

**Aspectos generales**

Título:	Introducción al análisis electrofisiológico con EEG y LFP
Programas de posgrado o planes de estudio en donde se ofertará adicionalmente:	
Posgrados de Ciencias Biomédicas.	
Área del conocimiento:	Neurociencias y neurobiología
Semestre:	2026-2
Modalidad:	Tópico selecto
Horario:	Martes de 15:30 hrs a 18:00 hrs
No. sesiones:	16
Horas por sesión:	2.5
Total alumnos PDCB:	10
Total alumnos:	10
Videoconferencia:	Si
Lugar donde se imparte:	Instituto de Fisiología Celular, Edificio de Neurociencias (aula por definir)
Informes:	M.I. Manuel Tonatiuh Figueroa Vanegas Ext: 25675; correo: tfigueroa@ifc.unam.mx

**Métodos de evaluación**

MÉTODO	PORCENTAJE	NOTAS
Participación en clase	35%	Conforme se vaya avanzando en los temas se pedirá al principio de cada clase la participación voluntaria de 2 alumnos para que resuman de forma breve (5 minutos) lo visto en la clase anterior; con esta dinámica se busca mantener el estudio constante de la materia
Seminario de Evaluación	50%	25% por examen. Se plantean exámenes cooperativos donde el grupo revise en conjunto la información dada hasta antes de dicha evaluación. Para ello, se puede elegir revisar papers que hablen de los temas tratados y que serán entregados previamente al grupo
Tareas y Prácticas	15%	se plantearán pocas para realizar fuera del aula buscando que sean puntuales para reforzar los temas aprendidos. Ejemplo: Buscar papers donde se mencione la metodología de preprocesamiento de datos de señales y sus aportaciones.

**Contribución de este curso/tópico en la formación del alumnado del PDCB:**

Este curso permite al alumno familiarizarse con los conceptos básicos en el tratamiento de señales de bajas frecuencias (EEG o LFP); sin embargo, se provee de un marco teórico para entender la Electrofisiología y sus aplicaciones en el campo académico. A su vez, permitirá al alumno desarrollar criterios claros desde el planteamiento del experimento, los detalles a cuidar en las tareas psicofísicas planteadas tanto para humano como no humanos que permitan el preprocesamiento y posterior tratamiento de las señales bajo protocolos adecuados que faciliten la investigación en neurociencias.

**Profesor (a) responsable**

Nombre:	Figueroa Vanegas Manuel Tonatiuh
Teléfono:	
Email:	tfigueroa@ifc.unam.mx

**Profesores (as) participantes**

PARTICIPANTE	ENTIDAD O ADSCRIPCIÓN	SESIONES

<b>FIGUEROA VANEGAS MANUEL TONATIHU</b> Responsable	Instituto de Fisiología Celular	Seminario de Evaluación. Seminario de Evaluación. Sesión 15 1. ¿Qué es la Señal Electrofisiológica? 9. Álgebra lineal en breve 10. Transformada Discreta de Fourier, FFT y Teorema de Convolución 11. Morlet Wavelets y Convolución 12. Wavelets Complejas y la Extracción de Poder y Fase 13. Filtro Pasobandas. 14. Transformada Corta de FFT y Multitapers
<b>CABRERA RUÍZ ELIZABETH</b> Integrante	Instituto de Fisiología Celular	2. Análisis del dominio Frecuencia-Tiempo. Ventajas y Limitaciones 3. Aplicación clínica de EEG. Potenciales Evocados por Evento PE 4. Interpretación de Resultados de Frecuencia
<b>MORÁN MARTÍNEZ ISAAC</b> Integrante	Otras entidades	f. Rechazo de ensayos y detección de artefactos 5. Introducción a la programación en Matlab 6. Introducción a las bases fisiológicas de EEG y LFP y diseño de experimentos 7. Preprocesamiento de Datos: Relevancia y Utilidad

## Introducción

Los procesos biológicos presentes en estructuras cerebrales son estudiados por medio de señales eléctricas que al ser analizadas permiten dilucidar procesos cognitivos altamente complejos. En el presente curso se busca aportar una metodología clara que permita a los alumnos generar los protocolos de investigación para el análisis y tratamiento de señales electrofisiológicas de baja frecuencia presentes en Potencial Local de Campo (LFP) y Electroencefalografía (EEG). Para ello, se explicarán nociones básicas de electrofisiología como potenciales evocados y sus componentes, biomarcadores cognitivos y electrocorticografía ; a su vez, se definirá y estudiará el diseño de experimentos psicofísicos, preprocesamiento de señales con librerías de uso común en Matlab, aplicación de análisis de frecuencia-tiempo con Fourier y su transformada rápida (FFT). Se usarán bases de álgebra lineal (convolución), tipos de filtros y finalmente la implementación de métodos estándar como Wavelets que les permita descomponer la señal en bandas de poder y frecuencias típicamente conocidas como Delta, Theta, Alpha, Beta y Gamma, estudiando sus modulaciones. Por lo tanto, el planteamiento del curso es teórico-práctico permitiendo a los alumnos afrontar cualquier tipo de señal electrofisiológica y proseguir con análisis más detallados.

## Temario

1. ¿Qué es la Señal Electrofisiológica? Sesión 1 (3 de Febrero de 2026) Manuel Figueroa 30 min y Elizabeth Cabrera 2 hr.
  - a. Introducción al curso. Vista General.
  - b. Breve Historia.
  - c. ¿Cómo se obtiene y qué la compone? Porque se estudia
  - d. Frecuencia Altas y Bajas.
  - e. ¿Qué es la Electrofisiología Cognitiva?
2. Análisis del dominio Frecuencia-Tiempo. Ventajas y Limitaciones. Sesión 2 (10 de Febrero de 2026) Elizabeth Cabrera, 2hrs 30 min.
  - a. Electroencefalografía, EEG.
  - b. Potenciales Locales de Campo, LFP.
  - c. EEG, LFP; similitudes y diferencias.
  - d. Ventajas y limitaciones del Frecuencia-Tiempo basado en aproximaciones.
3. Aplicación clínica de EEG. Potenciales Evocados por Evento PE Sesión 3 (17 de Febrero de 2026) Elizabeth Cabrera, 2hrs 30 min
  - a. Componentes de PE, variación negativa contingente, potencial de Bereitschafts negatividad de desajuste, N200, P300, P200, P600, N400, P3a y P3b
  - b. Potenciales evocados auditivos, visuales y somatosensoriales
  - c. Biomarcadores cognitivos basados en EEG
  - d. Electrocorticografía
4. Interpretación de Resultados de Frecuencia-Tiempo. Sesión 4 (24 de Febrero de 2026) Elizabeth Cabrera, 2hrs 30 min.
  - a. Bases para EEG Frecuencia-Tiempo.
  - b. Interpretación de resultados.
  - c. Datos a tomar en cuenta al visualizar resultados de Frecuencia-Tiempo
  - d. ¿Los resultados son oscilaciones neuronales?
5. Introducción a la programación en Matlab. Sesión 5 (3 de Marzo de 2026) Isaac Moran, 2hrs 30 min.
  - a. Como escribir código eficiente y limpio.
  - b. Consejos simples pero poderosos:
    - i. Nombrar variables y archivos.
    - ii. Cuando hacer respaldos y cuando guardar código sin modificar.
    - iii. Inicializar variables.
6. Introducción a las bases fisiológicas de EEG y LFP y diseño de experimentos. Sesión 6 (10 de Marzo de 2026) Isaac Moran, 2hr 30 min.
  - a. Eventos fisiológicos medibles.

- b. Mecanismos neurobiológicos de las oscilaciones.
- c. ¿Los campos eléctricos están involucrados en la cognición?
- d. Elementos básicos en el diseño de experimentos.
- e. ¿Para qué los eventos en una tarea?
- f. Prueba de poder o ¿cuántos ensayos necesito?
- g. Frecuencia de Muestreo y Nyquist.

7. Preprocesamiento de Datos: Relevancia y Utilidad. Sesión 7 (17 de Marzo de 2026), Isaac Moran, 2hrs 30 min.

- a. ¿Qué es el preprocesamiento?
- b. Balance entre señal y ruido
- c. Creando épocas-ensayos.
- d. Ensayos coincidentes en las diferentes condiciones.
- e. Filtrado
  
- f. Rechazo de ensayos y detección de artefactos. Sesión 8 (24 de Marzo de 2025) Isaac Moran, 2 hr 30 min.
- g. Referencias.
- h. Interpolación con malos electrodos.
- i. Importancia de empezar con data "limpio".

8. Artefactos: Detección, influencia y eliminación. Cómo detectarlos.

- a. Biológico, Físico o Artificial.
- b. Minimizar artefactos.

---

Seminario de Evaluación. Sesión 9 (7 de Abril de 2026) Isaac Moran 1hr 15 min y Elizabeth Cabrera 1 hr 15 min.

9. Algebra lineal en breve. Sesión 10 (14 de Abril de 2026), Manuel Figueroa, 2hrs 30 min

- a. Producto Punto.
- b. Convolución y cómo funciona.
- c. Convolución vs Cross-Covarianza.
- d. Convolución en EEG y LFP.

10. Transformada Discreta de Fourier, FFT y Teorema de Convolución. Sesión 11 (21 de Abril de 2026) Manuel Figueroa, 2hrs 30 min.

- a. ¿Qué es la Onda?
- b. Ondas con la Transformada de Fourier.
- c. Transformada Discreta de Fourier.
- d. Resultados Complejos y Frecuencias negativas.
- e. Transformada Inversa de Fourier.
- f. Transformada Rápida de Fourier, FFT.
- g. Teorema de Convolución
- h. FFT y Convolución en Matlab.

11. Morlet Wavelets y Convolución. Sesión 12 (28 de Abril de 2026) Manuel Figueroa, 2hrs 30 min.

- a. ¿Por qué wavelets y cómo hacerlas?
- b. La convolución de wavelets como Filtros pasobandas.
- c. Limitaciones de la Convolución de wavelets.

12. Wavelets Complejas y la Extracción de Poder y Fase. Sesión 13 (5 de Mayo de 2026) Manuel Figueroa, 2hrs 30 min.

- a. Wavelet Compleja.
- b. Imaginarios.
- c. Fórmula de Euler.
- d. Fórmula de Euler y la Forma Compleja de la Convolución de Wavelets
- e. Parámetros en las wavelets y recomendaciones.
- f. Wavelets con código eficiente en Matlab.

13. Filtro Pasobandas. Sesión 14 (12 de Mayo de 2026) Manuel Figueroa, 2hrs 30 min.

- a. Transformada Hilbert.
- b. Filtros pasobandas, banda-stop (notch), pasoaltas y pasobajas.
- c. Diseño y Construcción de filtros.
- d. Filtro Butterworth.
- e. Filtrado por ensayo vs Filtrado concatenado de ensayos.

14. Transformada Corta de FFT y Multitapers. Sesión 15 (19 de Mayo de 2025) Manuel Figueroa, 2hrs 30 min.

- a. ¿Cómo funciona la transformada corta FFT?
- b. Reducir/Segmentar las series de tiempo.
- c. Ancho de segmentos de tiempo y sobrelapamiento.
- d. ¿Cómo funciona el Método Multitapers?

- e. ¿Cuándo si y cuándo no usar Multitapers?
- f. Estructura de los Multitapers y consejos.

Seminario de Evaluación. Sesión 16 (26 de Mayo de 2025) Manuel Figueroa, 2hrs 30 min

Dra. Elizabeth Cabrera Ruiz—10.75 horas  
Dr. Isaac Morán Martínez— 11.25 horas  
M. I. Manuel Tonatiuh Figueroa Vanegas— 18 horas

Horas totales Impartidas 40 hrs

\*Nota: los docentes estarán presentes en la evaluaciones.

## Bibliografía

A better way to define and describe Morlet wavelets for time-frequency analysis. Michael X Cohen. NeuroImage, Elsevier Inc. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.05.048>

Analyzing Neural Time Series Data: Theory and Practice. Michael X Cohen. Massachusetts Institute of Technology. 2014. USA.

Distinct beta frequencies reflect categorical decisions. Elie Rassi, Yi Zhang, Germán Mendoza, Juan Carlos Méndez, Hugo Merchant, and Saskia Haegens. Nature Communications, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38675-3>

Extrapolating meaning from local field potential recordings. Amber L. Harris, Megan L. Uhelski, and Ai-Ling Li. Journal of Integrative Neurosciencie. 2017. DOI 10.3233/JIN-170011

Gamma and Beta Bursts Underlie Working Memory. Mikael Lundqvist, Jonas Rose, Pawel Herman, Scott L. Brincat, Timothy J. Buschman, and Earl K. Miller. Neuron, Elsevier Inc. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuron.2016.02.028>

Interaction between the Superior Temporal Sulcus and Auditory Cortex Mediate Dynamic Face/Voice Integration in Rhesus Mokeys. Asif A. Ghazanfar, Chandramouli Chandrasekaran, and Nikos K. Logothetis. The Journal of Neuroscience, 2008. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0541-08.2008

Filters: When, Why, and How (Not) to Use Them. Alain de Cheveigné, and Israel Nelken. Neuron, Cell Press; Elsevier Inc. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.02.039>

Local Field Potentials: Myths and Misunderstandings. Oscar Herreras. Frontiers in Neural Circuits. 2016. doi: 10.3389/fncir.2016.00101.

Local field potentials in human motor and non-motor brain areas encode the direction of upcoming movements: An intracerebral EEG classification study. Etienne Combrisson, Franck Di Renzo, Anne-Lise Saive, Marcela Perrone-Bertolotti, Juan LP Soto, Jean-Philippe Lachaux, AYmeric Guillot, and Karim Jerbi. BiorRxiv. 2023. <https://doi.org/10.1101/2023.09.07.556727>

Matlab for Neuroscientists, An Introduction to Scientific Computing in Matlab. Pascal Wallisch, Michael Lusignan, Marc Benayoun, Tanya I. Baker, Adam S. Dickey, and Nicholas G. Hatsopoulos. Elsevier Inc. 2009. China

Rhythms of the Brain. György Buzsáki. Oxford University Press, Inc. 2006. USA.

The mediodorsal pulvinar coordinates the macaque fronto-parietal network during rhythmic spatial attention. Ian C. Fiebelkorn, Mark A. Pinsk, and Sabine Kastner. Nature Communications. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08151-4>

The Origin of extracellular fields and currents—EEG, ECoG, LFP and spikes. György Buzsáki, Costas A. Anastassiou, and Christof Koch. Nature reviews neuroscience, Macmillan Publishers Limited. 2012. doi:10.1038/nrn3241

Jadhav C, Kamble P, Mundewadi S, Jaiswal N, Mali S, Ranga S, Suvvari TK, Rukadikar A. Clinical applications of EEG as an excellent tool for event related potentials in psychiatric and neurotic disorders. Int J Physiol Pathophysiol Pharmacol. 2022 Apr 15;14(2):73-83. PMID: 35619664; PMCID: PMC9123476.

\*Nota: La bibliografía puede ser ampliada dependiendo de las explicaciones y discusiones que se generen con los alumnos a través de las sesiones.

## Observaciones

Aunque los conocimientos previos en matemáticas, análisis de señales y programación son muy útiles para entender el curso no son indispensables para poder tomar el mismo pues el abordaje de los temas se hace de lo general a lo particular de tal forma que cualquier persona que desee aprender pueda hacerlo.

Para complementar el entendimiento de los temas, sobre todo los que requieran tratamiento y análisis de la señal, se recomienda contar con una computadora con

Matlab; cabe mencionar que dado que la UNAM tiene convenio con la compañía Mathworks es posible que los alumnos obtengan un software licenciado para uso en clase.