# "ANÁLISIS DE SEÑALES BIOMÉDICAS"

## DATOS GENERALES

| Tipo de crédito | Tipo de asignatura | Idioma de impartición | Modalidad de impartición |
|---|---|---|---|
| Optativo | Curso | Español | Presencial y/o Mixta |

## CRÉDITOS

De acuerdo con la propuesta curricular, los datos escolares de la asignatura son:

| Semestre | Número de semanas | Horas presenciales de teoría por semana | Horas presenciales de práctica por semana | Horas de trabajo autónomo del estudiante por semana | Total de créditos (RGEP) |
|---|---|---|---|---|---|
| Optativo | 16 | 3 | 0 | 5 | 8 |

## OBJETIVO GENERAL DE APRENDIZAJE

Al concluir esta asignatura, el estudiante comprenderá las bases teóricas y logrará implementar técnicas clásicas de procesamiento digital de señales en el contexto biomédico, partiendo de la comprensión de las bases fisiológicas de señales biomédicas comúnmente empleadas en proyectos de Ciencias de la Vida, como de electrocardiografía y electromiografía, y culminando con el análisis de estas señales empleando software numérico especializado como MATLAB.

## COMPETENCIAS PROFESIONALES A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

Esta asignatura contribuye de manera directa al logro de las siguientes competencias profesionales del perfil de egreso del programa:

| Competencia | Descripción de la competencia |
|---|---|
| **Transversal** | Resolver problemas en alguna de las diferentes líneas de generación y aplicación del conocimiento del programa (Neurociencias, Biología Funcional, Ecología Integrativa y Conservación, y Bioingeniería) mediante el uso de metodologías y herramientas biológicas, analíticas y de ingeniería con énfasis en salud, conservación y medio ambiente, buscando contribuir al desarrollo de biotecnologías. |

| | |
|---|---|
| **Transversal** | Realizar actividades de investigación y/o desarrollo tecnológico, solucionar problemas de amplio impacto social, con una perspectiva multidisciplinar, en áreas y disciplinas asociadas a la Fisiología, Biología Molecular, Genética, Biología Celular, Microbiología, Ecología y Conservación del Ambiente, Conservación, Neurociencias, y Bioingeniería, o en cualquiera de las áreas de especialización del posgrado. |
| **Profesional de énfasis** | Diseñar y desarrollar dispositivos mecánicos, eléctricos, electrónicos y electromecánicos para atender las necesidades del personal de las ciencias biológicas y de la salud. |
| **Profesional de énfasis** | Realizar análisis y modelado de información aplicados a sistemas biológicos y médicos, con base a herramientas de ciencia de datos. |
| **Profesional específica** | Diseñar y desarrollar prototipos o algoritmos haciendo uso de las herramientas tecnológicas más recientes en el área de Bioingeniería. |

## PLANEACIÓN DIDÁCTICA GENERAL

A continuación, se describe la planeación general del proceso de aprendizaje:

| # | Nombre de la Unidad o Fase | Resultados de aprendizaje específicos | Metodologías y actividades de enseñanza-aprendizaje |
|---|---|---|---|
| 1 | 1. Conceptos básicos del análisis de señales y sistemas<br>1.1. Representación temporal de señales y sistemas LTI<br>1.2. Representación espectral de señales y sistemas LTI<br>1.3. Teorema de muestreo<br>1.4. Filtrado digital de señales<br>1.5. Procesamiento de señales biomédicas<br>1.6. Aplicaciones clásicas en señales biomédicas | • Comprender y aplicar conceptos básicos relacionados a señales biomédicas y sistemas de tiempo discreto, en los dominios temporal y espectral. | • Revisar definiciones básicas acerca de señales y sistemas de tiempo discreto<br>• Revisar la representación de señales y sistemas de tiempo discreto en el dominio temporal, incluyendo respuesta al impulso y ecuaciones de diferencias<br>• Revisar la representación de señales y sistemas de tiempo discreto en el dominio espectral, incluyendo la transformada z y las representaciones de Fourier<br>• Revisar el teorema de muestreo de Nyquist y analizar su relevancia en el análisis de señales biomédicas<br>• Revisar el diseño de filtros digitales con respuesta al impulso finita e infinita<br>• Investigar y reportar idóneamente acerca de aplicaciones clásicas de procesamiento digital de señales en el campo biomédico, relacionadas con sus intereses de investigación en el Posgrado en Ciencias de la Vida |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2 | 2. Análisis tiempo-frecuencia<br>2.1. Necesidad del análisis tiempo-frecuencia<br>2.2. Definición y propiedades de una TFR<br>2.3. Clase general de TFR de Cohen<br>2.4. Método de reasignación<br>2.5. TFRs basadas en modelos autorregresivos<br>2.6. Espectro de Hilbert-Huang<br>2.7. Aplicaciones clásicas en señales biomédicas | • Comprender y aplicar conceptos básicos del análisis tiempo-frecuencia, así como de representaciones tiempo-frecuencia (TFR) comúnmente empleadas en el campo de análisis de señales biomédicas. | • Analizar la necesidad del análisis tiempo-frecuencia<br>• Estudiar definiciones y conceptos básicos acerca del análisis tiempo-frecuencia<br>• Estudiar el espectrograma, basado en la transformada de Fourier de tiempo corto, como la TFR clásica<br>• Introducir y analizar diversas TFR propuestas como alternativa al espectrograma, por ejemplo, distribución Choi-Williams, TFR basada en modelado autorregresivo variante en el tiempo y espectro de Hilbert-Huang<br>• Explorar el desempeño de las TFR analizadas mediante simulación de señales en MATLAB<br>• Investigar y reportar idóneamente acerca de una aplicación del análisis tiempo-frecuencia aplicado a la señal biomédica de interés |
| 3 | 3. Señal de electrocardiografía<br>3.1. Aspectos mecánicos y electrofisiológicos del ciclo cardiaco<br>3.2. Adquisición del ECG<br>3.3. Características de la señal de ECG<br>3.4. Aplicaciones clásicas de procesamiento de señales de ECG | • Comprender conceptos fisiológicos asociados con la actividad eléctrica del corazón (ECG) y conceptos relacionados a la adquisición del ECG.<br>• Analizar e implementar técnicas clásicas de procesamiento de señales en el campo de ECG. | • Estudiar conceptos fisiológicos relacionados con la actividad mecánica y eléctrica del corazón (Diagrama de Wiggers)<br>• Estudiar conceptos y aspectos prácticos relacionados con la adquisición de la señal de la actividad eléctrica cardiaca (ECG)<br>• Analizar las características temporales y espectrales de la señal de ECG<br>• Analizar aplicaciones clásicas de procesamiento de señales de ECG, por ejemplo, la estimación de la serie de tiempo de la frecuencia cardiaca y el análisis de alternancias<br>• Investigar, implementar y reportar idóneamente acerca de una aplicación de procesamiento de señales de ECG (mini-proyecto) |
| 4 | 4. Señal de electromiografía<br>4.1. Aspectos mecánicos y electrofisiológicos de la contracción del músculo esquelético<br>4.2. Adquisición del EMG de superficie e intramuscular<br>4.3. Características de la señal de EMG | • Comprender conceptos fisiológicos asociados con la actividad eléctrica del músculo esquelético (EMG) y conceptos relacionados a la adquisición del EMG.<br>• Analizar e implementar técnicas clásicas de procesamiento de señales en el campo de EMG. | • Estudiar conceptos fisiológicos relacionados con la actividad mecánica y eléctrica del músculo esquelético<br>• Estudiar conceptos y aspectos prácticos relacionados con la adquisición de la señal de la actividad eléctrica muscular (ECG) de superficie e intramuscular<br>• Analizar las características temporales y espectrales de la señal de EMG<br>• Analizar aplicaciones clásicas de procesamiento de señales de EMG, por ejemplo, estimación de la envolvente del EMG y estimación del par articular a partir del EMG |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 4.4. Aplicaciones clásicas de procesamiento de señales de EMG | | • Investigar, implementar y reportar idóneamente acerca de una aplicación de procesamiento de señales de EMG (mini-proyecto) |
| 5 | 5. Señal de fotopletismografía<br>5.1. Origen y características del PPG<br>5.2. Adquisición de la señal de PPG<br>5.3. Fotopletismografía de imagen (iPPG)<br>5.4. Aplicaciones clásicas de procesamiento de señales de PPG e iPPG | • Comprender conceptos fisiológicos asociados con la señal de fotopletismografía (PPG) y conceptos relacionados a la adquisición del PPG.<br>• Analizar e implementar técnicas clásicas de procesamiento de señales en el campo de PPG. | • Estudiar conceptos fisiológicos relacionados con la generación y adquisición de la señal de fotopletismografía (PPG)<br>• Analizar las características temporales y espectrales de la señal de PPG<br>• Introducir conceptos relacionados con la fotopletismografía de imagen (iPPG)<br>• Analizar aplicaciones clásicas de procesamiento de señales de PPG e iPPG, por ejemplo, estimación de la frecuencia de pulso y variabilidad de la frecuencia de pulso<br>• Investigar, implementar y reportar idóneamente acerca de una aplicación de procesamiento de señales de iPPG (mini-proyecto) |
| 6 | 6. Señal de sonidos respiratorios<br>6.1. Origen y clasificación de los SR<br>6.2. Adquisición de SR<br>6.3. SR adventicios discontinuos y continuos<br>6.4. Aplicaciones clásicas de procesamiento de señales de SR | • Comprender conceptos fisiológicos asociados con los sonidos respiratorios (SR) y conceptos relacionados a la adquisición de los SR.<br>• Analizar e implementar técnicas clásicas de procesamiento de señales en el campo de SR. | • Estudiar conceptos fisiológicos relacionados con la generación y adquisición de señales de sonidos respiratorios (SR)<br>• Analizar las características temporales y espectrales de la señal de SR<br>• Analizar aplicaciones clásicas de procesamiento de señales de SR<br>• Investigar, implementar y reportar idóneamente acerca de una aplicación de procesamiento de señales de SR (mini-proyecto) |

## EVALUACIÓN

El enfoque de este curso tiene un componente práctico relevante enfocado en la realización de mini-proyectos. A continuación, se muestra las condiciones de las evaluaciones parciales.

| # Parcial | Momento de evaluación | Método de evaluación y valor para la evaluación parcial | Ponderación para evaluación final |
|---|---|---|---|
| 1 | Al finalizar la Unidad 1 | • Asignación de un trabajo de investigación sobre una aplicación de procesamiento digital de señales relacionada con la señal biomédica de interés para el alumno | 5% |
| 2 | Al finalizar la Unidad 2 | • Examen teórico sobre los conceptos básicos de señales y sistemas de tiempo discreto y sobre las representaciones tiempo-frecuencia | 5% |
| 3 | Al finalizar la Unidad 2 | • Asignación de un trabajo investigación sobre una aplicación del análisis tiempo-frecuencia de la señal biomédica de interés para el alumno | 10% |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4 | Al finalizar la Unidad 3 | • Asignación de un mini-proyecto teórico-práctico de investigación sobre una aplicación del análisis clásica de procesamiento de señales de ECG | 20% |
| 5 | Al finalizar la Unidad 4 | • Asignación de un mini-proyecto teórico-práctico de investigación sobre una aplicación del análisis clásica de procesamiento de señales de EMG | 20% |
| 6 | Al finalizar la Unidad 5 | • Asignación de un mini-proyecto teórico-práctico de investigación sobre una aplicación del análisis clásica de procesamiento de señales de PPG o iPPG | 20% |
| 7 | Al finalizar la Unidad 6 | • Asignación de un mini-proyecto teórico-práctico de investigación sobre una aplicación del análisis clásica de procesamiento de señales de SR | 20% |

## RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS Y DIGITALES

### TEXTOS BÁSICOS


- H. Hsu, Schaum's Outline of Signals and Systems, Fourth Edition. New York, NY, 2019.
- J. E. Hall, *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*, 12e, 12th edition. Saunders, 2010.
- J. D. Bronzino and D. R. Peterson, *The Biomedical Engineering Handbook*, Third Edition: Biomedical Engineering Fundamentals, Boca Raton, FL: CRC Press, 2006.
- L. Cohen, *Time-frequency analysis*, vol. 778. Prentice Hall PTR New Jersey, 1995.
- L. Sörnmo and P. Laguna, *Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications*, Amsterdam; Boston: Academic Press, 2005.
- "Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology," *Eur. Heart J.*, vol. 17, no. 3, pp. 354–381, Mar. 1996.
- J. Pan and W. J. Tompkins, "A Real-Time QRS Detection Algorithm," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-32, no. 3, pp. 230–236, Mar. 1985.
- R. D. Berger, S. Akselrod, D. Gordon, and R. J. Cohen, "An Efficient Algorithm for Spectral Analysis of Heart Rate Variability," *IEEE Trans. Biomed*. Eng., vol. BME-33, no. 9, pp. 900–904, Sep. 1986.
- R. K. Mohn, "Modelling the natural pacemaker of the heart as a pulse-frequency modulator," *Med. Biol. Eng. Comput.,* vol. 16, no. 1, pp. 90–97, Jan. 1978.
- D. Farina and R. Merletti, "Comparison of algorithms for estimation of EMG variables during voluntary isometric contractions," *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 10, no. 5, pp. 337–349, Oct. 2000.
- E. A. Clancy, O. Bida, and D. Rancourt, "Influence of advanced electromyogram (EMG) amplitude processors on EMG-to-torque estimation during constant-posture, force-varying contractions," *J. Biomech.*, vol. 39, no. 14, pp. 2690–2698, 2006.
- Y. Mendelson, "Pulse oximetry: theory and applications for noninvasive monitoring," *Clin. Chem.*, vol. 38, no. 9, pp. 1601–1607, Sep. 1992.
- E. Andrès, R. Gass, A. Charloux, C. Brandt, and A. Hentzler, "Respiratory sound analysis in the era of evidence-based medicine and the world of medicine 2.0," *J. Med. Life*, vol. 11, no. 2, pp. 89–106, 2018.

- B. A. Reyes, N. Reljin, and K. H. Chon, "Tracheal Sounds Acquisition Using Smartphones," *Sensors*, vol. 14, no. 8, pp. 13830–13850, Jul. 2014.
- E. H. la Cruz, S. Charleston-Villalobos, T. Aljama-Corrales, and B. Reyes, "Simultaneous Estimation of Instantaneous Heart and Respiratory Rates using Image Photoplethysmography on a Single Smartphone," in 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC), Nov. 2021, pp. 311–314.
- B. A. Reyes, S. Charleston-Villalobos, R. González-Camarena, and T. Aljama-Corrales, "Assessment of time–frequency representation techniques for thoracic sounds analysis," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 114, no. 3, pp. 276–290, 2014.
- B. A. Reyes, N. Olvera-Montes, S. Charleston-Villalobos, R. González-Camarena, M. Mejía-Ávila, and T. Aljama-Corrales, "A Smartphone-Based System for Automated Bedside Detection of Crackle Sounds in Diffuse Interstitial Pneumonia Patients," *Sensors*, vol. 18, no. 11, p. 3813, Nov. 2018.


### RECURSOS DIGITALES

- "File Exchange - MATLAB Central." https://la.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/
- "PhysioNet Databases." https://physionet.org/about/database/
- "Mendeley Data." https://data.mendeley.com/
- "BioSig." http://biosig.sourceforge.net/

## REQUISITOS PARA CURSAR LA ASIGNATURA

Para poder cursar esta asignatura, es necesario haber aprobado:

- Diseño de Investigación y Bioestadística

Además, es necesario contar con conocimientos básicos sobre:

- Programación numérica

## INTEROPERABILIDAD

Esta asignatura es compartida con los siguientes programas de posgado:

- Maestría en Ingeniería Electrónica
- Doctorado en Ciencias de la Ingeniería

## OTRAS FORMAS DE ACREDITACIÓN

- Esta asignatura puede ser acreditada a través de la presentación de un documento probatorio que certifique que el estudiante ya cuenta con los aprendizajes necesarios: **Sí**

- Esta asignatura puede ser acreditada a través de un examen que certifique que el estudiante ya cuenta con los aprendizajes necesarios: **Sí**

## MÁXIMO Y MÍNIMO DE ESTUDIANTES POR GRUPO

- Máximo de estudiantes por grupo para garantizar viabilidad académica, pedagógica y financiera: 20
- Mínimo de estudiantes por grupo para garantizar viabilidad académica, pedagógica y financiera: 3

## ELABORADORES Y REVISORES

- **Elaboró**: Dr. Bersaín Alexander Reyes
- **Revisó**: