaje y posibilitando la continuidad del proceso de enseñanza-aprendizaje de manera eficiente.

Si bien existen plataformas educativas como BioSig (Vidaurre, *et al.*, 2011), ECGLab (Cuesta, *et al.*, 2003), PRANA Software Suite (PhiTools, 2021), y otras profesionales como Logger Pro® 3 (Vernier, 2021), SigView (Signal Lab, 2021) y OpenSignals (Plux Wireless biosignals, 2010), que pudieran ser utilizadas para los fines antes descritos, es válido señalar que, algunas conllevan su adquisición y en muchos casos la adquisición de la instrumentación asociada. Esto acarrea dos importantes desventajas: por un lado, la inversión necesaria para la adquisición de las plataformas (hardware y/o software) y el consecuente soporte técnico para las mismas; y, por otro lado, la restricción del estudio a las señales biológicas tratadas en dichas plataformas.

La plataforma objeto de estudio de este trabajo, además de contribuir al fortalecimiento de los conocimientos teóricos adquiridos, permite su consolidación con acciones prácticas. Posee la ventaja de poder ser utilizada en salas especializadas de cómputo, en situaciones de educación/formación presencial o en situaciones de enseñanza en las que las plataformas virtuales constituyen un invaluable apoyo para el proceso de enseñanza-aprendizaje (modelos educativos virtuales y mixtos).

Se debe resaltar que la plataforma implementada ha sido exitosamente registrada en el Instituto Nacional de Derecho de Autor (Registro Público del Derecho de Autor, registro 03-2021-112513453200-01 de 2021), en la rama de Programas de Computación, lo que le imprime un respaldo de calidad al trabajo desarrollado (INDAUTOR, 2021).

RESULTADOS

La plataforma software desarrollada fue nombrada PAPBioS y engloba diversos algoritmos y funciones que permiten aplicar varias técnicas y métodos de análisis y de procesamiento digital a una señal biomédica previamente seleccionada o adquirida.

Como se muestra en la parte superior de la Figura 1, PAPBioS se ha organizado en menús (recuadro rojo) y estos, a su vez, en submenús que permiten la selección y ejecución de las diferentes técnicas implementadas. También cuenta con una barra de herramientas (recuadro azul) en donde se integran las siguientes funcionalidades: importar señal, exportar datos, guardar información, marcador, acercar zona, alejar zona, desplazamiento, rotación 3D y salir de la plataforma.

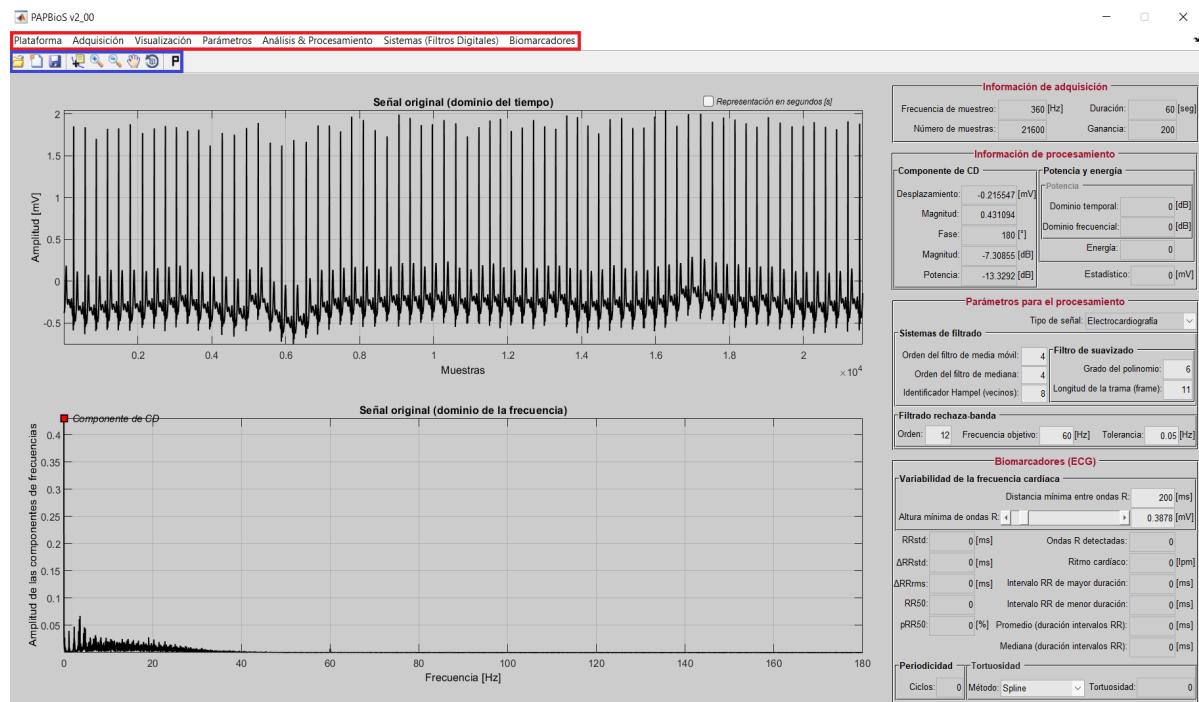


Figura 1. Representación temporal de una señal de electrocardiografía (gráfica superior) y representación de su espectro de amplitud (gráfica inferior)

En el menú Plataforma se agrupan una serie de submenús que permiten realizar ciertas configuraciones. Por ejemplo, se pueden habilitar o inhabilitar los mensajes académicos, inicializar los gráficos y los campos de datos; así como, actualizar el pin de acceso. Además, se pueden encontrar los submenús para soporte técnico y la ayuda del programa.

El menú Adquisición permite la conexión y comunicación con tarjetas de hardware externas para la adquisición de bioseñales en tiempo real, así como la adquisición de señales de voz mediante el micrófono integrado en la computadora donde se utiliza la plataforma.

Una vez adquirida o importada la señal bajo estudio es posible realizar diversas acciones sobre ésta. Las técnicas de análisis y procesamiento implementadas se agrupan en los correspondientes submenús en los que se han dividido los menús nombrados Parámetros y Análisis & Procesamiento.

En el menú Visualización es posible llevar a cabo una simulación (ejecutar, pausar, continuar y finalizar) de la adquisición de la señal bajo estudio. Además, en caso de requerir realizar el análisis de solo una parte de la señal original es posible seleccionar una ventana temporal de ésta de cualquier longitud (en número de muestras).

En el menú Parámetros es posible realizar diferentes estimaciones, como la de varios estadísticos, la potencia, la energía y valores máximos y mínimos de la señal bajo estudio. Además, es posible determinar el área bajo la curva de la señal

Las técnicas de análisis y procesamiento más importantes se encuentran en el menú Análisis & Procesamiento, y se han organizado en tres categorías principales: dominio temporal, dominio frecuencial y dominio tiempo-frecuencia.

El menú Sistemas permite el diseño y análisis de sistemas discretos. Específicamente, este menú está orientado al trabajo con filtros digitales, tanto de respuesta finita como infinita al impulso. Después de diseñado el filtro requerido, es posible realizar el análisis del mismo mediante la obtención de su respuesta en frecuencia (respuestas de magnitud y fase); y, además, utilizarlo para eliminar componentes de frecuencias no deseadas y que no aportan información clínicamente útil de la señal bajo estudio.

Para el caso de señales médicas, por ejemplo, de electrocardiografía (ECG), es posible realizar la estimación de biomarcadores útiles para el diagnóstico de diferentes patologías como: la duración de intervalos RR, el ritmo cardíaco, análisis de periodicidad, entre otros. Todo esto se puede ser seleccionado a partir del menú Biomarcadores. Por ejemplo, en la Figura 2 se observa la detección de los intervalos RR de la señal de ECG mostrada en la Figura 1, así como, la estimación de la variabilidad del ritmo cardíaco (serie temporal de intervalos RR). En el recuadro azul, en la parte inferior derecha de la Figura 2, se muestra la estimación de diversos parámetros clínicos utilizados por el personal médico especializado para el diagnóstico de diversas patologías relacionadas con el ritmo cardíaco.

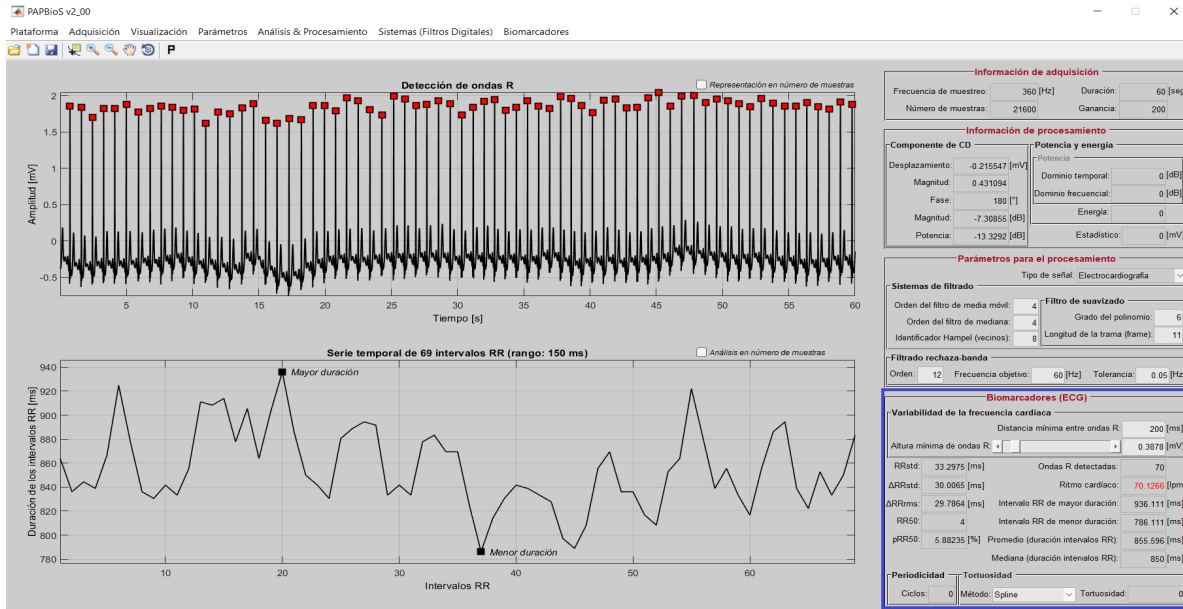


Figura 2. Detección de los intervalos RR (gráfico superior) y estimación de la variabilidad del ritmo cardíaco (gráfico inferior)

El tamaño en Megabytes y la longitud en número de páginas orientadas para la realización del presente documento, dificulta el poder mostrar imágenes adicionales donde se pudieran exponer las diversas técnicas y algoritmos de análisis y procesamiento implementados. No obstante, a continuación, se enlistan algunos de los que se encuentran completamente funcionales en la plataforma:

- Caracterización (valor temporal, amplitud espectral, potencia y fase) de la componente de corriente directa de la señal bajo estudio.
- Estimación de parámetros estadísticos de tendencia central (media, mediana, moda y valor medio cuadrático), de dispersión (varianza y desviación estándar) y la secuencia de autocorrelación de la señal bajo estudio.
- Estimación de la potencia de la señal bajo estudio, tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia.
- Eliminación de tendencias lineales y no lineales.
- Suavizado, eliminación de valores atípicos y filtrado de media móvil; tanto con sistemas recursivos como no recursivos.
- Procesamiento digital de tasa múltiple (diezmado e interpolación).
- Detección del cruce por cero y detección de cruce por el valor medio.
- Detección de cambios abruptos en la señal bajo estudio.
- Compresión de la señal bajo estudio utilizando la transformada del coseno discreto.
- Extracción de envolventes.
- Análisis espectral de la señal bajo estudio mediante la representación de sus espectros de amplitud y fase.
- Estimación de la densidad espectral de potencia y del espectro de potencia de la señal bajo estudio utilizando métodos no paramétricos, paramétricos y de subespacios.
- Estimaciones espectrales como: entropía espectral, ancho de banda, frecuencia media e instantánea, relación señal a ruido y distorsión total de armónicos.

- Diseño de filtros digitales (pasa-bajas, pasa-altas, pasa-banda y rechaza-banda) y análisis de éstos mediante la obtención del diagrama de polos y ceros, su respuesta de magnitud, su respuesta de fase, su respuesta al impulso, su respuesta al escalón, su retardo de grupo y su retardo de fase.
- Análisis en el dominio tiempo-frecuencia utilizando la transformada de Fourier de corta duración y el espectrograma.

Debido a las restricciones impuestas por la pandemia relacionada con el coronavirus SARS-CoV-2, la plataforma fue utilizada en la segunda mitad del año anterior durante la aplicación del modelo educativo virtual. Se utilizó, concretamente, en la realización de las prácticas de laboratorio de asignaturas relacionadas con el análisis y procesamiento de bioseñales. Los resultados obtenidos son considerados satisfactorios, ya que, el proceso de enseñanza-aprendizaje no se interrumpió, ni se vio limitado por la imposibilidad de asistir presencialmente a las sesiones de laboratorios.

Los estudiantes tuvieron la oportunidad de complementar los aspectos teóricos abordados, a partir de la aplicación de las técnicas de procesamiento incluidas en PAPBioS; y pudieron analizar señales biológicas reales, estimar parámetros y extraer información clínicamente útil para la emisión de diagnósticos.

Actualmente, y con el retorno al modelo de educativo presencial, la plataforma sigue siendo un soporte invaluable para la correcta formación de los alumnos. Se han realizado hasta el momento, cuatro prácticas de laboratorio, en las que los estudiantes han podido mostrar sus habilidades y conocimientos en la obtención de señales biológicas listas para el diagnóstico.

CONCLUSIONES

La utilización de la plataforma PAPBioS en las asignaturas relacionadas ha supuesto y supone una ventaja significativa en la formación de los futuros ingenieros. PAPBioS puede ser utilizada en salas especializadas de cómputo y mediante ésta, los estudiantes complementan y refuerzan los conocimientos teóricos adquiridos con acciones prácticas, tanto en modelos educacionales presenciales, virtuales, como híbridos.

Es válido destacar que, el uso de la plataforma no está limitado exclusivamente a estudiantes relacionados con la ingeniería biomédica; si no, que puede ser utilizada por estudiantes de cualquier ingeniería donde se necesiten analizar y procesar señales. Además, puede ser utilizada por estudiantes de nivel posgrado ya que cuenta con la implementación de técnicas avanzadas de procesamiento digital de señales.

Además, señales asociadas a variables fisiológicas, como la temperatura corporal, el ritmo cardíaco, la frecuencia respiratoria y la saturación de oxígeno en sangre, y que se encuentran directamente relacionadas a la presencia del coronavirus SARS-CoV-2, también pueden ser estudiadas, independientemente del estado de la persona (antes del contagio, durante el contagio y una vez superada la enfermedad). Esto permitirá al personal médico y paramédico disponer de una herramienta versátil y de fácil utilización al momento de realizar la exploración de los pacientes.

La plataforma puede ser utilizada por profesionales, investigadores y profesores relacionados con el sector salud. Desde el punto de vista social esto tendrá un impacto muy positivo en el cuidado de las personas, ya que, mediante su utilización será posible analizar bioseñales desde el punto de vista temporal y frecuencial, con el objetivo de estimar parámetros fisiológicos y biomarcadores que junto a la experiencia del personal médico permitirán emitir diagnósticos precisos.

Aún se continúa trabajando en el perfeccionamiento de la versión actual de la plataforma, sin embargo, ya se encuentra disponible para poder ser utilizada durante la formación de los estudiantes, con el plus de contar con un Certificado del Registro Público del Derecho de Autor.

BIBLIOGRAFÍA

Banco Mundial (2020). *COVID-19: Impacto en la educación y respuestas de política pública*. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/804001590734163932/pdf/The-COVID-19-Pandemic-Shocks-to-Education-and-Policy-Responses.pdf>

Cuesta, D., Mico, P., Aboy, M., Novak, D., Brezny, R., Samblas, L., Pastor, D. & Sancho, S. (September, 2003). *Biosignal laboratory: a software tool for biomedical signal processing and analysis*. In Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Cancún, México. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1280917>

Instituto Nacional del Derecho de Autor (2021). *Registro 03-2021-112513453200-01*. Por el cual se hace constar que la obra queda inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor.

Goldberger, A., Amaral, L., Glass, L., Hausdorff, J., Ivanov, P., Mark, R., Mietus, J., Moody, G., Peng, C. y Stanley, H. (2000). PhysioBank, PhysioToolkit and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals. *Circulation*, volumen 101(23), pp. 215-220. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10851218/>

PhiTools (2021). *PRANA Software Suite - Software Tools for Physiology*. <https://www.phitools.com/prana.php>

Plux wireless biosignals (2010). *OpenSignals- software*. <https://www.pluxbiosignals.com/>

Ruiz, G. (2020). COVID-19: Pensar la educación en un escenario inédito. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, volumen 25(85), pp. 229-237. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662020000200229#:~:text=La%20disminuci%C3%B3n%20de%20las%20oportunidades,por%20el%20tr%C3%A1nsito%20forzoso%20a

Signal Lab (2021). *About - Sigview spectrum analyzer - FFT based signal analysis software*. www.signallab.com/

Vernier (2022). *Logger Pro*[®] 3 - software. <https://www.vernier.com/product/logger-pro-3/>

Vidaurre, C., Sander, T. & Schlögl, A. (2011). BioSig: the free and open-source software library for biomedical signal processing. *Computational Intelligence and Neuroscience*, (5). <https://www.hindawi.com/journals/cin/2011/935364/>

Wellok, B. (2020). FSU experts explain how chemical and biomedical engineers help the fight against coronavirus. *Florida State University News*. <https://news.fsu.edu/news/expert-pitches/2020/04/06/fsu-experts-explain-how-chemical-and-biomedical-engineers-help-the-fight-against-coronavirus/>